Nachwachsende Rohstoffe in der Wikipedia

A - E

PDF erstellt mit Hilfe des OpenSource-Werkzeugs „mwlib“. Für weitere Informationen siehe http://code.pediapress.com/
PDF generated at: Tue, 18 May 2010 08:43:40 UTC

Inhalt

Artikel

Einführung **1**

Vorwort 1

- A - **2**

α-Linolensäure 2
Abacá 5
Acetyliertes Holz 8
Acetylierung 9
Ackergras 10
Agraralkohol 11
Agrarenergie 12
Agrarrohstoff 15
Agrartextil 15
Ahorne 16
Ahornholz 23
Alditole 26
Alge 28
Algenkraftstoff 34
Alkylpolyglycoside 38
Altholz 40
Altholzverordnung 43
Arboform 45
Asphalt 47
Ätherische Öle 67

- B - **72**

Bagasse 72
Bakterien 73

Artikel

Einführung **1**

Vorwort 1

- A - **2**

α-Linolensäure 2
Abacá 5
Acetyliertes Holz 8
Acetylierung 9
Ackergras 10
Agraralkohol 11
Agrarenergie 12
Agrarrohstoff 14
Agrartextil 15
Ahorne 16
Ahornholz 23
Alditole 26
Alge 28
Algenkraftstoff 34
Alkylpolyglycoside 38
Altholz 40
Altholzverordnung 43
Arboform 45
Asphalt 46
Ätherische Öle 67

- B - **72**

Bagasse 72
Bakterien 73
Bauholz 78
Baumwolle 83
Baumwollfaser 92
Bernsteinsäure 95
Bestand (Forstwirtschaft) 99
Bindemittel 99
Bioabfall 102
Biobutanol 104
Biodiesel 105
Bioenergie 125
Bioenergiedorf 133
Bioethanol 138

Biogas 159
Biogasanlage 166
Biogasaufbereitung 177
Biogasmotor 181
Biogen 182
Biogener Arzneistoff 183
Biogener Brennstoff 184
Biogener Schmierstoff 188
Biokatalyse 195
Biokomposit 197
Biokonversion 198
Biokraftstoff 201
Biokraftstoffquotengesetz 208
Biokunststoff 212
Biokunststoff-Verpackung 224
Biologisch abbaubarer Werkstoff 228
Biologische Abbaubarkeit 230
Biomasse 233
Biomasseheizkraftwerk 239
Biomasseheizwerk 245
Biomassepotenzial 247
Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung 250
Biomassevergasung 252
Biomethan 260
Bioöl 264
Biopolymere 264
Bioraffinerie 267
Bioreaktor 272
Biotechnologie 279
Biotenside 286
Biowasserstoff 289
Biowerkstoff 293
Birkenholz 294
Blockheizkraftwerk 297
Brechen (Faserpflanzen) 302
Brennerei 304
Brennholz 306
Brennnesseln 314

Brennstoff 321
Brettschichtholz 323
Brettsperrholz 325
Brikettierpresse 327
Brikettierung 329
Bruttokraftstoffertrag 332
BtL-Kraftstoff 332
Buchen 341
Buchenholz 345

- C - **349**

Carboxymethylcellulosen 349
Carnaubawachs 350
Cellulose 352
Cellulose-Ethanol 356
Celluloseacetat 360
Celluloseacetobutyrat 362
Celluloseester 363
Celluloseether 364
Cellulosehydrat 366
Chemiezellstoff 368
Chinaschilf 371
Chitin 373
Chitosan 377
Cyanophycin 380

- D - **382**

Dampfdruckaufschluss 382
Degummierung 382
Desodorierung 383
Dezentrale Ölmühle 384
Dimethylether 387
Dispersionsfarbe 390
Douglasie 393
Dünnschlempe 397
Durchwachsene Silphie 399

- E - **402**

Eichen 402
Echtes Johanniskraut 414
Einblasdämmstoff 422
Energieholz 423
Energiemais 425
Energiepflanze 429
Energiepflanzenprämie 432
Energiesteuergesetz (Deutschland) 433
Energiewende 437
Energiewirt 441
Entschleimung 444
Enzym 445
Erneuerbare Energie 454
Erneuerbare-Energien-Gesetz 476
Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz 498
Eschenholz 502
Essigsäure 504
ETBE 513
Ethanol 515
Ethanol-Kraftstoff 535
EU-Biokraftstoffrichtlinie 538
Extrusion (Verfahrenstechnik) 541

Referenzen

Quellen und Bearbeiter der Artikel 544
Quellen, Lizenzen und Autoren der Bilder 551

Artikellizenzen

Lizenz 559

Einführung

Vorwort

Dieses Buch ist entstanden im Projekt "Nachwachsende Rohstoffe in der Wikipedia". Diese Print-on-Demand-Veröffentlichung besteht aus festen Artikelversionen, die vom Projektteam mit der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V abgestimmt wurde. Verbesserungen in den entsprechenden Wikipedia-Artikeln sind natürlich auch nach dem Abschluss des Projekts erwünscht und willkommen.

Das WikiProjekt "Nachwachsende Rohstoffe in der Wikipedia" hat das Ziel, die Qualität des Themenbereichs in der deutschsprachigen Ausgabe der freien Online-Enzyklopädie zu verbessern. Bisher fehlende Artikel sollen neu erstellt werden, vorhandene Beiträge ausgebaut und – wo nötig – verbessert werden. Den Anstoß dazu gab die inhaltliche Beteiligung der nova-Institut GmbH an der Artikelarbeit in der Wikipedia durch eine Fördermaßnahme der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). Experten zu Nachwachsenden Rohstoffen sind eingeladen, zur Ergänzung und Verbesserung der Inhalte Ihres Fachgebiets beizutragen.

Das FNR-Projekt "Nachwachsende Rohstoffe in der Wikipedia"

Wer in der Wikipedia zum Thema Nachwachsende Rohstoffe recherchiert, findet neben ausgezeichneten Artikeln zahlreiche unvollständige oder auch veraltete Beiträge. Einige Begriffe, vor allem in weniger stark frequentierten Teilbereichen fehlen noch ganz. Aus Mitteln des BMELV förderte die FNR von 2007 bis 2010 die Aufbereitung des Themas in der freien Online-Enzyklopädie (FKZ: 22028206). Ziel des Projekts war es, zum Ausbau und der Verbesserung der neutralen und aktuelle Fachinformationen zu Nachwachsenden Rohstoffen beizutragen, die der Öffentlichkeit in der Wikipedia zur freien Verfügung stehen. Neben der Ergänzung und Aktualisierung von Inhalten wurden die Beiträge untereinander und mit Wikipedia-Artikeln aus verwandten Themenbereichen verlinkt und um Verweisen auf weiterführende Informationen im Internet ergänzt.

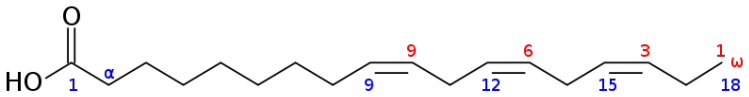
Die Zusammenstellung dieser Sammlung von Artikeln wurde nach dem Abschluss des Projektes im Mai 2010 vorgenommen.

Kontakt

nova-Institut GmbH
Achim Raschka
Chemiepark Knapsack
Industriestraße
50354 Hürth
Tel.: 02233-48-14 51
Fax: 02233-48-14 50
E-Mail: achim.raschka@nova-institut.de
Projektseite: www.nova-institut.de/wikipedia

- A -

α-Linolensäure

Strukturformel


Allgemeines	
Name	α-Linolensäure
Andere Namen	• (all-*cis*)-Octadeca-9,12,15-triensäure, • 9c,12c,15c-Octadecatriensäure, • Linolensäure • ALA
Summenformel	$C_{18}H_{30}O_2$
CAS-Nummer	463-40-1
Kurzbeschreibung	farblose Flüssigkeit[1]

Eigenschaften	
Molare Masse	278,43 g·mol^{-1}
Aggregatzustand	flüssig
Dichte	0,92 g·cm^{-3}[2]
Schmelzpunkt	−11 °C[2]
Siedepunkt	232 °C (23 hPa)[2]
Löslichkeit	• unlöslich in Wasser[2] • gut löslich in vielen organischen Lösungsmitteln[1]

Sicherheitshinweise
Gefahrstoffkennzeichnung [2] *keine Gefahrensymbole* R- und S-Sätze R: *keine R-Sätze* S: 24/25
Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.

α-Linolensäure (**alpha-Linolensäure**, oft auch nur **Linolensäure** genannt) ist eine dreifach ungesättigte Fettsäure mit 18 Kohlenstoffatomen. Sie ist eine (all-*cis*)-Octadeca-9,12,15-triensäure, Kurzbezeichnung C18:3(9c,12c,15c) und gehört zur Gruppe der Omega-3-Fettsäuren.

Mehrere andere Fettsäuren tragen den Bestandteil *Linolensäure* im Namen, unterscheiden sich jedoch chemisch. Die gamma-Linolensäure ((all-*cis*)-Octadeca-6,9,12-triensäure) gehört zur Gruppe der Omega-6-Fettsäuren. Dihomogamma*linolensäure* ((all-*cis*)-Eicosa-8,11,14-triensäure) besteht aus 20 Kohlenstoffatomen. Die der Linolensäure namentlich ähnliche Linolsäure ist hingegen eine Octadecadiensäure.

Der Name *Linolensäure* leitet sich vom griechischen Wort *linos* für Lein (Flachs) ab.

Vorkommen

Linolensäure ist ein chemischer Bestandteil vieler Triglyceride, welche den Hauptanteil der natürlichen Fette und Öle ausmachen. Eine ganze Reihe natürlich gewonnener pflanzlicher Öle ist reich an Linolensäure. Hierzu gehören unter anderem Chiaöl (möglicherweise höchster Gehalt mit 50–65 %), Perillaöl (ca. 60 %), Leinöl (ca. 50 %), Hanföl (ca. 17 % α-Linolensäure und ca. 4 % γ-Linolensäure), Walnussöl (ca. 15 %), Rapsöl (ca. 9 %) und Sojaöl (ca. 8 %).

Gewinnung und Darstellung

Die Fettsäure lässt sich durch alkalische Verseifung aus den entsprechenden Triglyceriden gewinnen, indem die entsprechenden Fette oder Öle mit Alkalien gekocht werden. Da die natürlichen Fette und Öle stets viele unterschiedliche Fettsäuren enthalten, schließt sich in der Regel eine Trennung des entstandenen Gemisches an. Kommerziell wird sie vor allem aus Leinöl gewonnen.[3]

Eigenschaften

Physikalische Eigenschaften

Sorgfältig gereinigte und unter Luftausschluss aufbewahrte Linolensäure ist eine farblose, ölige und fast geruchlose Flüssigkeit. Das Molekulargewicht beträgt 278,43 $g \cdot mol^{-1}$ und die Dichte 0,92 $g \cdot cm^{-3}$[1] Sie hat einen Schmelzpunkt von -11 °C[2] und einen Siedepunkt von 232°C[2] . Die Fettsäure ist unlöslich in Wasser, jedoch gut in vielen organischen Lösungsmitteln.

Chemische Eigenschaften

Linolensäure ist sehr oxidationsempfindlich und altert an der Luft rasch unter Gelbfärbung, die auf die Bildung von Hydroperoxiden zurückzuführen ist. Im weiteren Verlauf der Oxidation kommt es zur Verharzung unter Bildung von Firnis, dieser Vorgang wird auch als *Trocknung* bezeichnet.

Biologische Bedeutung

Linolensäure ist ein essentieller Nährstoff und spielt eine wichtige Rolle bei Entzündungsprozessen. Sie wird von den gleichen Enzymen zu Eicosapentaensäure (EPA) verarbeitet, die auch aus Linolsäure Dihomogammalinolensäure (DGLA) und Arachidonsäure (AA) produzieren. Aus DGLA und EPA werden wiederum entzündungshemmende Eicosanoide gebildet (Serie 1 und Serie 3), während aus der Arachidonsäure entzündungsfördernde Serie-2-Eikosanoide gebildet werden. Alpha-Linolensäure wirkt also entzündungshemmend, da sie

1. Enzymaktivität auf sich zieht, die sonst Arachidonsäure produzieren würde und
2. aus ihr die entzündungshemmenden Serie-3-Eikosanoide gebildet werden.

Nachweis

Der Nachweis und die Gehaltsbestimmung von Linolensäure wird in der Regel durch Gaschromatografie der Methylester durchgeführt.

Verwendung

Acylglycerine der Linolensäure und der Linolsäure werden als Zusatz zu Firnis und anderen *trocknenden Ölen* für Beschichtungen (Lacke u. a.) verwendet.

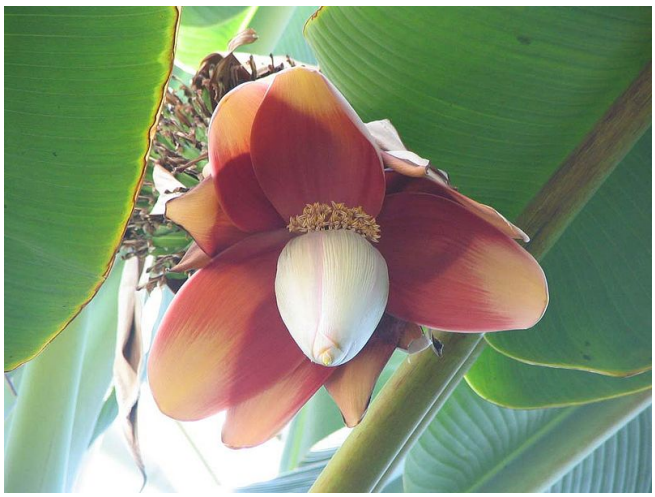
Referenzen

[1] Jenny Hartmann-Schreier, in: *Römpp Online - Version 3.5*, **2009**, Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

[2] Eintrag zu *α-Linolensäure* (http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?q=[F+casnr:463-40-1]&f=hitlist&t=main-hit-h.htm&tf=doc&tt=document-frame.htm&x=Advanced&c=redirect&s=Contents&h1=Title[,100]) in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA, abgerufen am 06.01.2008 (JavaScript erforderlich)

[3] Stichwort „α-Linolenic Acid“ In: Hans Zoebelein (Hrsg.): *Dictionary of Renewable Ressources.* 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim und New York 1996; Seite 92. ISBN 3-527-30114-3.

Abacá

Abacá

Abacá (*Musa textilis*)
Systematik
Klasse: Einkeimblättrige (Liliopsida)
Unterklasse: Commelinaähnliche (Commelinidae)
Ordnung: Ingwerartige (Zingiberales)
Familie: Bananengewächse (Musaceae)
Gattung: Bananen (*Musa*)
Art: Abacá
Wissenschaftlicher Name
Musa textilis
Née

Die **Abacá** (*Musa textilis*), auch **Manilahanf** genannt, ist eine in Ostasien heimische Pflanzenart aus der Gattung Bananen (*Musa*) in der Familie der Bananengewächse (Musaceae). Sie wird als Faserpflanze genutzt und findet vor allem Verwendung für die Produktion von salzwasserresistenten Schiffstauen. Der Name „Manilahanf“ nimmt auf die Hauptstadt der Philippinen als dem traditionell wichtigsten Ausfuhrhafen Bezug, ist aber insofern irreführend, als die Art nicht zur Gattung Hanf (*Cannabis*) gehört. Als **Faserbanane** oder **Textilbanane** werden neben Abaca auch weitere Faserpflanzen aus der Familie der Bananengewächse bezeichnet.

Merkmale

Die Abacá erreicht eine Wuchshöhe von 3 bis 8 Metern und einen Durchmesser des Scheinstammes von 12 bis 30 Zentimetern. Der Scheinstamm besteht aus einem weichen Kern, dem eigentlichen Stamm, und bis zu 25 eng darum gewickelte Blattscheiden. Ausgehend von einem flachen Wurzelsystem wachsen pro Einzelpflanze bis zu 25 vertikale Scheinstämme[1] . Die Blattstiele erreichen Längen von 60 bis 70 Zentimetern. Die lang-elliptischen Blattspreiten werden 1,2 bis 2,4 Meter lang und 20 bis 40 Zentimeter breit. Die Blattoberseiten sind kahl und

hellgrün gefärbt, die Unterseiten sind mit Flaumhaaren bedeckt und braun gefleckt. Von der sehr kräftigen Mittelrippe der Blätter zweigen parallel verlaufende Seitenadern ab.[2]

Der Blütenstand ist lang und hängend mit rotbraunen bis grünen Hochblättern, die eng dachziegelartig angeordnet sind, eine Länge von 10 und eine Breite von 6 Zentimetern haben. An der Unterseite jedes Hochblatts befinden sich 10 bis 12 Blüten in zwei Reihen. Die eingeschlechtigen Blüten sind zygomorph und dreizählig, dabei sind die basalen 3 bis 6 Blüten weiblich und die distalen Blüten weiblich.

Die Früchte, die botanisch zu den Beeren gehören, sind grün und leicht gebogen. Sie erreichen eine Länge von 5 bis 9 und eine Breite von 2 bis 3 Zentimetern. Sie sind nicht genießbar. In den Beeren entwickeln sich schwarze Samen mit einem Durchmesser von etwa 7 Millimetern.[2]

Je nach Sorte beträgt die Lebensdauer zwischen fünf und 25 Jahren, als Faserpflanze genutzt werden Abacapflanzen im Allgemeinen maximal 15 Jahre. Neue Scheinstämme sind nach etwa 18 bis 24 Monaten erntereif, die Ernte erfolgt während der Blüte.[1]

Der Chromosomensatz der Abacá besteht aus 2n=20 Chromosomen.[2]

Verbreitung

Die Abacá stammt ursprünglich von den Philippinen, wird jedoch heute aufgrund ihrer Nutzung in weiten Teilen Süd- und Südostasiens sowie in Mittel- und Südamerika kultiviert. Als tropische Pflanze benötigt sie fruchtbare Böden und regelmäßige Niederschläge.

Nutzung

Abacá	
	
Fasertyp	Naturfaser
Herkunft	Abacá
Farbe	grau, braun
Eigenschaften	
Faserlänge	Einzelfaser: 6 mm, Faserbündel: 1000-2000 mm[3]
Faserdurchmesser	Einzelfaser: 0,024 mm[3]

Dichte	1,5 g/cm^3[3]
Bruchdehnung	8,0%[3]
Produkte	Zellstoff, Teebeutel, Taue, Naturfaserverstärkte Kunststoffe

Genutzt werden vor allem die bis zu zwei Meter langen Hartfasern der Abacáblätter. Die Faser ist relativ grob und weist eine hohe Reißfestigkeit von 45 bis 70 cN/tex auf. Zur Gewinnung der Faser, die ebenfalls als Abacá oder Manila bezeichnet wird, werden die Blätter zu Beginn der Blütezeit an der Basis abgeschnitten und entsprechend ihrem Alter und der Qualität geordnet. Dabei enthalten die innersten und damit jüngsten Blattscheiden die weichsten und schwächsten Fasern. Nach dem Entfernen der Blattspreiten werden diese im frischen zustand in Streifen geschnitten und die Fasern (= Leitbündelscheiden) von Hand oder mit Maschinen herausgelöst. Abschließend werden die Fasern gewaschen und getrocknet. Für den Transport werden die Fasern zu Ballen gepresst oder – vor allem für die Verarbeitung zu Naturfaser-Verbundwerkstoffen – zu Garn versponnen und auf Garnrollen aufgewickelt.[4] [5]

Gute Pflanzungen liefern einen Hektarertrag von etwa 4 Tonnen.[4] Sortenbezeichnungen für Manilahanf sind (von grob bis fein): Bandala, Lupis, Quilot, Tupoz. Die Farbe reicht von weiß über gelblich bis braun.

Die wirtschaftlich relevanten Anbauländer sind die Philippinen und Ecuador [6] . Auf den Philippinen erzeugen vor allem Kleinbauern 60.000 Tonnen Abacáfaser (im Jahr 2007) auf rund 130.000 Hektar. In Ecuador wurden 2007 rund 10.000 Tonnen vorwiegend auf großen Farmen produziert. Der Wert der weltweiten Abacáproduktion wird auf rund 30 Millionen US-$ geschätzt, die Fasern werden fast ausschließlich exportiert.[5]

Verwendung

Der größte Teil der Faserproduktion wird zu Pulpe verarbeitet, also in Wasser gelöst und für spezielle Zellstoffprodukte wie Teebeutel, Zigarettenpapier, Wursthüllen, Banknoten (aktuell nur in Japan), und industrielle Filter genutzt. Auch der Manila-Umschlag, ein Briefumschlag für DIN-A4-Formulare mit gelblicher Färbung, wurde ursprünglich aus Abacá-Zellstoff hergestellt. Aufgrund ihrer Salzwassertoleranz werden die Fasern zudem für die Herstellung von Tauen und Fischnetzen verwendet; weiterhin werden Hängematten, Teppiche und Transmissionsriemen aus ihnen gefertigt. In der Automobilindustrie wurde 2005 mit Abacáfasern verstärktes Polypropylen als Alternative zu glasfaserverstärktem Kunststoff in der Produktion der Ersatzradmulde des Mercedes-A-Klasse-Coupés eingesetzt. Aktuell werden weitere Einsatzbereiche für entsprechende Naturfaser-Verbundwerkstoffe gesucht.

Als Koppelprodukt der Fasernutzung werden Enzyme der Pflanze in der Kosmetikindustrie verwendet.

Literatur

Robert R. Franck, 2005: Bast and other plant fibres. Woodhead Publishing Limited, Cambridge. ISBN 1855736845

Weblinks

- Eintrag bei *GRIN Taxonomy for Plants* [7] (engl.)
- Eintrag bei *Plants for a Future* [8] (engl.)
- Beschreibung bei *Flora of China* [9] (engl.)

Referenzen

[1] Abaca. In: Franck 2005; Seiten 315-321.
[2] Beschreibung nach Beschreibung bei *Flora of China* (http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=200028244)
[3] Comparative physical, chemical and morphological characteristics of certain fibres. In: Franck 2005; Seiten 4–23.
[4] *Musa textilis* in: J.R. Hoppe: *Morphologie, Anatomie und Systematik der Höheren Pflanzen.* (http://www.biologie.uni-ulm.de/lehre/botanik/nutzpflanzen/taxa/musa_textilis.html)
[5] Abaca. (http://www.naturalfibres2009.org/en/fibres/abaca.html) Vorstellung der Naturfaser auf den Internetseiten des International Year of Natural Fibres 2009 der FAO, abgerufen am 29. März 2009.
[6] Michael Carus u.a.: *Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU).* Gülzower Fachgespräche 26, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.), Gülzow 2008, S. 128, Download (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_315gf_band_26_komplet_100.pdf)

Acetyliertes Holz

Acetyliertes Holz ist Holz, welches in einem Verfahren der chemischen Holzmodifikation mit Anhydriden behandelt wurde, um die Besiedlung durch holzzerstörende Pilze oder Insekten zu erschweren und so die Lebensdauer des Holzes zu verlängern.



Acetyliertes Holz

Eigenschaften und Anwendung

Mit der Acetylierung wird die Zellstruktur des Holzes dauerhaft verändert. Es lagert sich weniger Wasser in die Zellwand ein und Feuchtigkeitsaufnahme sowie Quell- und Schwundverhalten des Holzes verringern sich. Es wird resistent gegen Pilz- und Insektenbefall. Da bei der Acetylierung Essigsäure frei wird, kann diese die Holzzellwand teilweise zerstören und es kommt gelegentlich zu Geruchsbelästigungen durch Essigsäure, die sich nur schwer wieder aus dem Holz entfernen lässt. Acteyliertes Holz kommt vor allem im Außenbereich zur Anwendung.

Herstellung

Das technisch wichtigste Verfahren ist die Acetylierung mit Essigsäureanhydrid. Zunächst wird das Holz mit dem Reagenz imprägniert zur Reaktion gebracht (*Curing*). Die Reaktion vollzieht sich mehrstufig unter Temperaturen über 100°C und hohem Druck. Schließlich wird das Holz mit Dampf gewaschen und getrocknet.

Reaktionen

Chemisch gesehen handelt es sich um eine Veresterung. Die Hydroxylgruppen des Holzes in der Zellwand reagieren mit dem Anhydrid zu Ester und Essigsäure. Die anfallende Essigsäure lässt sich wieder in die Ausgangssubstanz Essigsäureanhydrid zurückverwandeln und dem Produktionsablauf erneut zuführen. Reste der Essigsäure und ihrer Nebenprodukte können aufgefangen und recycelt werden.

Bezeichnungen

Acetyliertes Holz ist unter anderem unter dem Kunstnamen "Accoya"[1] auf dem Markt.

Literatur

- André Wagenführ, Frieder Scholz (Hrsg.): Taschenbuch der Holztechnik. Hanser Verlag, München 2008
- Titan Wood BV: Acetylierung – Ein Beitrag für Wald, Holz, Umwelt. [2] tür+tor-report 4/2006.

Referenzen

[1] http://www.accoya.com/accoya_pure_performance_D.html

Acetylierung

Die chemische beziehungsweise biochemische Anlagerung einer Acetylgruppe bezeichnet man in der organischen Chemie als *Acetylierung*. Sie besteht im Austausch von Wasserstoffatomen durch die Acetylgruppe. Der Austausch kann an den funktionellen Gruppen –OH, –SH und $-NH_2$, aber auch direkt an einer –C–H-Bindung erfolgen, wobei entsprechende Verbindungen, z. B. Acetate oder Ketone entstehen. Beispiel: Durch die Acetylierung von Morphin entsteht Diacetylmorphin (Heroin).

Die Acetylierung erfolgt durch zum Teil katalysierte Reaktion einer Stammverbindung mit beispielsweise Essigsäureanhydrid oder Acetylchlorid.

Acetylierung in der Biochemie

In der Biochemie wird die Acetylierung eines Proteins durch Acetylasen (Enzyme) katalysiert. Die Abspaltung (*Desacetylierung*, *Deacetylierung* [aus dem Englischen abgeleitet]) der Acetylgruppe, also die Umkehrung dieser Reaktion, wird von Desacetylasen (Deacetylasen) katalysiert.

Die Acetylierung beziehungsweise Desacetylierung eines Proteins ist ein Regulationsmechanismus für die Funktion des Proteins.

Bekanntestes Beispiel für Proteine, deren Funktion auf diese Weise beeinflusst wird, sind die Histon-Proteine, die am Aufbau des Chromatins beteiligt sind. Hier bedeutet der acetylierte oder deacetylierte Zustand der Histone ein Signal für weitere Proteine, die daran erkennen können, ob in dieser Region des Chromatins Gene liegen, die Genexpression aktiviert oder reprimiert werden sollen.

Siehe auch

- Acetyliertes Holz

Ackergras

Als **Ackergräser** werden *Gräser* bezeichnet, die für die Nutzung als Viehfutter oder Energiepflanze auf landwirtschaftlichen Ackerflächen kultiviert werden. Im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Nutzung von Gras auf Dauergrünland werden Ackergräser im Rahmen einer ackerbaulichen Fruchtfolge (Feldfutterbau) ausgesät und nach ein- bis dreijähriger Nutzungsdauer umgebrochen.

Vergleich von Biogasrohstoffen

Material	Biogasertrag[1] (FM = Frischmasse)	Methangehalt[1]
Maissilage	202 m³/t FM	52 %
Grassilage	172 m³/t FM	54 %
Roggen-GPS	163 m³/t FM	52 %
Futterrübe	111 m³/t FM	51 %
Bioabfall	100 m³/t FM	61 %
Hühnermist	80 m³/t FM	60%
Zuckerrübenschnitzel	67 m³/t FM	72 %
Schweinemist	60 m³/t FM	60 %
Rindermist	45 m³/t FM	60 %
Getreideschlempe	40 m³/t FM	61 %
Schweinegülle	28 m³/t FM	65 %
Rindergülle	25 m³/t FM	60 %

Neben der Reinkultur einzelner Grassorten und -arten wie beispielsweise Welsches Weidelgras werden Sorten- und Artenmischungen angebaut, auch in Kombination mit Klee, Luzerne und weiteren Leguminosen. Ziel des Anbaus ist eine möglichst hohe Biomasseproduktion. Die Ernte erfolgt mehrmals jährlich mit dem Kreiselmäher oder dem Feldhäcksler und wird meist als Silage konserviert. Bei Ackergräsern, die als Viehfutter genutzt werden, ist zudem eine hohe Verdaulichkeit für Wiederkäuer (Netto-Energie-Laktation) ein wesentliches Kriterium.

In der Fruchtfolge trägt Ackergras zum Humusaufbau und - vor allem bei mehrjähriger Kultur - zur Unterdrückung von Unkräutern bei. In Artenmischungen mit Leguminosen (sogenanntes "Kleegras") dient der Anbau von Ackergras zur biologischen Anreicherung des Ackerbodens mit Stickstoff. Im ökologischen Landbau hat dies zentrale Bedeutung für die Nährstoffversorgung in der Fruchtfolge und ersetzt in dieser Anbauweise unter anderem die sonst übliche Silomaisfütterung von Rindern ganz oder teilweise.[2]

Als Energieträger ist Ackergras vor allem für die Nutzung in Biogasanlagen als Grassilage interessant. Hier werden Energiegehalte von durchschnittlich etwa sechs MJ NEL pro kg Trockenmasse angesetzt.

Weblinks

- Darstellung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zu Ackergras [3] (incl. aktueller Zahlen als PDF)
- Ackergras bei energiepflanzen.info [4]

Referenzen

[1] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): *Biogas Basisdaten Deutschland Stand: Januar 2008.*

[2] Feldfutter und Gemenge bei oekolandbau.de (http://www.oekolandbau.de/erzeuger/pflanzenbau/ackerbau/feldfutterbau-und-stilllegungsgemenge/feldfutterbau-und-stilllegungsgemenge-einordnung-anbauvarianten/)

Agraralkohol

Unter **Agraralkohol**, auch *Ethylalkohol landwirtschaftlichen Ursprungs*, versteht man hochprozentigen Alkohol (Ethanol), der durch Alkoholische Gärung von in der Landwirtschaft erzeugten zucker- oder stärkehaltigen Rohstoffen wie Obst, Getreide oder Kartoffeln und anschließendes Brennen der Maische gewonnen wurde. Dieser Agraralkohol wird in Deutschland von der Bundesmonopolverwaltung gereinigt und kann, nun als **Neutralalkohol** bezeichnet, für Arznei- und Lebensmittel verwendet werden. Synthetisch aus dem Erdölderivat Äthylen hergestellter Alkohol sowie Alkohol aus nichtlandwirtschaftlichen Rohstoffen (bsp. Cellulose-Ethanol) darf dafür nicht verwendet werden.

Im Gegensatz zu Spirituosen wie Korn- und Obstbränden ist Agraralkohol geschmacks- und geruchsneutral und besitzt keine sensorischen Eigenschaften der Ausgangsprodukte.

Verwendung

Agraralkohol kann sowohl zur Weiterverarbeitung im Bereich der Lebensmittelindustrie zu Spirituosen wie Wodka, Gin oder Likören sowie Essig und Aromen wie auch bei der Herstellung von Arzneimitteln, Kosmetika, Reinigungsmitteln, Desinfektionsmitteln, Frostschutzmitteln, Farben oder Lacken verwendet werden. Die Erhaltung, Landschafts- und Biotoppflege zahlreicher Streuobstwiesen gelingt heute oft nur noch durch die Abnahmegarantie der Bundesmonopolverwaltung für Branntwein, die den Alkohol vieler bäuerlicher Kleinbetriebe und Nebenerwerbsbrennereien abnimmt, den diese aus Streuobst destillieren (soweit sie Obstschnaps, Kornbrand oder Kartoffelschnaps nicht vermarkten können).

Agraralkohol (biogen erzeugtes Ethanol) kann als Ottokraftstoff eingesetzt werden und kann hochoktaniges Benzin substituieren. In dieser Form wird Agraralkohol in der Regel als Bioethanol bezeichnet. Von der produzierten Menge biogen erzeugten Ethanols werden in Deutschland etwa 50 % als Neutralalkohol für Getränke und Lebensmittel sowie für weitere technische Zwecke erzeugt und etwa 50 % zur Nutzung als Ethanol-Kraftstoff. Weltweit liegt das Verhältnis etwa bei 35 % zu 65 %.

Weblinks

- Stichwort Agraralkohol [1] beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Agrarenergie



Fermenter einer Biogasanlage (links), Photovoltaikanlage (hinten) und Windkraftanlage

Als **Agrarenergie** wird Energie bezeichnet, die mit Hilfe der Landwirtschaft gewonnen werden kann. Die engere Definition umfasst nur landwirtschaftliche Bioenergien, die auf der Produktion und Nutzung von Pflanzen (Energiepflanzen) oder Pflanzenteilen beruhen (Biomasse). Die weiter gefasste Definition beispielsweise auch Wind- und Solarenergie, die im Bereich landwirtschaftlicher Flächen bzw. auf landwirtschaftlichen Gebäuden erzeugt wird. Zudem benutzen Kritiker der derzeitigen Form energetischer Nutzung Nachwachsender Rohstoffe teilweise den Begriff Agrarenergie, um die positive Assoziation von „Bioenergie“ mit „umweltfreundlich, ökologisch“ zu vermeiden[1] [2] .

Um den Unterschied zur klassischen Tätigkeit (Ackerbau, Veredelung) deutlich zu machen, spricht man bei Landwirten, die Agrarenergie erzeugen, auch von Energiewirten.

Formen der Agrarenergie

Bioenergie

siehe Hauptartikel Bioenergie



Rapsfelder

Basis der Bioenergie ist die Sonnenenergie. Diese wird von Pflanzen mit Hilfe der Photosynthese zur Erzeugung von Biomasse genutzt. Abhängig von der Art der Biomasse ergeben sich unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten. Als landwirtschaftliche Einatzstoffe für Biomasseheizwerke und Biomasseheizkraftwerken zur Wärme- und Stromerzeugung kommen vor allem Holz aus Kurzumtriebsplantagen und Nebenprodukte wie Stroh in Frage. Biogas wird durch Vergärung von Gülle, Pflanzensilage und anderer Biomasse gewonnen und dient zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie als Ausgangsstoff für Biomethan als Substitut für Erdgas.

Neben dem Maisanbau für die Biogaserzeugung spielt die Bereitstellung von Rohstoffen für die Herstellung von Biokraftstoffe die größte Rolle in der Agrarenergie. So wird Bioethanol durch Vergärung von Zuckern (aus Zuckerrübe, Zuckerrohr) und Zuckerpolymeren wie Stärke (aus Mais, Getreide, Kartoffel) gewonnen. Für die Gewinnung von Bioethanol aus Cellulose (Cellulose-Ethanol) könnte künftig auch Holz aus

Kurzumtriebsplantagen eine Rolle spielen. Pflanzenöl-Kraftstoffe und Biodiesel werden aus ölhaltigen Pflanzenbestandteilen gewonnen (Frucht von Raps, Soja, Ölpalme). Synthetische Biokraftstoffe (BtL-Kraftstoffe, biomass to liquid) dagegen können aus fast jeder Art Biomasse hergestellt werden (Stroh, Miscanthus, Kurzumtriebsholz), befinden sich aber noch in der Entwicklung.



Maisfeld

Andere Erneuerbare Energien

Eine erweiterte Definition der Agrarenergie umfasst auch erneuerbare Energien, die nicht auf der Photosynthese basieren:

- Windenergie wird häufig von Windkraftanlagen auf Agrarflächen genutzt. Da in Deutschland mehr als ein Drittel der Fläche landwirtschaftlich genutzt wird, und sich zudem ertragreiche Windstandorte bevorzugt in diesen Bereichen finden ist die Stromerzeugung für die Landwirtschaft wichtig. Wegen der hohen Investitionskosten treten Landwirte meist nur als Verpächter der Flächen oder Teilinvestor der Windparks auf.
- Photovoltaik-Anlagen werden häufig im landwirtschaftlichen Bereich installiert. Die Dachflächen von Wirtschaftsgebäuden bieten viel Platz zu Installation der Anlagen. Zudem werden auch landwirtschaftliche Flächen von Investoren für die Errichtung freistehender Anlagen (Freiflächenanlagen) verwendet.

Vor- und Nachteile

Für die Landwirtschaft bietet die Agrarengie eine zusätzliche Einnahmequelle. Ebenso wie die Nutzung der Bioenergie insgesamt bietet die Agrarenergie eine Möglichkeit der Energieerzeugung aus Regenerativen Rohstoffen, bei deren Nutzung nur so viel Kohlendioxid frei wird, wie während des Wachstums der genutzten Pflanzen in der Biomasse gebunden wurde. Gleichwohl steht die Agrarenergie zeitweise in der Kritik, da sie eine Flächenkonkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung darstellt und für den enormen Anstieg der Nahrungsmittelpreise im Jahr 2007 mit verantwortlich gewesen sein soll. Kritisiert wird auch die Veränderung des Landschaftsbildes durch Veränderung der Flächenverhältnisse von Ackerkulturen und durch Zunahme der Anzahl und Größe von Windkraftanlagen.



Kurzumtriebskultur aus Hybrid-Pappeln

Literatur

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): *Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen*, ISBN 3-00-015389-6. Kostenlose 354-seitige Broschüre der FNR. Auch als pdf-Dokument [3] herunterladbar.
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen/ 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe: *Nachwachsende Rohstoffe - Anbauhinweise für die energetische und stoffliche Verwertung*, Oldenburg (2008), 76-seitige Broschüre mit Detailinformationen (Anbauhinweise, Versuchsergebnisse) zu zahlreichen energetisch und stofflich nutzbaren Pflanzen
- GRAIN und Rettet den Regenwald e.V.: *Sonderausgabe Agrarenergie – Stoppt den Agrarenergie-Wahn*, 68-seitige Broschüre. Vergleich der Situationen in verschiedenen Ländern und von unterschiedlichen Pflanzen zur Agrarenergiegewinnung. Herunterladbar als PDF (1,6 MB) [4].
- Lambertus Verlag: *Volle Tanks, leere Teller – Der Preis für Agrokraftstoffe: Hunger, Vertreibung, Umweltzerstörung*, ISBN 3784117910. Von Wolfgang Hees, Oliver Müller und Matthias Schüth, 2007

Weblinks

- Seite der Fachzeitschrift für Agrarenergie *Joule* [5]

Referenzen

[1] Bioenergie verkommt zur Agrarenergie. NABU warnt: Immer mehr Grünland vermaist. NABU Niedersachsen, 08-08-23. (http://www.nabu-regionhannover.de/experten/genmais.html)

[2] Rettet den Regenwald e.V.: 53 Organisationen fordern: Lebensmittel nicht verbrennen! 07-08-03 (http://www.rettetdenregenwald.de/news.php?id=766)

Agrarrohstoff

Agrarrohstoffe sind Rohstoffe, die aus landwirtschaftlicher Produktion stammen und vom Menschen für weiterführende Anwendungszwecke des Nahrungs- und Futterbereich und als nachwachsende Rohstoffe verwendet werden. Nicht in diese Rohstoffgruppe gehören forstwirtschaftlich produzierte Rohstoffe, vor allem Holz, sowie Gemüse- und Obstpflanzen, die vor allem für den direkten Verzehr bestimmt sind. Der Begriff Agrarrohstoffe (hier auch: Soft Commodities[1]) wird in der Finanzwelt als Überbegriff für die entsprechende Gruppe von Handelswaren verwendet.

Die Hauptanwendungen liegen Agrarrohstoffe liegen seit jeher in der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln. Für diesen Zweck werden vor allem Getreidearten wie Reis, Weizen, Mais, Hirse, Roggen, Hafer, Gerste, und Triticale sowie Hackfrüchte wie Kartoffel, Zuckerrübe, Zuckerrohr und Maniok genutzt. Auch Ölpflanzen wie Raps, Erdnuss, Ölpalme und Soja bzw. die aus ihnen gewonnen Pflanzenöle sind als Agrarrohstoffe bedeutsam. Hinzu kommen nachwachsende Rohstoffe, die auf landwirtschaftlichen Flächen angebaut werden. Neben den genannten, die auch Rohstoffe für Zwecke abseits der Nahrungsmittel- und Futterproduktion liefern, sind dies beispielsweise Baumwolle, Kautschuk und für die Energiegewinnung angebaute Biomassepflanzen (Chinaschilf, schnellwachsender Hölzer).

Referenzen

[1] Investopedia: Soft commodity. (http://www.investopedia.com/terms/s/softcommodity.asp) abgerufen am 14. August 2009

Agrartextil

Als **Agrartextilien** werden alle textilen Produkte bezeichnet, die in der Landwirtschaft und im Gartenbau verwendet werden. Sie stellen damit eine Sonderform der Technischen Textilien dar. Dabei handelt es sich sowohl um Gewebetextilien als auch um Vliese oder Filze. Beispiele sind Mulchmatten und -scheiben, Anzuchtvliese und Kultursubstrate.

Vor allem in den Bereichen, in denen die Funktion der Agrartextilien nur für einen begrenzten Zeitraum gewährleistet werden soll, werden Naturfasern eingesetzt. Diese bieten gegenüber synthetischen Geweben den Vorteil, dass sie natürlich abgebaut werden und somit keine Reststoffe zurücklassen. Dabei werden aufgrund ihrer Eigenschaften und des geringen Preises vor allem Kokos- und Jutefasern verwendet. Kokosfasern besitzen einen sehr hohen Ligninanteil von 40 bis 50%, wodurch sie nur langsam verrotten und die Funktion als Agrartextil länger gewährleisten als andere Fasern. Vor allem als Anbauvliese für Kresse kommen Hanffasern zum Einsatz.

Literatur

- nova-Institut (Hrsg.): Das kleine Hanf-Lexikon. Verlag Die Werkstatt, Göttingen, 2. Auflage, 2003; Seiten 6. ISBN 3-89533-271-2
- Michael Carus u.a.: Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU). Kapitel 4.8 Geo- und Agrartextilien. S. 209-211 Gülzower Fachgespräche 26, hrsg. von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow 2008. (pdf [1])

Ahorne

Ahorne

Feld-Ahorn (*Acer campestre*)
Systematik
Überabteilung: Samenpflanzen (Spermatophyta) *Unterklasse:* Rosenähnliche (Rosidae) *Ordnung:* Seifenbaumartige (Sapindales) *Familie:* Seifenbaumgewächse (Sapindaceae) *Unterfamilie:* Hippocastanoideae *Gattung:* Ahorne
Wissenschaftlicher Name
Acer
L.

Die **Ahorne** (*Acer*) bilden eine Pflanzengattung, die früher in die selbständige Familie der Ahorngewächse (Aceraceae) gestellt wurde. Neuere molekularbiologische Ergebnisse haben aber gezeigt, dass diese in die Unterfamilie Hippocastanoideae innerhalb der Familie der Seifenbaumgewächse (Sapindaceae) eingegliedert werden müssen. Je nach Autor gibt es 110 bis 200 Ahorn-Arten.

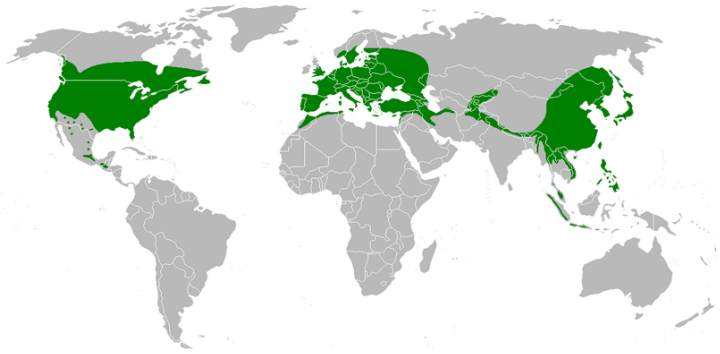
Beschreibung

Ahorne sind sommergrüne Bäume oder Sträucher. Die Laubblätter sind meist handförmig gelappt und gegenständig. Gefiederte Blätter hat zum Beispiel der Eschen-Ahorn (*A. negundo*). Ahorne sind Flach- bis Herzwurzler und empfindlich gegen Bodenverdichtung.

Es gibt zwittrige und getrenntgeschlechtige Arten. Es gibt insekten- und windbestäubte Arten. Die Blüten sind fünfzählig, die Staubblattzahl ist teilweise reduziert. Das Gynoeceum ist oberständig. Am Grunde der Blüten ist ein Diskus, außer bei windbestäubten Arten, denn der Diskus dient der Anlockung von Insekten. Die Blütenformel lautet: $*K_5\ C_5\ A_{5-8}\ \underline{G_{(2)}}$. Die Früchte sind Spaltfrüchte.

Heimat

Seit den Eiszeiten sind in Europa nur noch wenige Arten heimisch. Sie sind aber größtenteils holarktisch verbreitet, jeweils sehr viele Arten haben ihre Heimat in Asien und in Amerika. Als einheimisch werden heutzutage nur noch drei Sorten gezählt: der Bergahorn, der Spitzahorn sowie der kleinblättrige Feldahorn.



Verbreitungskarte der Gattung *Acer*

Nutzung

Holz

Siehe Hauptartikel: Ahornholz

Ahornholz wird vor allem als Bau- und Möbelholz genutzt, viel seltener dient es als Brennholz. Kommerziell relevant ist vor allem das Holz einiger hochwachsender Arten wie des Berg-Ahorn (*A. pseudoplatanus*) und des Spitz-Ahorn (*A. platanoides*) in Eurasien. In Nordamerika sind vor allem der Zucker-Ahorn (*A. saccharum*) und der Schwarz-Ahorn (*A. nigrum*) als „American hard maple“ und der Rot-Ahorn (*A. rubrum*) und der Silber-Ahorn (*A. saccharinum*) als American soft maple von Bedeutung. Der Japanische Ahorn (*A. pictum*) spielt im ostasiatischen Raum eine zentrale Rolle. Weitere Arten wie der Feld-Ahorn (*A. campestre*) haben nur eine untergeordnete oder regionale Bedeutung.



Holz des Riegel-Ahorns

Das Holz des Berg-Ahorns (*Acer pseudoplatanus*) zählt zu den wertvollsten Edellaubhölzern. Gelblich weiß bis weiß gefärbt, sind die Jahresringe zwar erkennbar, Splint und Kern setzen sich jedoch nicht voneinander ab, sondern sind farbgleich. Das mittelschwere, elastische, zähe, harte Holz schwindet nur gering. Die Biegefestigkeit ist gut. Zur dauerhaften Nutzung ist das Ahornholz aber nur im Innenausbau geeignet. Die Oberflächen lassen sich gut bearbeiten, leicht polieren, beizen und einfärben. Auch die Behandlung mit Lacken ist problemlos.

Besonders in 1950er Jahren und in der ersten Hälfte der 1960er waren schlichte wie auch geriegelte (Riegelahorn) Ahornfurniere sehr begehrt für Schlafzimmermöbel, für Fronten und Türen von Schränken, für Wohnzimmerbüfetts und für Kleinmöbel. Auch als Kontrastholz in Form von Kanten und Zierleisten wurde es oft verwendet. Wegen seiner Tendenz zum relativ raschen Vergilben ist aber der Einsatz für die Außenfronten im Möbelbau stark zurückgegangen. Heute wird es bei hochwertigen Möbeln und Schlafzimmern noch für die Innenauskleidung verwendet. Kunsttischlern dient das Ahornholz für die Herstellung feinster Möbel, wobei es auch für Intarsienarbeiten (Einlegearbeiten) Verwendung findet. Eine spezielle Verwendungsart des Ahorns sind aus Vollholz hergestellte Tischplatten, beispielsweise für Wirtshaustische. Die Möbelindustrie nimmt Ahorn massiv oder als Furnier für Dekore. Ahornparkett gilt als besonders wertvoll und zeichnet sich durch einen hohen Abnutzungswiderstand aus. Auch für den Treppenbau ist Ahorn gut geeignet.



Eine Bank aus stark gezeichnetem Zucker-Ahornholz



Ahorn-Stamm-Querschnitt

Seit langem wird ausgesuchtes Bergahornholz als Zier- und Resonanzholz zur Herstellung von Musikinstrumenten (Streich- und Blasinstrumente) verwendet. Im E-Gitarrenbau kommt das Holz oft für die Hälse zum Einsatz. Sehr beliebt sind in dieser Branche auch Decken aus Riegelahorn, die auf die Gitarren geleimt werden. Auch hochwertige Schlagzeugkessel sind sehr häufig aus Ahorn. Drechsler, Schnitzer und Bildhauer verwenden für ihre Arbeiten gerne Ahornholz. Auch für Haus- und Küchengeräte, für Sport-, Mess- und Zeichengeräte wird das helle Holz gebraucht. Die Spielwarenindustrie nutzt massives Holz für kleine Spielgeräte, Eisenbahnen, Häuschen und Tierfiguren. Platten für Laubsägearbeiten der Kinder haben mindestens eine Ahornschicht. Starke Äste und krumme Stämme gehen als Industrieholz in die Spanplattenindustrie oder sind als Brennholz begehrt.

Ahornsirup

Aus dem Saft des in Nordamerika heimischen Zucker-Ahorns (*Acer saccharum*) wird Ahornsirup gewonnen. Dieser wird durch Einkochen der nach Anzapfen aus dem Stamm austretenden Baumsäfte hergestellt.

Zierpflanzen

Als Zierpflanzen sind viele Sorten verschiedener Ahornarten im Handel, von buntlaubigen bis zu kugelkronigen. Man kann den Ahorn auch als Bonsai bearbeiten.

Kulturgeschichte

Nach dem überlieferten Volksglauben bietet der Ahorn einen wirksamen Schutz gegen Hexen. So werden in Hinterpommern die Türen und Stuben mit Ahorn geschmückt, in Mecklenburg sollen die Hexen von Ställen abgehalten werden, indem Zapfen aus Ahornholz in die Türen und Schwellen eingeschlagen werden. Der gleiche Effekt soll erzielt weren, wenn am 24. Juni Ahornzweige an Türen und Fenster gesteckt werden. Dieses Ritual soll auch vor Blitzschlag schützen. Zum Schutz vor Maulwürfen wurden im Revensburgischen Kartoffel- und Flachsfelder mit Ahornzweigen umstellt. Aus dem Elsass ist bekannt, dass Ahornzweige an Türen die Fledermäuse

vom Hause fernhalten sollen.

In der Volksmedizin werden die am 24. Juni gepflückten Ahornblätter getrocknet und in kochendem Wasser erweicht. Sie gelten bei allen Wunden als heilkräftig.

In Oberbayern glaubt man, dass recht fette Ahornblätter auf eine gute, ergiebige Ernte hinweisen. Ferner ist auch das Begießen der Wurzeln mit Wein überliefert - damit sollte ein Wunsch in Erfüllung gehen.

Berühmt ist der Bergahorn zu Trun im Kanton Graubünden. Unter ihm wurde am 16. Mai 1424 der obere oder graue Bund geschworen. 1750 hatte der Baum einen Gesamtumfang von 16 Meter. 1824 standen von den ehemals drei Stämmen noch zwei. Als 1870 der beinahe 500-jährige Ahorn durch einen Sturm umgeworfen wurde, wurde an derselben Stelle aus einem Samen des alten ein junger Berg-Ahorn gepflanzt, der dort bis heute steht. 1890 wurde der Wurzelstock des alten Baumes feierlich in den Sitzungssaal des großen Bundes überführt und befindet sich heute im Museum Sursilvan in Trun. Auch in Orts- und Flurnamen wird der Ahorn oft verwendet. Im Oberwallis entspricht „Agarn“ und im französischen Gebiet „Ayer“ dem Wort „Ahorn“.

Das Ahornblatt ist ein Symbol Kanadas und steht in der seit 1965 verwendeten kanadischen Flagge für die ausgedehnten Wälder des Landes. Die Vorlage lieferte wahrscheinlich der Zucker-Ahorn (*Acer saccharum*). In China gilt der Ahorn als Symbol für Amtswürde.



Flagge Kanadas

Sonstiges

- Der Samen führt durch seine spezielle aerodynamische Form beim Herunterfallen zu Autorotation, dieses bewirkt ein langsameres Absinken der Samen und eine großflächige Verteilung der Samen durch den Wind.
- Veterinärmedizinisch bedeutsam ist die „Red maple toxicosis“ genannte Erkrankung von Tieren nach dem Fressen der welken Blätter des Rot-Ahorns (*Acer rubrum*).

Systematik

Die Gattung Ahorn (*Acer*) umfasst etwa 110 bis 200 Arten. Die Gattung wird in folgende Sektionen gegliedert, wobei einige Sektionen nochmals feiner in Serien unterteilt werden:

- sect. *Acer*
  - ser. *Acer*
  - ser. *Monspessulana*
  - ser. *Saccharodendron*
- sect. *Ginnala*
- sect. *Glabra*
  - ser. *Arguta*
  - ser. *Glabra*
- sect. *Hyptiocarpa*
- sect. *Indivisa*
- sect. *Lithocarpa*
  - ser. *Lithocarpa*
  - ser. *Macrophylla*
- sect. *Macrantha*
- sect. *Palmata*
  - ser. *Palmata*
  - ser. *Penninervia*
  - ser. *Sinensia*
- sect. *Parviflora*
  - ser. *Caudata*
  - ser. *Distyla*
  - ser. *Parviflora*
- sect. *Pentaphylla*
  - ser. *Pentaphylla*
  - ser. *Trifida*
- sect. *Platanoidea*
- sect. *Pubescentia*
- sect. *Rubra*
- sect. *Trifoliata*
  - ser. *Grisea*
  - ser. *Mandshurica*

- sect. *Negundo*
  - ser. *Cissifolia*
  - ser. *Negundo*
- sect. *Wardiana*

Im deutschen Sprachraum kommen neben Spitz-Ahorn (*A. platanoides*), Berg-Ahorn (*A. pseudoplatanus*) und Feld-Ahorn (*A. campestre*) auch Französischer Ahorn (*A. monspessulanum*), Schneeball-Ahorn (*A. opalus*) und Tatarischer Steppenahorn (*A. tataricum*) wild vor.

Hier eine (unvollständige) Artenauflistung der Gattung *Acer*, alphabetisch sortiert nach den botanischen Namen:

- *Acer acuminatum* Wall. ex D. Don: sect. *Glabra* ser. *Arguta*
- Feinzähniger Ahorn (*A. argutum*): sect. *Glabra* ser. *Arguta*
- *Acer barbinerve* Maxim.: sect. *Glabra* ser. *Arguta*
- *Acer ×boscii Spach*
- Dreispitz-Ahorn, Dreispitziger Ahorn (*A. buergerianum*): sect. *Pentaphylla* ser. *Trifida*
- *Acer caesium* Wall. ex Brandis: sect. *Acer* ser. *Acer*
- *Acer calcaratum* Gagnep.: sect. *Palmata* ser. *Sinensia*
- *Acer campbellii* Hook. f. & Thomson ex Hiern: sect. *Palmata* ser. *Sinensia*
- Feld-Ahorn, auch Maßholder genannt (*A. campestre*): sect. *Platanoidea*
- Roter Schlangenhaut-Ahorn (*A. capillipes*): sect. *Macrantha*
- Kolchischer Ahorn (*A. cappadocicum*): sect. *Platanoidea*
- Hainbuchenblättriger Ahorn (*A. carpinifolium*): sect. *Indivisa*
- Acer caudatifolium *Hayata: sect.* Macrantha
- *Acer caudatum* Wall.: sect. *Parviflora* ser. *Caudata*
- *Acer ceriferum* Rehder: sect. *Palmata* ser. *Palmata*
- *Acer chapaense* Gagnep.: sect. *Palmata* ser. *Sinensia*
- Weinblatt-Ahorn (*A. circinatum*): sect. *Palmata* ser. *Palmata*
- Cissusblättriger Ahorn (*A. cissifolium*): sect. *Negundo* ser. *Cissifolia*
- *Acer cordatum* Paxton: sect. *Palmata* ser. *Penninervia*
- *Acer ×coriaceum* Bosc ex Tausch: Dies ist *A. monspessulanum* × *A. opalus*
- Weißdornblättriger Ahorn (*A. crataegifolium*): sect. *Macrantha*
- Davids-Ahorn (*A. davidii*): sect. *Macrantha*
- *Acer diabolicum* Blume ex K. Koch: sect. *Lithocarpa* ser. *Lithocarpa*
- *Acer distylum* Siebold & Zucc.: sect. *Parviflora* ser. *Distyla*
- *Acer duplicatoserratum* Hayata: sect. *Palmata* ser. *Palmata*
- *Acer erianthum* Schwer.: sect. *Palmata* ser. *Sinensia*
- *Acer fabri* Hance: sect. *Palmata* ser. *Penninervia*
- *Acer ×freemanii A. E. Murray: Dies ist* A. rubrum × A. saccharinum
- Kahler Ahorn (*A. glabrum*): sect. *Glabra* ser. *Glabra*



Illustration von Spitz-Ahorn (*A. platanoides*)



Blühender Ahorn



Spitz-Ahorn, getrocknetes Blatt

- Granada-Ahorn (*A. granatense*)
- *Acer grandidentatum*
- Zimt-Ahorn (*A. griseum*): sect. *Trifoliata* ser. *Grisea*
- Griechischer Ahorn (*A. heldreichii*): sect. *Acer* ser. *Acer*
- Henrys Ahorn (*Acer henryi* Pax): sect. *Negundo* ser. *Cissifolia*
- *Acer* ×*hillieri* Lancaster: Dies ist *A. miyabei* × *A. cappadocicum*
- *Acer* ×*hybridum* Bosc
- Balkan-Ahorn (*A. hyrcanum*): sect. *Acer* ser. *Monspessulana*
- Japan-Ahorn (*A. japonicum*): sect. *Palmata* ser. *Palmata*
- *Acer laevigatum* Wall.: sect. *Palmata* ser. *Penninervia*
- *Acer laurinum* Hassk.: sect. *Hyptiocarpa*
- *Acer longipes* Franch. ex Rehder: sect. *Platanoidea*
- *Acer lucidum* F. P. Metcalf: sect. *Palmata* ser. *Penninervia*
- Oregon-Ahorn (*A. macrophyllum*): sect. *Lithocarpa* ser. *Macrophylla*
- Mandschurischer Ahorn (*A. mandshuricum*): sect. *Trifoliata* ser. *Mandshurica*
- Nikko-Ahorn (*A. maximowiczianum*): sect. *Trifoliata* ser. *Grisea*
- *Acer micranthum*: sect. *Macrantha*
- Miyabes Ahorn (*A. miyabei*): sect. *Platanoidea*
- Französischer Ahorn, Burgen-Ahorn (*A. monspessulanum*): sect. *Acer* ser. *Monspessulana*
- Eschen-Ahorn (*A. negundo*): sect. *Negundo* ser. *Negundo*
- *Acer nipponicum* H. Hara: sect. *Parviflora* ser. *Parviflora*
- *Acer oblongum* Wall. ex DC.: sect. *Pentaphylla* ser. *Trifida*
- *Acer okamotoanum* Nakai: sect. *Platanoidea*
- *Acer oliverianum* Pax: sect. *Palmata* ser. *Sinensia*
- Schneeball-Ahorn (*A. opalus*): sect. *Acer* ser. *Monspessulana*
- *Acer osmastonii* Gamble: sect. *Palmata* ser. *Sinensia*
- Fächer-Ahorn (*A. palmatum*): sect. *Palmata* ser. *Palmata*
- *Acer pauciflorum* W. P. Fang: sect. *Palmata* ser. *Palmata*
- *Acer paxii* Franch.: sect. *Pentaphylla* ser. *Trifida*
- *Acer pectinatum* Wall. ex G. Nicholson: sect. *Macrantha*
- Streifen-Ahorn (*A. pensylvanicum*): sect. *Macrantha*
- *Acer pentaphyllum* Diels: sect. *Pentaphylla* ser. *Pentaphylla*
- *Acer pentapomicum* J. L. Stewart ex Brandis: sect. *Pubescentia*
- *Acer pictum* Thunb. ex Murray: sect. *Platanoidea*
- Spitz-Ahorn, auch Spitzblättriger Ahorn genannt (*A. platanoides*): sect. *Platanoidea*
- Berg-Ahorn (*A. pseudoplatanus*): sect. *Acer* ser. *Acer*
- *Acer pseudosieboldianum* (Pax) Kom.: sect. *Palmata* ser. *Palmata*
- *Acer pubipalmatum* W. P. Fang: sect. *Palmata* ser. *Palmata*
- *Acer pycnanthum* K. Koch: sect. *Rubra*
- *Acer robustum* Pax (sect. *Palmata* ser. *Palmata*
- *Acer* ×*rotundilobum* Schwer.: Dies ist *A. monspessulanum* × *A. opalus*, also gleiche Eltern wie bei *A.* ×*coriaceum* Bosc ex Tausch



Spitz-Ahorn-Blatt



Zweig mit Laub vom Tatarischen Steppenahorn (*A. tataricum*)



Eine rotblättrige Sorte des Fächer-Ahorns (*A. palmatum*)

- *Acer rubescens* Hayata: sect. *Macrantha*
- Rot-Ahorn (*A. rubrum*): sect. *Rubra*
- Rotnerviger Schlangenhaut-Ahorn (*A. rufinerve*): sect. *Macrantha*
- Silber-Ahorn (*A. saccharinum*): sect. *Rubra*
- Zucker-Ahorn (*A. saccharum*): sect. *Acer* ser. *Saccharodendron*
- *Acer* ×*schwerinii* Pax
- Kreta-Ahorn (*A. sempervirens*): sect. *Acer* ser. *Monspessulana*
- *Acer shirasawanum* Koidz.: sect. *Palmata* ser. *Palmata*
- *Acer sieboldianum* Miq.: sect. *Palmata* ser. *Palmata*
- *Acer sikkimense* Miq.: sect. *Macrantha*
- *Acer sino-oblongum* F. P. Metcalf: sect. *Palmata* ser. *Penninervia*
- Vermont-Ahorn (*A. spicatum*): sect. *Parviflora* ser. *Caudata*
- *Acer stachyophyllum*: sect. *Glabra* ser. *Arguta*
- *Acer sterculiaceum* Wall.: sect. *Lithocarpa* ser. *Lithocarpa*
- *Acer sutchuenense* Franch.: sect. *Trifoliata* ser. *Mandshurica*
- Tatarischer Steppenahorn (*A. tataricum*): sect. *Ginnala*
- Koreanischer Schlangenhaut-Ahorn (*A. tegmentosum*): sect. *Macrantha*
- *Acer triflorum* Kom.: sect. *Trifoliata* ser. *Grisea*
- Chinesischer Spitz-Ahorn (*A. truncatum*): sect. *Platanoidea*
- *Acer tschonoskii* Maxim.: sect. *Macrantha*
- Samt-Ahorn (*A. velutinum*): sect. *Acer* ser. *Acer*
- *Acer wardii* W. W. Sm.: sect. *Wardiana*
- *Acer wuyuanense* W. P. Fang & Y. T. Wu: sect. *Acer* ser. *Acer*
- *Acer* ×*zoeschense* Pax: Dies ist *A. campestre* × *A. cappadocicum*



Ahornzweig mit typischen Samen („Nasen“)



Ahornsame

Verwechselung

Aufgrund ihrer ähnlichen Blattform werden die häufig als Straßenbaum gepflanzten Ahornblättrigen Platanen (*Platanus* × *acerifolia*) fälschlicherweise für Ahorne gehalten.



Herbstlaub von *Acer opalus* subsp. *obtusatum*

Literatur

- Helmut Pirc: *Ahorne*. Mit Zeichnungen von Michael Motamen. Ulmer, Stuttgart 1994, ISBN 3-8001-6554-6
- D. Grosser, W. Teetz: *Ahorn.* In: *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung).* Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond - Absatzförderungfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn 1998, ISSN 0446-2114 [1]. (PDF [2])



Sehr junger Ahorn

Weblinks

- Eintrag bei GRIN Taxonomy for Plants [3] (engl.)

Ahornholz

Ahornholz	
	
Baumarten	Berg-Ahorn, Spitz-Ahorn, Zucker-Ahorn und andere
Herkunft	Eurasien, Nordamerika
Farbe	gelblich-weiß, weiß, rötlich-weiß
Materialeigenschaften	
Rohdichte Mittelwert	Berg-A. 623 kg/m^3 Spitz-A. 653 kg/m^3
Rohdichte Grenzwerte	Berg-A. 530–790 kg/m^3 Spitz-A. 560-810 kg/m^3
Axiales Schwindmaß	0,4–0,5 %
Radiales Schwindmaß	Berg-A. 3,3–4,4 % Spitz-A. 3,2–4,9 %

Tangentiales Schwindmaß	Berg-A. 8,0–8,5 % Spitz-A. 8,4–9,0 %
Biegefestigkeit	Berg-A. N/mm^2 Spitz-A. 114–137 N/mm^2
Druckfestigkeit	Berg-A. 82 N/mm^2 Spitz-A. 100–155 N/mm^2
Zugfestigkeit	Berg-A. 58 N/mm^2 Spitz-A. 59-62 N/mm^2
Wärmeleitfähigkeit	Berg-A. 0,16–0,18 W/Km Spitz-A. 0,14 W/Km
Brennstoffeigenschaften	
Brennwert	4,1 KW/hKg

Als **Ahornholz** wird das Holz der Ahorne (Gattung *Acer*) bezeichnet, einer Gattung von sommergrünen Bäumen und Sträuchern, die in bis zu 200 Arten über weite Teile Eurasiens und Nordamerikas verbreitet sind. Es wird vor allem als Bau- und Möbelholz genutzt, viel seltener dient es als Brennholz. Kommerziell relevant ist vor allem das Holz einiger hochwachsender Arten wie des Berg-Ahorn (*A. pseudoplatanus*) und des Spitz-Ahorn (*A. platanoides*) in Eurasien. In Nordamerika sind vor allem der Zucker-Ahorn (*A. saccharum*) und der Schwarze Ahorn (*A. nigrum*) als „American hard maple“ und der Rot-Ahorn (*A. rubrum*) und der Silber-Ahorn (*A. saccharinum*) als American soft maple von Bedeutung. Der Japanische Ahorn (*A. pictum*) stammt aus Japan und spielt im ostasiatischen Raum eine zentrale Rolle. Weitere Arten wie der Feld-Ahorn (*A. campestre*) haben nur eine untergeordnete oder regionale Bedeutung.

Eigenschaften

Das Holz der Berg-Ahorne zählt zu den wertvollsten Edellaubhölzern. Sowohl das Splint- als auch das Kernholz sind gelblich weiß bis weiß gefärbt, beim Spitz-Ahorn eher rötlich-weiß. Splint und Kern setzen sich daher farblich nicht oder kaum voneinander ab. Die Jahresringe sind deutlich erkennbar, zwischen den Jahresringen sind die unregelmäßig angeordneten Poren und häufig auch die Markstrahlen als Flecken oder Streifen deutlich erkennbar.

Das Holz besitzt eine mittlere Dichte von 623 bzw. 653 kg/m^3 (Berg- bzw. Spitz-Ahorn) und stellt damit eine mittelschwere Holzart dar. Es ist elastisch und zäh, zugleich jedoch hart und besitzt nur ein geringes Schwindmaß. Die Biegefestigkeit ist gut. Zum Vergleich werden in der nebenstehenden Tabelle die physikalischen Eigenschaften der als Holzlieferanten wichtigsten Ahornhölzer dargestellt.

Im Trockenen ist Ahornholz sehr gut haltbar, dies trifft vor allem bei der Verwendung im Innenausbau zu. Die Oberflächen lassen sich gut bearbeiten, leicht polieren, beizen und einfärben, auch die Behandlung mit Lacken ist problemlos. Das Holz ist zudem gut spaltbar. Während der Trocknung neigt das Holz allerdings zur Verfärbung, daher müssen die Stämme nach der Fällung sehr schnell eingeschnitten und vertikal gelagert werden.



Berg-Ahornfurnier



Berg-Ahorn Querschnitt



Vogelaugenahorn (Strukturveränderung mit augenartigem Faserverlauf durch Wachstumsstörungen des Kambiums)

Verwendung



Eine Bank aus stark gezeichnetem Zucker-Ahornholz

Ahornholz wird vor allem im Möbelbau und im Innenausbau verwendet. Besonders in den 1950er- bis Mitte der 1960er-Jahre waren schlichte wie auch geriegelte Ahornfurniere aufgrund der Naturfarbe sehr begehrt für Schlafzimmermöbel, Fronten und Türen von Schränken, Tischen, Wohnzimmerbüfetts und für Kleinmöbel. Auch als Kontrastholz in Form von Kanten und Zierleisten wurde es oft verwendet. Wegen seiner Tendenz zum relativ raschen Vergilben ist aber der Einsatz für die Außenfronten im Möbelbau stark zurückgegangen. Heute wird es bei hochwertigen Möbeln und Schlafzimmern noch für die Innenauskleidung verwendet. Kunsttischlern dient das Ahornholz für die Herstellung feinster Möbel, wobei es auch für Intarsienarbeiten (Einlegearbeiten) Verwendung findet.

Eine spezielle Verwendungsart des Ahorns sind aus Vollholz hergestellte Tischplatten, beispielsweise für Wirtshaustische. Die Möbelindustrie nimmt Ahorn massiv oder als Furnier für Dekore. Ahornparkett gilt als besonders wertvoll und zeichnet sich durch einen hohen Abnutzungswiderstand aus. Für den Treppenbau ist Ahorn ebenfalls gut geeignet. Seit langem wird ausgesuchtes Berg-Ahornholz als Zier- und Resonanzholz zur Herstellung von Musikinstrumenten (Streich- und Blasinstrumente) verwendet. Im E-Gitarrenbau kommt das Holz oft für die Hälse zum Einsatz. Sehr beliebt sind in dieser Branche auch Decken aus Riegelahorn, die auf die Gitarren geleimt werden. Auch hochwertige Schlagzeugkessel sind sehr häufig aus Ahorn.

Drechsler, Schnitzer und Bildhauer verwenden für ihre Arbeiten gerne Ahornholz. Auch für Haus- und Küchengeräte, für Sport-, Mess- und Zeichengeräte wird das helle Holz gebraucht. Die Spielwarenindustrie nutzt massives Holz für kleine Spielgeräte, Eisenbahnen, Häuschen und Tierfiguren.

Starke Äste und krumme Stämme von allen Ahornarten gehen als Industrieholz in die Spanplattenindustrie oder sind als Brennholz begehrt.

Literatur

- Eberhard Thun: *Nutzholzarten.* Verlag V. Thun, Vechte 1993; S. 52-53. ISBN 3-9803347-0-8.
- Josef Fellner, Alfred Teischinger, Walter Zschokke: *Holzspektrum. Ansichten, Beschreibungen und Vergleichswerte.* proHolz - Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Holzwirtschaft zur Förderung der Anwendung von Holz, Wien 2006; S. 12. ISBN 3-902320-31-1
- D. Grosser, W. Teetz: *Ahorn.* In: *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung).* Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond - Absatzförderungfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn 1998, ISSN 0446-2114 [1]. (PDF [2])

Alditole

Alditole sind nichtcyclische Polyole mit der Formel $HOCH_2[CH(OH)]_nCH_2OH$, die sich strukturell als Reduktionsprodukte von Kohlenhydraten (Zucker) ableiten. Sie werden auch als **Zuckeralkohole** bezeichnet.

Struktur

Zu den Alditolen zählen beispielsweise Mannit (Mannitol), Isomalt, Lactit, Sorbit (Sorbitol oder Glucitol) und Xylit (Xylitol), Threit, Erythrit und Arabit.

Die Bezeichnung der Alditole folgt folgender Konvention: Die Endung *-ose* (z. B. Glucose) des Ursprungszuckers wird durch die Endung *-it* (Glucit) oder *-itol* (Glucitol) ersetzt. Da sich manche Alditole formal sowohl von Aldosen als auch von Ketosen ableiten lassen, kommt es vor, dass ein Alditol mehrere Namen trägt, so bezeichnen beispielsweise *Glucit* und *Sorbit* dieselbe Substanz.

Aufgrund der allgemeinen Struktur kann das Glycerin formal als einfachstes, vom Glycerinaldehyd abgeleitetes Alditol betrachtet werden. Das einfachste chirale Alditol ist der Threit, der sich von der Threose, einem Kohlenhydrat mit vier Kohlenstoffatomen, ableitet. Von der Erythrose, ebenfalls einem Kohlenhydrat mit vier Kohlenstoffatomen, leitet sich der Erythrit ab, der im Gegensatz zum Threit optisch inaktiv ist (meso-Verbindung).

Eigenschaften

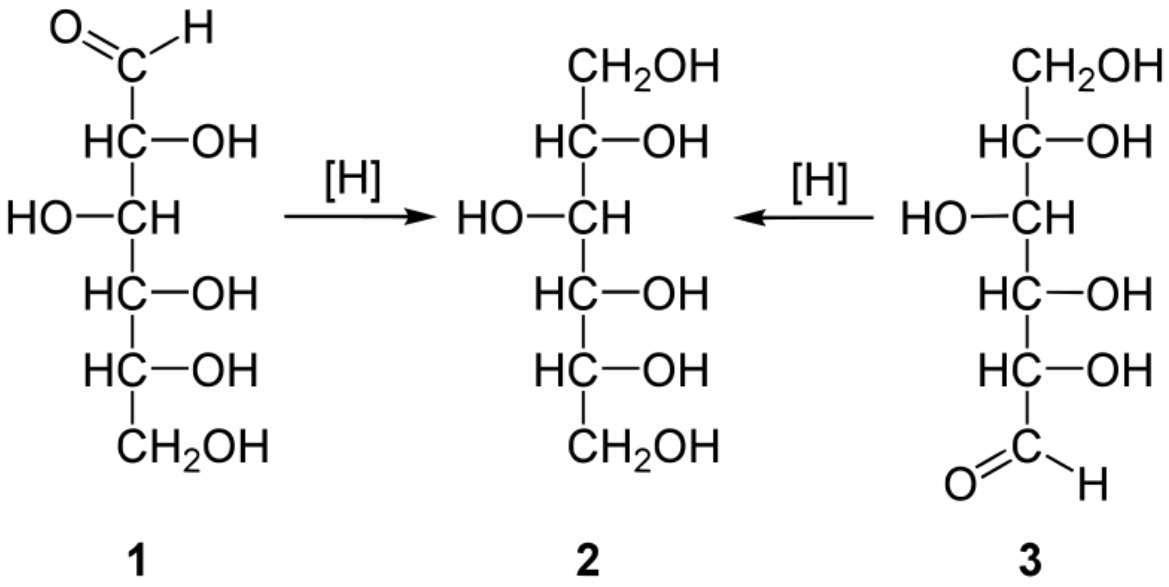
Das Geschmacksbild der Alditole ähnelt dem der Saccharose, ist jedoch nicht gleich. Sie schmecken süß, erreichen jedoch selten die relative Süße von Saccharose, sind nicht kariogen und zeigen eine abführende Wirkung bei einem Konsum von mehr als 20 bis 30 g pro Tag. Einige Alditole werden als Zuckeraustauschstoffe in diätetischen Lebensmitteln eingesetzt, weil sie den Blutzuckerspiegel nicht erhöhen und kein Insulin benötigen, um abgebaut zu werden. Deshalb sind sie für Diabetiker geeignet.

Unterschiede zwischen Alditolen und Saccharose sind weiterhin in der Löslichkeit, dem pH-Wert und der Temperaturstabilität, dem Schmelzpunkt und dem Siedepunkt zu finden. Diese Faktoren sind entscheidend für ihren technischen Einsatz in Lebensmitteln.

Synthese

Alditole können aus Aldosen oder Ketosen durch Reduktion der Carbonylgruppe hergestellt werden. Industriell wird dies durch katalytische Hydrierung an einem Nickel-Katalysator erreicht. Auf diese Weise wird D-Sorbit aus D-Glucose synthetisiert. Im Labormaßstab eignet sich das Natriumborhydrid (Natriumboranat, $NaBH_4$) als Reduktionsmittel.

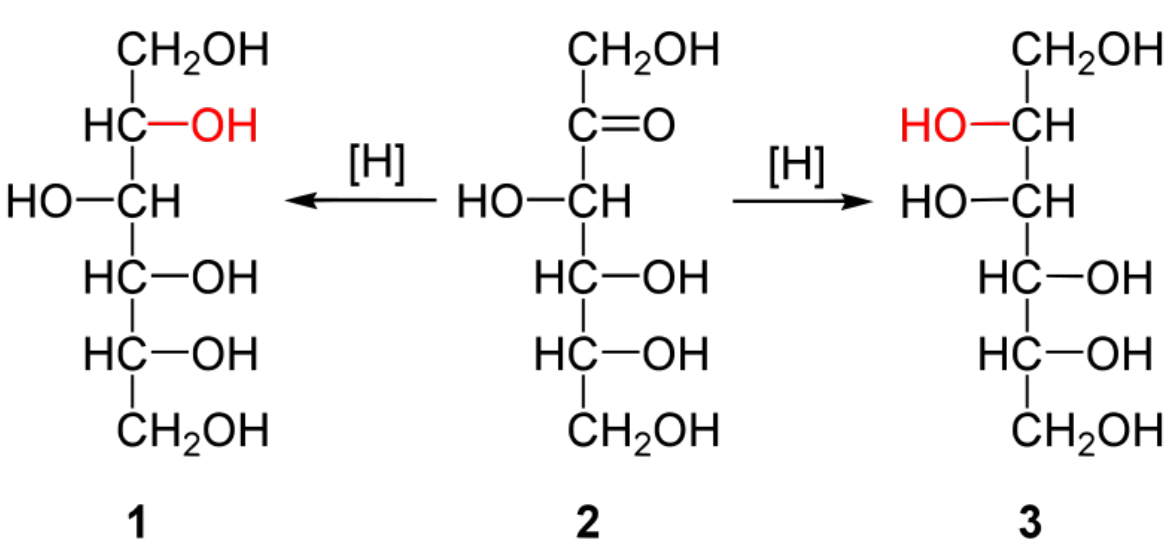
Da bei der Reduktion von Aldosen die Stereozentren nicht verändert werden, wird aus *einer* Aldose immer genau *ein* Alditol gebildet. Allerdings kann dasselbe Alditol aus zwei unterschiedlichen Aldosen entstehen:



Reduktion von D-Glucose (1) und L-Gulose (3) zu D-Sorbit (2)

Die im obigen Schema in der um 180° gedrehten Fischer-Projektion gezeigte L-Gulose liefert bei Reduktion also ebenfalls D-Sorbit.

Die Reduktion von Ketosen dagegen generiert ein neues Stereozentrum in beiden möglichen Konfigurationen, so dass aus einer Ketose ein Gemisch zweier unterschiedlicher (epimerer) Alditole gebildet wird:



Reduktion von D-Fructose (2) zu D-Mannit (3) und D-Sorbit (1)

Da deren Trennung erhebliche Aufarbeitungskosten verursacht, werden einige Alditole auch durch biokatalytische Umsetzung mit lebenden Mikroorganismen hergestellt.

Verwendung

Alditole finden vor allem Verwendung in der Lebensmittelindustrie, wo sie als Süßungsmittel eingesetzt werden. Vor allem Sorbitol hat ein breites Anwendungsspektrum, dass vom Einsatz als Zuckerersatz und Verwendungen in der Kosmetikindustrie und als Süßungsmittel für Zahnpasta bis hin zu Feuchthaltemitteln für Tabak, Baustoffzusätzen und Verwendungen in der chemischen Industrie bsp. zur Herstellung von Nitrosorbit, Tensiden, Polyolen für Polyurethane reicht

Literatur

- Peter Nuhn: *Naturstoffchemie – Mikrobielle, pflanzliche und tierische Naturstoffe,* 4., neu bearb. Auflage, Hirzel S. Verlag, Stuttgart 2006; S. 130-132. ISBN 3-777-61363-0

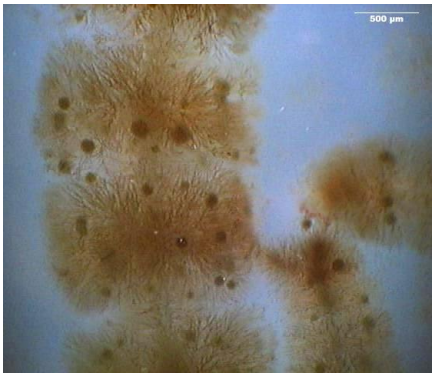
Alge

Die Bezeichnung **Alge** wird in der Algenkunde (Phykologie oder Algologie) unterschiedlich verwendet und verschiedenen Begriffen zugeordnet.

1. Im weiteren Sinn bezeichnen sie im Wasser lebende, eukaryotische, pflanzenartige Lebewesen, die Photosynthese betreiben, jedoch nicht zu den eigentlichen Pflanzen gehören.
2. Als Algen im engeren Sinne werden zahlreiche Protistengruppen bezeichnet. Hierzu gehören sowohl einzellige als auch mehrzellige Lebewesen.
3. Als Blaualgen werden traditionell die Cyanobakterien bezeichnet, die zu den Prokaryoten gehören und deshalb keine Pflanzen sind und auch nicht zu den Algen gerechnet werden. Sie sind Gegenstand der Bakteriologie, werden aber als historisches Relikt auch noch von der Botanik behandelt.

Algen stellen keine echte Verwandtschaftsgruppe im Sinne der Phylogenie und Systematik dar, sondern sind eine polyphyletische und paraphyletische Gruppe. Gleichwohl wird der Begriff auch in der Biologie häufig als Sammelbegriff verwendet.

Vorkommen und Lebensweise



Batrachospermum moniliforme: Eine im Süßwasser lebende Alge

Man findet Algen insbesondere im Meer und im Süßwasser. Zu den Luftalgen (Aerophyten) werden Arten gerechnet die an der Luft zum Beispiel an Baumstämmen oder auf Felsen leben. Man findet diese hauptsächlich in den Tropen und Subtropen auf feuchten Blättern. Arten der weit verbreiteten Gattung Trentepohlia wachsen auf Schattenseiten von Felsen und Baumstämmen. Des Weiteren gibt es Bodenalgen (terrestrische Algen) die meist auf Waldböden vorkommen. Die Grünalge *Fritschiella* ist ein bekanntes Beispiel. Die Art *Chlamydomonas nivalis* kommt im Schnee von Gebirgen und Antarktis vor und bildet durch rotgefärbte Carotinoide, unter anderem durch das Astaxanthin (auch unter dem veralteten Namen Haematochrom bekannt) den Blutschnee. Im Wasser bilden Algen das

Phytoplankton, den pflanzlichen Teil des Planktons. Auch das Phytobenthos, die Pflanzen der Gewässerböden, wird hauptsächlich durch Algen gebildet. Besonders groß sind die Laminarien (Kelp bzw. marine Braunalgen), die ausgedehnte Tangwälder in den Küstenbereichen der Meere bilden.

Insbesondere einzellige Algen gehen auch Symbiosen ein, zum Beispiel als Zooxanthellen in manchen Meerestieren, die dadurch unabhängig von äußerer Nahrungszufuhr werden oder einfach Tarnung erhalten. Am intensivsten gediehen ist die Symbiose zwischen Algen und Pilzen in den Flechten. Diese stellen echte Doppelwesen dar, die sogar gemeinsame Vermehrungsorgane ausbilden.



Trentepohlia aurea: Eine weitverbreitete Luftalge

Morphologische Organisationsstufen

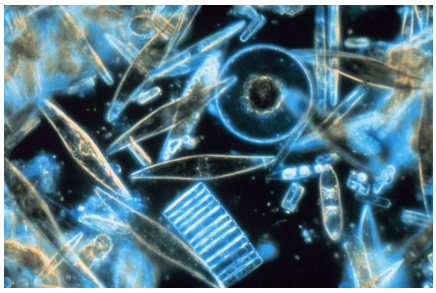
Unter Organisationsstufen versteht man die unterschiedlichen Strukturen des Aufbaus der Algen. Die Organisationsstufen werden in der klassischen Systematik der Algen zur Unterteilung der verschiedenen Klassen in Ordnungen genutzt.

Man unterscheidet zwischen folgenden Stufen (Auswahl):

- Monadoide oder monadale Stufe: Algen, die hierzu gezählt werden sind begeißelte Einzeller. Die monodale Stufe ist also den Flagellaten gleich zusetzen. Sie ist bei fast allen Gruppen der Algen vorhanden, sie fehlt nur bei den Rotalgen, Schmuckalgen (Ordnung der Grünalgen) und den Pennales (eine Gruppe der Kieselalgen).
- Rhizopodial oder amöboid: Es handelt sich um unbegeißelte, amöboide Einzeller die keine Zellwand besitzen. Die Fortbewegung erfolgt kriechend durch Pseudopodien, also durch Austülpungen des Zellplasmas. Einige Gattungen der Goldalgen sind als Beispiel anzuführen.
- Monadoide, koloniebildende Stufe: Es handelt sich um begeißelte Einzeller, die in einer Gallerte zusammengehalten werden und eine Zellkolonie bilden. Es besteht bereits eine Tendenz zur Zelldifferenzierung. Während *Gonium sacculiferum* noch aus vier gleichen „Chlaymodmonas-ähnlichen“



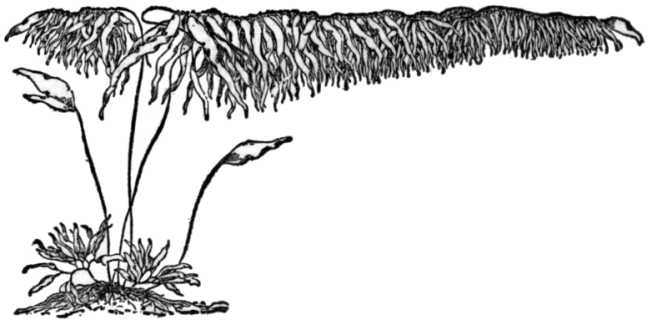
Kapsal (Pediastrum)



Kokkale Kieselalgen

Einzelzellen besteht, findet man bei Kolonien aus mehreren tausenden Zellen der Gattung *Volvox* bereits vegetative und Geschlechtszellen.

- Capsal (kapsal, tetrasproral oder palmelloid): Unbegeißelte Einzelzeller die nach der Teilung von einer Gallerthülle zusammengehalten werden. Es entstehen Coenobien, Verbände aus eigenständigen Einzellzellen. Ein Beispiel ist *Tetraspora*.



Thallös, Oben: Phylloid, Mitte: Cauloid, Unten: Rhizoid (Riesentang)

- Kokkal (coccal): Unbewegliche Einzeller (ohne Geißeln) die eine verdickte Zellwand besitzen. Die Algen der Gattung Chlorococcum (Grünalgen) besitzen im vegetativen Zustand keine Geißeln, die Organisationsstufe ist kokkal. Nur bei der Vermehrung werden begeißelte Einzeller, die Zoosporen gebildet. Auch fast alle Kieselalgen, bei denen die Zellwand aus Silziumdioxid („Kieselsäure“) besteht zählen zu dieser Organisationsstufe.
- Trichal: Algen dieser Stufe bilden mehrzellige, fadenförmige Vegetationskörper. Die einzelnen Zellen sind durch Zellwände von einander getrennt. Die Zellfäden entstehen durch Zellteilungen in nur einer Ebene (also sozusagen eindimensional). Es können auch Verzweigungen gebildet werden. Die Schraubenalge sei als Beispiel genannt.
- Siphonal: Der Körper besteht aus einer einzigen, vielkernigen Zelle. Die Bildung erfolgt durch Kernteilungen in mehreren Raumebenen ohne Bildung von trennenden Zellmembranen und Zellwänden. Der Coenoblast kann einen mehrkernigen schlauch- oder blasenförmigen Thallus bilden. Ein Beispiel ist die Schirmalge. In der Systematik werden Arten dieser Stufe manchmal als die Gruppe *Siphonales* zusammengefasst.
- Thallös: Es wird durch Zellteilungen in verschiedenen Raumrichtungen (dreidimensional) ein Thallus gebildet. Dieser kann scheinbar in Gewebe unterteilt sein. Der Thallus vieler Braunalgen ist in Rhizoid (analog zu den Wurzelgewebe), Cauloid (entspricht der Sproßachse) und Phylloid (Blattähnlich) gegliedert. Thallöse Algen können große Vegationskörper bilden. So hat der Riesentang eine Länge von bis zu 60 Meter.

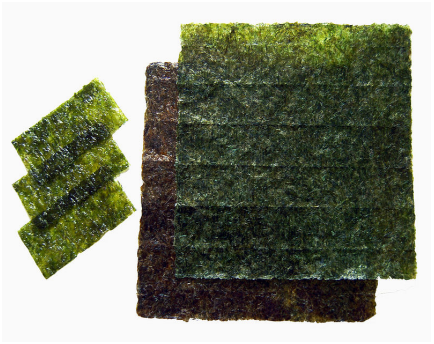
Algen in den Weltmeeren

In den Weltmeeren bildet sich Phytoplankton sehr gehäuft in der Arktis und im Küstenbereich, sehr wenig Phytoplankton gibt es im subtropischen Bereich. Der Anteil an Plankton lässt sich durch Satellitenaufnahmen mit Spezialkameras aus dem Weltraum abschätzen. Es gibt etwa 10.000 verschiedene Algenarten, etwa 500 Arten sind besonders wichtig. Das Phytoplankton ist zwischen einem tausendstel Millimeter und einem halben Millimeter groß. Winzige Tierchen, das Plankton (Zooplankton), können in den Weltmeeren die Algen fressen. Andere Algen sterben ab und sinken auf den Meeresgrund. Algen wirken vermutlich als Kohlendioxidpumpe von Luft und Regenwasser, die Kohlendioxid enthalten. Sie haben vermutlich einen sehr wichtigen Einfluss für die Bindung des Kohlendioxids aus der Atmosphäre. [1] Es wird geschätzt, dass sich jährlich 45-50 Milliarden Tonnen Kohlenstoff des Kohlendioxids in Phytoplankton umwandeln. Nach dem Absterben soll dieses Phytoplankton in die Tiefe des Meeres sinken, wobei auch möglicherweise entstehendes Kohlendioxid gefangen bliebe. Etwa 15% oder 8 Mrd. Tonnen des assimilierten Kohlenstoffes des entstehenden Phytoplanktons sinkt in die Tiefe. Ohne das Phytoplankton der Meere läge die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre vermutlich statt bei 365 ppm bei 565 ppm. [2] Das Phytoplankton dient als Kohlenstoffpumpe, es verfrachtet Kohlendioxid aus der Luft oder gebunden als Regen in die Tiefsee. Aus dem Phytoplankton, das in der Tiefsee unter hohem Druck steht, entsteht nach vielen Jahrtausenden schließlich Erdöl oder Erdgas.

Einige Wissenschaftler haben herausgefunden, dass die Algenproduktion im Meerwasser durch Zugabe von Eisenionen erheblich zunimmt. Eine derartige Düngung könnte zu einer verstärkten Einlagerung von Kohlendioxid in der Tiefsee führen.

Erzeugung und Nutzung von Algen

Algen können für vielfältige Zwecke verwendet werden. Teilweise erfolgt die Gewinnung direkt aus dem Meer. Die Kultivierung im Meer, in Aquakulturen oder in Algenreaktoren gewinnt an Bedeutung.



Getrocknete Nori-Algen

Algen als Nahrungsmittel

(Hauptartikel siehe Algen (Lebensmittel))

- Von den weltweit bekannten 80.000 (geschätzte 400.000) Algenarten werden nur ca. 160 industriell (unter anderem als Nahrungsmittel) genutzt.
- Verschiedene große Algenarten (Makroalgen) werden roh als Salat oder gedünstet als Gemüse verzehrt. Der Schwerpunkt der Nutzung liegt in Südostasien, wo jährlich ca. 9 Millionen Tonnen verzehrt werden.
- Algen besitzen einen sehr hohen Anteil an Mineralstoffen und Spurenelementen. Ein hoher Anteil an Kohlenhydraten, ungesättigten Fettsäuren oder Beta-Carotinen sind Argumente für die Verwendung weiterer Algensorten als Nahrungsmittel.
- In Ländern wie Japan ist der Anbau von Rotalgenarten (z. B. für Sushi) ein bedeutender Wirtschaftszweig.

Energetische Nutzung von Algen

(siehe auch Artikel Algenkraftstoff)

Verschiedene Möglichkeiten zur energetischen Nutzung von Algen, z. B. als Algenkraftstoff (Biokraftstoff), werden untersucht. Z. T. wird dies mit umwelttechnischen Anwendungen verknüpft:



Herstellung von Biowasserstoff mittels Algen im Labormaßstab

- Hans Gaffron hat bereits 1939 ein Verfahren entwickelt, um mit Hilfe von Grünalgen der Gattung *Chlamydomonas reinhardtii* Wasserstoff (Biowasserstoff) zu produzieren. Dazu kann ein Algenreaktor oder Photobioreaktor verwendet werden.
- Aus bestimmten Algen lässt sich Biodiesel herstellen. Die Algen-Biomasse könnte zu Biogas vergoren oder in geeigneten Anlagen thermisch genutzt werden. Das bei der Kultivierung der Algen notwendige CO_2 kann beispielsweise mit den Abgasen von Kraftwerken bereitgestellt werden.

Weitere Anwendungen

Bei weiteren, teilweise sehr speziellen Anwendungen werden Produkte der Algen, ihre Inhaltsstoffe, ihre Abbaufähigkeiten oder ihre Abbauprodukte verwendet:

- Kieselalgen sind beispielsweise reich an Kohlenhydraten, Fettsäuren, Steroiden und Vitaminen. Diese werden auf vielfältigste Weise, z. B. als Nahrungsergänzungen („Spiruletten“), Verdickungsmittel (Agar) in Kosmetikprodukten oder in der Industrie verwendet.
- Die Pigmente in den Algen können künftig eine umweltfreundlichere Alternative für Tinte sein, da sie biologisch besser abbaubar sind.
- Im Abwassersektor können Algen zum Binden von ausgeschwemmten Düngemitteln eingesetzt und selbst wieder als Dünger verwendet werden. Wie durch andere Pflanzen auch, kann mit ihrer Hilfe Kohlenstoffdioxid (CO_2) gebunden werden.

- Zudem wurden aus Ablagerungen abgestorbener Algen weite Teile der heute verwendeten fossilen Rohstoffe (Erdöl, Erdgas) gebildet.
- Aus Braunalgen lässt sich Alginsäure gewinnen, deren Salze (Alginate) als Verdickungs- und Geliermittel zum Einsatz kommen. Alginat kann auch im Bereich der Biomedizintechnik, zum Beispiel zur Wundabdeckung, verwendet werden[3] .
- Auch lässt sich aus Algen eine hochkristalline Form der Cellulose gewinnen, die zum Beispiel bei der Herstellung von Tabletten eingesetzt werden kann.[4] oder als Verstärkungsmaterial für Naturfaserverbundwerkstoffe[5]

Anbau in Deutschland

In List auf der Insel Sylt gibt es einen von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt finanzierten, unter der Leitung von Prof. Klaus Lüning vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung durchgeführten Versuchsanbau von Rot- und Braunalgen, nämlich *Palmaria* und *Laminaria*.

Seit dem Jahr 1999 existiert in Deutschland eine weltweit einzigartige Produktionsanlage für Mikroalgen in Klötze/Altmark. In dieser wird, unter Leitung von Prof. Dr. Steinberg, die Grünalge *Chlorella vulgaris* in einem 500 km langen patentierten Glasröhrensystem kultiviert.

Forschung

Die Algen umfassen eine riesige Artenvielfalt, von der bislang verhältnismäßig wenig bekannt ist. Umso interessanter ist die Suche nach unbekannten Arten und deren Nutzung für verschiedenste Industriezweige.

Die Georg-August-Universität Göttingen besitzt eine der weltweit umfassendsten Algensammlungen mit gegenwärtig rund 2200 Stämmen.

Die Gruppen der Algen

Gruppen die den Algen zugeordnet werden (Auswahl):

- Glaucophyta: nur einzellige Flagellaten (Glaucocystaceae) im Süßwasser
- Haptophyta: leben vor allem marin
- Schlundgeißler (Cryptista): meist einzellig, Meer- und Süßwasserbewohner
- Euglenozoa
- Dinozoa (s. Dinoflagellaten, ca 1100 Arten: Braune (das grüne Chlorophyll wird durch rote Fucoxanthine überdeckt), einzellige, begeißelte Zellen mit einer seitlichen und einer basalen (am hintere Pol) Geißel. Sie besitzen innerhalb der Zellmembran einen festen Zellulosepanzer. Sie leben marin oder limnisch. Viele haben spezielle Schwebeeinrichtungen.
- Raphidophyceae (Chloromonadophyceae): meist im Süßwasser vorkommend
- Chlorarachniophyta: marin, es gibt 6 bekannte Gattungen
- Gelbgrüne Algen (Xanthophyceae): leben nur im Süßwasser
- Goldalgen (Chrysophyta): selten marin, meist im Süßwasser vorkommend mit einer oder zwei apikalen (= an der Spitze sitzenden) Geißeln. Viele von ihnen bilden Kolonien.
- Kieselalgen (Bacillariophyta, auch Diatomeen genannt): vorwiegend im Meer lebend
- Braunalgen (Phaeophyta)(ca. 1500 Arten): fast ausschließlich marin, kleine, zart gebaute, fädige, bis sehr große, außerordentlich widerstandsfähige, derge Organismen.
- Rotalgen (Rhodophyta): vorwiegend in der Litoralzone des Meeres
- Grünalgen (Chlorophyta)(ca. 7000 Arten): Meer (2/5 aller Arten), Süßwasser (3/5 aller Arten) und auch landlebende Algen
- Picobiliphyta: im Jahr 2007 publizierte, neue Klasse im Pikoplankton von nährstoffarmen Meereswasser.

In der klassischen Einteilung der Algen werden die Chloromonadophyta, Gelbgrünen Algen, Goldalgen, Kieselalgen und die Braunalgen als Klassen zu der Gruppe Heterokontophyta gestellt.

Taxa der phylogenetischen Systematik, zu denen Algengruppen gestellt werden:

- Excavata: Hier werden die Euglenozoa hinzugestellt.
- Stramenopile (auch als Chromista bezeichnet): In dieser Gruppe werden die Haptophyta, Cryptophyta, Chlorarachniophyta und Heterokontophyta eingeordnet.
- Alveolata: Zu den Alveolata werden die Dinoflagellata gestellt.
- Pflanzen: Die Grünalgen und die Rotalgen bzw. Biliphyta (s. u.) bilden zusammen mit den Landpflanzen das Reich der Pflanzen.
- Biliphyta: Die Glaucophyta und die Rotalgen werden zu den Biliphyta zusammengefasst.

Siehe auch

- Algizid
- *Spirulina* (keine Alge sondern Cyanobakterium), *Pfiesteria*
- Lichenologie
- *Chlorella pyrenoidosa*
- Wasserstoffbioreaktor

Literatur

- Karl-Heinz Linne von Berg, Kerstin Hoef-Emden, Michael Melkonian: *Der Kosmos-Algenführer. Die wichtigsten Süsswasseralgen im Mikroskop.* Kosmos, Stuttgart 2004, ISBN 3-440-09719-6.
- Eduard Strasburger (Begr.), Peter Sitte, Elmar Weiler, Joachim W. Kadereit, Andreas Bresinsky, Christian Körner: *Lehrbuch der Botanik für Hochschulen.* 35. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2002, ISBN 3-8274-1010-X.
- Christiaan van den Hoek, Hans Martin Jahns, David G. Mann: *Algen.* 3 Auflage. Thieme, Stuttgart 1993, ISBN 3-13-551103-0.
- Günter Throm: *Biologie der Kryptogamen.* 2. Algen – Moose, Haag und Herchen Verlag, Frankfurt am Main 1997, ISBN 3-86137-581-8.

Film

- *Wald der Meere. Algen in der Bretagne.* Dokumentarfilm, 2006, 45 Min., ein Film von Rüdiger Mörsdorf, Produktion: Rüdiger Mörsdorf-Produktion, Saarländischer Rundfunk, Inhaltsangabe [6] von arte

Weblinks

- Botanik online: Algen [7]
- Chlorella vulgaris, die gewöhnliche Grünalge [8]

Online-Datenbanken

- www.algaebase.org (etwa 123.000 Arten und Unterarten) [9]
- seaweedafrica [10]
- Experimentelle Phykologie und Sammlung von Algenkulturen (SAG) Göttingen [11]

Referenzen

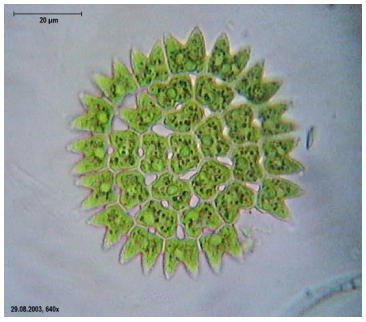
[1] Victor Smetacek: Die Primärproduktion der marinen Plankton-Algen, Spektrum der Wissenschaften, Heft 12/1991, S. 52
[2] Paul G. Falkowski: Der unsichtbare Wald im Meer, Spektrum der Wissenschaften, Heft 6/2003, S. 56 ff.
[3] Willi Paul and Chandra P. Sharma: „Chitosan and Alginate Wound Dressings: A Short Review“, Trends Biomater. Artif. Organs, 2004, Ausgabe 18, S. 18-23
[4] Maria Strømme, Albert Mihranyan, Ragnar Ek: „What to do with all these algae?“, Materials Letters, 2002, Ausgabe 57, S.569–572
[5] Min Woo Lee, Seong Ok Han, Yung Bum Seo: „Red algae fibre/poly(butylene succinate) biocomposites: The effect of fibre content on their mechanical and thermal properties“, Composites Science and Technology, 2008, Ausgabe 68, S.1266–1272

Algenkraftstoff

Algenkraftstoff ist ein Treibstoff, der aus Algen gewonnen wird.[1] Als Algen werden Photosynthese betreibende, im Wasser lebende Lebewesen zusammengefasst, die phylogenetisch nicht näher verwandt sein müssen. Die meisten leben entweder in Süß- oder Salzwasser. Algen bestehen aus vielen verschiedenen Verbindungen und könne durch unterschiedliche Verfahren als Biokraftstoff genutzt werden. Meist wird zwischen vier verschiedenen **Algenkraftstoffen** unterschieden:[2]

- Biodiesel: Aus einigen Algenarten kann Öl gewonnen werden. Dieses kann durch Umesterung in einen Kraftstoff umgesetzt, dessen Eigenschaften mit Dieselkraftstoff vergleichbar sind.
- Bioethanol: Die Kohlenhydrate, die einen großen Anteil der Algenmasse ausmachen, könnten durch alkoholische Gärung zu Ethanol umgesetzt werden.
- Biogas: Durch Vergärung der Algenmasse zu Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) kann energiereiches Biogas produziert werden.
- Biowasserstoff: Einige Algenarten bilden unter bestimmten Bedingungen Wasserstoff (H_2).

Bisher findet keine kommerzielle Produktion von Algenkraftstoff statt. Es werden jedoch intensive Studien im Pilotmaßstab durchgeführt.[3]



Die Mikroalge *Pediastrum duplex*


Bergung von Makroalgen in Nordfrankreich

Algenkultur

Hauptartikel Algenkultur

Bisher dient die Kultivierung von Algen vor allem der Bereitstellung von Rohstoffen für die chemische und pharmazeutische Industrie sowie zur Bereitstellung von Lebensmittelzusätzen bzw. als Nahrungmittel[4] . Es werden Arten der vielzelligen Makroalgen (z. B. Braunalgen, *Laminaria sp.*, *Palmaria sp.*) oder der ein- bis mehrzelligen Mikroalgen (z. B. *Chlorella sp.*, *Spirulina sp.*) eingesetzt. Diese können entweder aus natürlichen Beständen oder aus Kultivierungen stammen. Bei Untersuchungen zur Herstellung von Algenkraftstoff werden Arten beider Klassen eingesetzt. Unterschiedliche Kultivierungssysteme kommen zum Einsatz:



Kultivierung der Süsswasseralge *Spirulina sp.* in offenen Becken

Kultivierung in offenen Becken

Die Algenanzucht kann durch Aquakultur, z. B. in offenen Becken, geschehen. Eine Kontrolle der Bedingungen ist bei diesem Verfahren nur sehr begrenzt möglich, so dass das hohe Wachstumspotential der Algen nur begrenzt ausgeschöpft werden kann.

Kultivierung in Algenreaktoren

Hauptartikel Algenreaktor, Wasserstoffbioreaktor

Algenreaktoren (Photobioreaktoren) sind geschlossene Systeme in Form von Glasröhren, -platten oder -säulen. Es können nur freischwimmende Mikroalgen eingesetzt werden. Vorteil des Systems ist, dass eine deutlich vergrößerte Oberfläche besteht, so dass mehr Licht einfallen kann. Zudem können Bedingungen wie Nährstoff-, CO_2- und O_2-Konzentration, Temperatur, Durchmischung etc. besser kontrolliert werden. Gegenüber landwirschaftlichen Kulturen kann pro Fläche ein Vielfaches an CO_2 gebunden werden. Allerdings sind hohe Investitions- und Betriebskosten notwendig.[5] Das für die Kultivierung notwendige CO_2 kann aus Verbrennungsprozessen, beispielsweise von Kohlekraftwerken, stammen. Die Verwendung von Luft hat den Nachteil, dass die CO_2-Konzentration mit 0,038 % sehr gering ist und hohe Kosten für die Gaseinblasung entstehen.

Kraftstoffherstellung

Die Algen müssen bei der Kultivierung in offenen Becken zunächst geborgen werden. Bei der Kultivierung in Bioreaktoren erfolgt die Abtrennung der gering konzentrierten Algen aus der wässrigen Nährlösung durch Zentrifugation oder Filtern. Die anschließenden Verfahrensschritte befinden sich meist noch in der Entwicklung. Bei Algen mit hohem Ölgehalt kann beispielsweise ein Abpressen oder eine Extraktion mit Hilfe von Hexan erfolgen. Das Öl enthält vor allem Terpene, die zu Kraftstoff weiterverarbeitet werden können. Die Verfahren zur Herstellung von Ethanol und Biogas könnten von bestehenden Anlagen, die andere Rohstoffe einsetzen, abgeleitet werden. Neben unveränderter Algenmasse könnten hier auch die Pressrückstände der Ölgewinnung verwendet werden. Biowasserstoff könnte als ein Gasgemisch mit Sauerstoff (O_2) direkt aus aus dem Bioreaktor gewonnen werden.

Vor- und Nachteile

Derzeit wird intensive Forschung betrieben, um Algen für die Herstellung von Biokraftstoffen und zur CO_2-Abtrennung nutzbar zu machen. Verschiedene Vorteile und Nachteile von Algenkraftstoff werden angeführt:

Vorteile

- Der Ertrag pro Fläche ist bei Kultivierung in Algenreaktoren deutlich höher als bei der landwirtschaftlichen Produktion von Biomasse. So wird die Produktivität von Mikroalgen gegenüber Raps mit 15-fach besser angegeben[6] , gegenüber Mais wird der Faktor 10 genannt[5]
- Bei der Kultivierung von Algen kann CO_2 aus Abgasen, z. B. von Kohlekraftwerken, abgefangen und als Biomasse fixiert werden.

Nachteile

- Der Flächenbedarf für das vollständige Abfangen des CO_2 aus den Abgasen eines Kohlekraftwerks ist sehr hoch. Bei einem Kohlekraftwerk mit 1100 MW Leistung und jährlich 5,4 Mio. t CO_2-Ausstoß wären nach Schätzungen zwischen 21.500 und 64.500 ha (215 bis 645 km^2) mit Mikroalgenreaktoren zu bestücken. Bei Kosten von 100.000 bis 150.000 €/ha wären Gesamtinvestitionen im Milliarenbereich notwendig.[5] Eine zu Ende 2008 von RWE Power in Betrieb genommene Pilotanlage hat eine Größe von 600 m^2, was im Idealfall 1/300.000 der notwendigen Fläche entspräche.[7]
- Die Betriebskosten sind ein weiterer wichtiger Faktor. Schätzungen gehen von von 30.000 bis 40.000 € pro ha und Jahr aus.[5] Das Umweltbundesamt schätzt die Kosten für die Algenkultivierung zur CO_2-Fixierung ebenfalls extrem hoch ein und sieht zudem derzeit im Produktionsablauf keine Stellen, die signifikante Kosteneinsparungen erwarten ließen.[6]
- Der Energieaufwand für die Produktion ist hoch. Beispielsweise das Pumpen der Algensuspension und das Abtrennen der niedrigkonzentrieren Biomasse durch Zentrifugation oder Filtration ist sehr energieintensiv.
- Im Winter ist die Produktivität deutlich geringer, da die Algen zum einen bei höheren Temperaturen besser wachsen, zum anderen ist die Sonneneinstrahlung und damit die Photosyntheseleistung deutlich geringer.
- Die Fixierung von CO_2 in Algenmasse wird als Möglichkeit zur Reduktion der Treibhausgasemissionen angesehen. Bei einem Kohlekraftwerk mit 500 MW Leistung werden beispielsweise 3000 t Kohle pro Tag benötigt. Um das emittierte CO_2 zu fixieren, müssten 5000 t Algenmasse pro Tag erzeugt werden. Würde diese zur Erzeugung von Biokraftstoffen verwendet, wie in verschiedenen Projekten vorgesehen[7] , würden das CO_2 über diesen Umweg doch emittiert.

Perspektive

Derzeit investieren viele Unternehmen, vor allem aus dem Bereich der Energieerzeugung und der Ölförderung, in die Entwicklung von Algenkraftstoffen. So plant beispielsweise Exxon gemeinsam mit Synthetic Genomics Incorporated ein 600 Millionen US-Dollar Projekt zur Erzeugung von Algenbiokraftstoff.[8] [9] [10] RWE erforscht in einer Pilotanlage die Kraftwerkabgasreinigung mittels Algen.[7] Der US-Luftfahrt Konzern Boeing hat verkündet bereits Testflüge mit Algenkraftstoff zu planen. In Deutschland wurde unter dem Dach der DECHEMA ein Arbeitskreis "Algenbiotechnologie" gegründet. [11] Bisher werden aber keine kommerziellen Anlagen zur Erzeugung von Biokraftstoffen betrieben. Ein Unternehmen in Klötze (Sachsen-Anhalt), das Algenreaktoren wirtschaftlich einsetzt, ist nur dazu in der Lage, weil die gewonnene Algenmasse zu Nahrungsergänzungsmitteln verarbeitet wird, die vergleichsweise hochpreisig verkauft werden können. Trotz zahlreicher Pilotprojekte und hoher Forschungsinvestitionen schätzt das Bundesumweltamt das Potential von Mikroalgen zur Herstellung von Biodiesel gering ein und nimmt auch bei weiterer Optimierung Literpreise von 50 € an. Auch die Biowasserstoff-Herstellung wird als ineffizient angesehen und wesentliche Fortschritte erst in etwa 10 Jahren erwartet. Die CO_2-Fixierung mittels Mikroalgen wird als zu teuer bewertet und in absehbarer Zukunft keine durchschlagenden Entwicklungen

erwartet.[6]

Weblinks

- Grüner fliegen - Mit Algenkraftstoff über den Wolken bei SPIEGEL.de [12]
- Innovationspotenzial von Biokraftstoff aus Algen: Einschätzung der technischen Realisierungsmöglichkeiten [13], von Stefan Ponsold
- Biomassepotential und Technologiecharakterisierung der Umwandlungsverfahren [14], von Frank Behrendt (PDF-Datei; 2,12 MB)
- Biodiesel from Algae - Biodiesel aus Algen, Zusammenfassung eines US-amerikanischen Forschungsprojekt von 1978 bis 1996, Department of Energy, Aquatic Species Program, National Renewable Energy Laboratory [15]

Referenzen

[1] *Aus Algen wird Kraftstoff - Technologie - Energie + Umwelt - Energie + Technik - Handelsblatt.com* (http://www.handelsblatt.com/technologie/energie_technik/aus-algen-wird-kraftstoff;1283578). www.handelsblatt.com. Abgerufen am 25. Oktober 2009.

[2] *Mikroalgen - die Energiequelle der Zukunft* (http://www.bmbf.de/de/12360.php). www.bmbf.de. Abgerufen am 16. November 2009.

[3] *PetroAlgae Announces Strategic Partnership With Indian Oil Corporation Limited* (http://www.reuters.com/article/pressRelease/idUS154525+03-Nov-2009+PRN20091103). www.reuters.com. Abgerufen am 17. November 2009.

[4] *Algen für Gesundheit und Wohlbefinden* (http://www.biothemen.de/Qualitaet/algen/wakame-nori-kombu.html). www.biothemen.de. Abgerufen am 16. November 2009.

[5] *Glibber aus Neptuns Garten* (http://www.neueenergie.net/index.php?id=1671). www.neueenergie.net. Abgerufen am 16. November 2009.

[6] *Funktionsweise und Nutzungsmöglichkeiten von Mikroalgen* (http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/meere/mikroalgen.htm#Biomasse). Umweltbundesamt. Abgerufen am 17. November 2009.

[7] *Kraftwerk lässt Abgas durch Algen filtern* (http://www.handelsblatt.com/technologie/co2-management/kraftwerk-laesst-abgas-durch-algen-filtern;2081813). www.handelsblatt.com. Abgerufen am 17. November 2009.

[8] *Exxon Mobil will Kraftstoff aus Algen gewinnen - Aktuell* (http://www.fazfinance.net/Aktuell/Exxon-Mobil-will-Kraftstoff-aus-Algen-gewinnen-1982.faz?print=1). www.fazfinance.net. Abgerufen am 25. Oktober 2009.

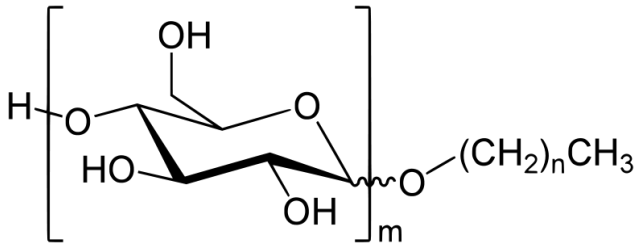
[9] *ExxonMobil startet Biokraftstoffprogramm* (http://www.exxonmobil.de/cgi-bin/dps/dps-query-actual.cgi?inclfile=09071401). www.exxonmobil.de. Abgerufen am 17. November 2009.

[10] *Gene scientist to create algae biofuel with Exxon Mobil* (http://www.guardian.co.uk/environment/2009/jul/14/green-algae-exxon-mobil). www.guardian.co.uk. Abgerufen am 29. Oktober 2009.

[11] *Diskussionspapier „Verwertung und Speicherung von CO_2“ des Arbeitskreises „Algenbiotechnologie“ der DECHEMA* (http://www.mstonline.de/mikrosystemtechnik/mst-fuer-energie/algen/Sell). www.mstonline.de. Abgerufen am 25. Oktober 2009.

Alkylpolyglycoside

Alkylpolyglycoside (APGs) werden als Tenside verwendet und zählen zu den nichtionischen Tensiden. Sie werden als oberflächenaktiver Bestandteil von Waschmitteln, Geschirrspülmitteln und Reinigungsmitteln verwendet. Alkylpolyglycoside bestehen vollständig aus den nachwachsenden Rohstoffen Zucker und Fettalkoholen. Sie sind biologisch abbaubar und haben eine geringe Toxizität.



Beispiel eines APGs auf Glucose basierend (m = 1 bis 5 und n = 11 bis 15).

Geschichtliches

Bereits 1931 wurde das erste Patent über Alkylglucoside in Deutschland angemeldet, das die Verwendung von Alkylglucosiden als Emulsions-, Reinigungs- sowie Benetzungsmittel z. B. in Seifen beschreibt.[1] . Erst in den 1970er Jahren wurden Methoden zur industriellen Herstellung von APGs entwickelt. Dies ermöglichte schließlich am Ende der 1970er Jahre die Markteinführung des ersten, industriell produzierten Alkylglucosids durch Rohm and Haas. Das APG war ein Octyl/Decyl-polyglucosid. Dennoch konnte dieses APG nur für wenige Zwecke verwendet werden, da es u. a. eine nicht ausreichend grenzflächenaktive Substanz ist.

In den 1980er Jahren verlagerte sich die Produktion auf längerkettige Alkylreste, z. B. Dodecyl/Tetradecylpolyglycoside. APGs wurden zunehmend auch für Kosmetikprodukte hergestellt. Die industrielle Großproduktion von Alkylpolyglycosiden wurde schließlich 1992 eingeleitet: Der Konzern Henkel eröffnete ein Werk mit einer Jahreskapazität von ca. 25.000 Tonnen in Cincinnati (USA), 1995 auch in Düsseldorf. Weltweit existieren Kapazitäten von mehr als 80.000 Tonnen Alkylpolyglycoside pro Jahr.[2] Für Deutschland wird die jährliche Produktionsmenge mit 50.000 Tonnen angegeben[3] .

Eigenschaften

Alkylpolyglycoside bestehen allgemein aus einem Zuckerbestandteil, beispielsweise Glucose, und einem langkettigen Alkylrest. Der Zuckerbestandteil fungiert dabei als hydrophiler Bestandteil, der langkettige Alkylrest stellt die hydrophobe Gruppe im Alkylpolyglucosid dar. Moleküle, die einen beliebigen Glucosidzucker enthalten, heißen Alkylpolyglycoside. Alkylpolyglucoside dagegen werden Verbindungen mit Glucose als Zuckerkomponente genannt [4] .

In der industriellen Produktion liegen AGPs als Mischung von Alkylglucosiden verschiedener Alkylkettenlänge, Polymerisierungsgrad des Zuckers, Anomere und Isomere vor. Die Fettalkohole haben meist eine Kettenlänge von 8 bis 14 C-Atomen, längere Ketten wie bsp. C_{16} führen zu sehr hydrophoben Produkten.[2] Der Polymerisationsgrad des Zuckers liegt zwischen 1 (Alkylmonoglucosid) und 5 (Alkylpolyglucosid).

APGs sind hautverträglich, ungiftig und biologisch leicht abbaubar. In Verbindung mit anderen Tensiden wirken sie stark synergetisch, so dass 20 bis 50 % eingesparrt werden kann.[5]

Rohstoffe

Zur Herstellung von Alkylpolyglycosiden wird Glukose aus Zucker oder Stärke liefernden Pflanzen eingesetzt sowie Pflanzenöle wie Kokos- oder Palmkernöl als Lieferanten des Alkylrests.[6]

Herstellung

Die heutige Produktion von Alkylpolyglycosiden basiert auf den Synthesevorschriften von Emil Fischer. Hierbei werden als Ausgangsstoff sowohl Glucose selbst bzw. auch Polymere der Glucose (Stärke, Glukosesirup) säurekatalysiert mit Fettalkoholen (z. B. Dodecanol) umgesetzt. Die Säure dient als Katalysator, üblicherweise werden Schwefelsäure, *p*-Toluolsulfonsäure, Alkylbenzolsulfonsäure oder Sulfobernsteinsäure verwendet. Die Reaktionszeit und der Reaktionsverlauf müssen für gut kontrolliert werden, zumal die Synthese nicht stereospezifisch ist.

Es bestehen zwei Verfahren zur Herstellung von AGPs. Entweder werden diese in einer Direktsynthese aus Glucose und z. B. Dodecylpoly-/Tetradecylpolyglucosid einstufig synthetisiert. Dies geschieht bei Temperatuten von 120 °C und einem Druck von 2.000 Pa. Es entsteht ein komplexes Produktgemisch aus Alkylmono-, Alkyloligo- und Alkylpolyglucosid. Daneben lassen sich auch andere Nebenprodukte wie Ether oder Glucosepolymere im Reaktionsgemisch nachweisen.

Alternativ können AGPs auch zweistufig über eine Umacetylierung dargestellt werden, was aber apparativ schwieriger ist. Zunächst findet die Umsetzung mit einem kurzkettigen Alkohol, z. B. Butanol bei ca. 115 °C und Normaldruck bei Glucose und 140 °C und 400.000Pa bei Stärke als Ausgangsrohstoff statt. In einer zweiten Reaktion wird das kurzkettige Alkylglucosid mit einem langkettigen Alkohol, z. B. Dodecanol, bei Temperaturen von 120 °C und einem Druck von 2.000 Pa zu einem langkettigem Alkylglucosid umacetalisiert.

Nutzung

Alkylpolyglycoside sind hydrolysebeständig und besitzen aufgrund ihres HLB-Wertes von >10 ein gutes Schmutzlöse- und Schmutztragevermögen. Sie sind stark schäumend und besitzen keine hautreizenden Inhaltsstoffe, weshalb sie gern in Geschirrspülmitteln für den Handabwasch eingesetzt und mit lineare linearen Alkylbenzolsulfonaten (LAS) und Fettalkoholsulfaten (FAS) kombiniert werden.[2] Auch in Leichtwaschmitteln werden sie aufgrund ihrer Eigenschaften als Zusatzstoff verwendet.[2]

In der Kosmetikindustrie werden Alkylpolyglycoside als Bestandteile von Shampoos, Haarspülungen, Badezusätzen und Hautreinigungsmitteln verwendet. Stark hydrophobe APGs mit 16-C-Kohlenstoffketten dienen als Emulgatoren in Kosmetika und Schaumbremsern.[2]

Die großtechnische Verwendung konzetriert sich vor allem auf den Bereich der Reinigungsmittel in der Lebensmittel- und Brauereiindustrie, wo nichtionische oder anionische Tenside aufgrund ihrer schwierigen Löslichkeit und der starken Schaumbildung nicht eingesetzt werden können. Gemeinsam mit modifizierten Fettaminethoxylaten können wenig schäumende oder sogar schaumbremsende Reiniger auf der Basis von Natronlauge-Lösungen hergestellt werden.[2]

Literatur

- Manfred Biermann, Karl Schmid, Paul Schulz: *Alkylpolyglucoside – Technologie und Eigenschaften*. Starch – Stärke, 45 (8), 281–288, doi:10.1002/star.19930450807 [7]
- Rybinski, W. und Hill, K. (1998): *Alkylpolyglycoside - Eigenschaften und Anwendungen einer neuen Tensidklasse*. In: *Angew. Chem.* **110** (10); 1394–1412

Weblinks

- Übersicht Tenside von *Cognis* [8] S. 87–92

Referenzen

[1] H. Th. Böhme AG, DRP (Offenlegungsschrift) 593422 1931

[2] Stichwort *Alkyl Polyglycosides* In: Hans Zoebelein (Hrsg.): Dictionary of Renewable Ressources. 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim und New York 1996; Seite 92. ISBN 3-527-30114-3.

[3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.) 2006: Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow (pdf, 16 MB (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_254marktstudie_2006.pdf))

[4] Cognis: Cognis Kit für Haushalt & Kosmetik, S. 89. (pdf (http://www.cognis-us.com/NR/rdonlyres/AC9D8A75-369D-44A7-B63F-730E01181667/0/de_CognisKit_Brochure.pdf))

[5] Wittko Francke und Wolfgang Walter: *Lehrbuch der Organischen Chemie*. S. Hirzel Verlag Stuttgart; 24. überarb. Auflage 2004, ISBN 3-7776-1221-9; S. 472

[6] Cognis Nachhaltigkeitsbericht 2004, S. 7 (Bericht als pdf (http://www.cognis.com/NR/rdonlyres/4CD33BDB-763F-474B-BA98-290DF61EF608/0/NB04_Teil1_0119_D.pdf))

Altholz

Als **Altholz** bezeichnet man Holz, das bereits einem Verwendungszweck zugeführt worden ist und als Abfall zur Entsorgung oder als Sekundärrohstoff bereit steht. Altholz kann stofflich, zum Beispiel in der Holzwerkstoffindustrie (Spanplatte), oder thermisch verwertet werden.



Geschreddertes Altholz

Definition

Laut der deutschen *Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz* (Altholzverordnung) handelt es sich bei Altholz um *„Industrierestholz und Gebrauchtholz, soweit diese Abfall im Sinne des § 3 Abs. 1 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes sind“*[1] . Abfälle im Sinne des Abfallgesetzes *„sind alle beweglichen Sachen, [...] deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muß.“*[2]

Industrierestholz sind in Betrieben der Holzbe- oder -verarbeitung anfallende Holzreste sowie anfallende Verbundstoffe mit überwiegendem Holzanteil (mehr als 50 Masseprozent).[1] Gebrauchtholz sind gebrauchte Erzeugnisse aus Massivholz, Holzwerkstoffen oder aus Verbundstoffen mit überwiegendem Holzanteil (mehr als 50 Masseprozent).[1] . Während die Gebrauchthölzer klar als Abfälle am Ende ihrer Lebensdauer verstanden werden, ist diese Einordnung für Industrieresthölzer schwieriger. So fallen Sägespäne, die in Sägewerken anfallen und als Sägenebenprodukte an die Holzwerkstoffindustrie vermarktet werden, nicht unter diese Altholzdefinition, während Sägespäne aus der holzverarbeitenden Industrie (Möbelherstellung, Tischlereien) als Alholz und entsprechend als

Abfall im Sinne des Abfallgesetzes betrachtet werden.

Altholzklassen

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Herkünfte von Althölzern kann Altholz in unterschiedlichem Maß mit Fremdstoffen belastet sein. Aus dem Grund wird das Holz über die Altholzverordnung in vier Altholzkategorien aufgeteilt:[1]

- A1 –naturbelassenes Holz, das lediglich mechanisch bearbeitet wurde
- A2 – verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel
- A3 – Altholz mit halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel
- A4 – mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, Rebpfähle, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A1 bis A3 zugeordnet werden kann, ausgenommen ist PCB-Altholz

Hinzu kommt die Einstufung als *PCB-haltiges Altholz*, die Altholz, das Polychlorierte Biphenyle im Sinne der PCB/PCT-Abfallverordnung enthält und nach deren Vorschriften zu entsorgen ist, enthält. Dabei handelt es sich insbesondere um Dämm- und Schallschutzplatten, die mit Mitteln behandelt wurden, die polychlorierte Biphenyle enthalten.[1]

Um die Nutzung der Materialien zu vereinfachen wird versucht, verschiedene Altholzströme gtrennt zu halten und so eine Durchmischung der unterschiedlichen Qualitäten zu verhindern. Die Qualität der einzelnen Holzfraktionen kann zudem durch technische Sortierverfahren verbessert werden, beispielsweise durch Windsichtung von Altholzschnitzeln zur Aussortierung von Beschichtungsresten.

Aufkommen

Der überwiegende Teil des Altholzes wird separat gesammelt und entsorgt. Weitere Altholzaufkommen, die vormals in Mischabfällen deponiert wurden, werden seit 2005 separat gesammelt, da die im Juni 2005 rechtsgültig gewordene Ablagerungsverordnung die Deponierung von unbehandelten Abfällen aus Haushalten und Gewerben gesetzlich verbietet. In Deutschland fallen jährlich etwa 95 kg Altholz pro Einwohner an, von denen 65 kg getrennt gesammelt werden.[3] Dieses Aufkommen ergibt eine jährliche Gesamtmenge von ca. 8 Mio. Tonnen (2003), von denen etwa 5,4 Mio. Tonnen separat gesammelt werden. Es verteilt sich auf Abfälle der Holzindustrie (2,441 Mio. t, vollständig gesondert gesammelt), Bauabfälle (3,623 Mio. t, davon 2,348 Mio. t gesondert gesammelt), Siedlungsabfälle (974.000 t, davon 385.000 t gesondert gesammelt) und Verpackungsabfälle (891.000 t, davon 229.000 gesondert gesammelt).[4]

Nutzung

Die Nutzung von Alholz kann sowohl energetisch als auch stofflich erfolgen, wobei in Deutschland aktuell (2009) die energetische Nutzung mit etwa zwei Drittel des Aufkommens überwiegt. Europaweit wurden getrennt erfasste Altholzaufkommen zu etwa 34% energetisch und zu etwa 38% stofflich genutzt, die verbleibenden 28% wurden anderweitig genutzt, beispielsweise durch Kompostierung und als Mulchgrundstock.[5]

Energetische Nutzung

In der energetischen Nutzung ist Altholz vor allem durch die Verbrennung in Biomasseheizwerken oder Biomassekraftwerken zur Erzeugung von Elektrizität und Wärme relevant. Dabei darf entsprechend der Altholzklassifizierung A1-Holz in allen Anlagengrößen verfeuert werden während A2- bis A4-Holz nur in Anlagen über 1 MW Feuerungswärmeleistung genutzt werden können.[5] Bei A2-Holz ist zusätzlich eine Verbrennung in Kleinfeuerungsanlagen der Holz verarbeitenden Industrie genehmigt. A3- und A4-Holzverbrennungen erfordern

umfangreiche Abgasreinigungstechnologien, die über die Bundes-Immissionsschutzverordnung (17. BImschV) geregelt werden und die eine wirtschaftliche Verbrennung aufgrund des hohen technischen Aufwandes erst ab 10 MW Feuerungswärmeleistung ermöglichen.[5]

Eine weitere energetische Nutzung stellt die Verbrennung als Sekundärbrennstoff in Feuerungsanlagen dar, die primär über fossile Energieträger befeuert werden (Kofeuerung). Diese spielt in Deutschland insbesondere in der Zementindustrie eine Rolle.[5]

Stoffliche Nutzung

Altholz kann insbesondere in der Holzwerkstoffindustrie stofflich genutzt werden, wobei unbehandelt nur der Einsatz von A1-Hölzern eingeschränkt möglich ist. A2- und A3-Hölzer können nur verwendet werden, wenn vor der Verwendung Lackierungen und Beschichtungen entfernt werden. Dies ist aus Kostengründen nur bei A2-Hölzern verbreitet, während nur sehr wenige Anlagen zur Aufbereitung von A3-Hölzern existieren (in Deutschland nur eine). A4- und PCB-belastete Althölzer sind nicht für eine stoffliche Weiternutzung zugelassen.[6]



Spanplatten stellen die wichtigste stoffliche Nutzung für Altholz dar

Verwendung finden aufbereitete Althölzer vor allem bei der Produktion von Spanplatten und seltener bei der Herstellung von Mitteldichten Holzfaserplatten (MDF-Platten), wobei insgesamt pro Jahr in Deutschland zwischen 1,7 und 3,0 Millionen Tonnen Altholz entsprechend verarbeitet werden. In geringen Mengen finden Altholzspäne auch Verwendung in Nischenanwendungen, bsp. als Tiereinstreu in Reitsporthallen.[6] Neben diesen Verwendungen ist über die Altholzverordnung auch die Nutzung von Altholz zur Herstellung von Synthesegas als Rohstoff für die chemische Industrie oder die Herstellung von Aktivkohle bzw. Industrieholzkohle vorgesehen.[1]

Vereinzelt wird Altholz auch wieder als Baustoff eingesetzt, zum Beispiel um Erzeugnissen einen rustikalen Ausdruck zu geben. So gibt es, vor allem in den Alpenanrainerstaaten Schweiz, Österreich und Bayern, spezielle Altholzschreiner, die altes Holz aus abgebrochenen Häusern und Scheunen für den stilgerechten Innen- und Außenumbau weiterverwenden. Solches Holz wird vor der weiteren Verwendung in speziellen Maschinen von Ungeziefer befreit.

Literatur

- *Altholz.* In: Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer (Hrsg.): *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren.* Springer Verlag, Berlin und Heidelberg 2009; S. 143-148. ISBN 978-3-540-85094-6
- B. Sundermann, F. Spoden, R. Dohr: *Aufkommen und Verwertungswege für Altholz in Deutschland*. Müll und Abfall 31(5), S. 269 ff. (1999), ISSN 0027-2957 [7]
- Udo Mantau, Jörg Wagner, Janett Baumann: *Stoffstrommodell HOLZ: Bestimmung des Aufkommens, der Verwendung und des Verbleibs von Holzprodukten*. Müll und Abfall 37(6), S. 309–315(2005), ISSN 0027-2957 [7]
- [BAV e.V. Bundesverband der Altholzaufbereiter und Verwerter (Hrsg.)]: Leitfaden der Altholzverwertung

Referenzen

[1] Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz: *§2 Begriffsbestimmungen.* (http://bundesrecht.juris.de/altholzv/__2.html)
[2] *Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen: § 3 Begriffsbestimmungen.* (http://bundesrecht.juris.de/krw-_abfg/__3.html)
[3] Kaltschmitt et al. 2009, S. 144.
[4] Kaltschmitt et al. 2009, S. 145.
[5] *Energetische Nutzung.* In Kaltschmitt et al. 2009, S. 147-148.
[6] *Stoffliche Nutzung.* In Kaltschmitt et al. 2009, S. 147.

Altholzverordnung

Basisdaten	
Titel:	Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz
Kurztitel:	Altholzverordnung
Abkürzung:	AltholzV
Art:	Bundesrechtsverordnung
Geltungsbereich:	Bundesrepublik Deutschland
Rechtsmaterie:	Umweltrecht
FNA:	2129-27-2-19
Datum des Gesetzes:	15. August 2002 (BGBl. I S. 3302)
Inkrafttreten am:	1. März 2003
Letzte Änderung durch:	Art. 2a der Verordnung vom 20. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2298, 2331)
Inkrafttreten der letzten Änderung:	27. Oktober 2006 (Art. 8 Abs. 3 VO vom 20. Oktober 2006)
Bitte den Hinweis zur geltenden Gesetzesfassung beachten.	

Die **Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz**, kurz: **Altholzverordnung** (AltholzV), regelt die Verwertung (stofflich und energetisch) und die Beseitigung von Altholz in der Bundesrepublik Deutschland. Dabei wird unter dem Begriff Altholz Industrierestholz und Gebrauchtholz verstanden, soweit diese Hölzer Abfall im Sinne des § 3 [1] Abs. 1 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) sind.

Die Altholzverordnung trat am 1. März 2003 in Kraft und wurde im Bundesgesetzblatt am 23. August 2002 veröffentlicht (BGBl I, Nr. 59, S. 3302 – 3317).

Gesetzeszweck

Hintergrund der Altholzverordnung ist die Ausweitung des Abfallrechts, insbesondere der Abfallverwertungsmaßnahmen, durch das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG). Die in dem Gesetz allgemein gehaltenen Abfallverwertungsmaßnahmen von Altholz werden in den Verordnungen konkretisiert, da der Altholzanfall in der Bundesrepublik Deutschland eine bedeutende Menge erreicht (ca. 8 Mio. to/Jahr)[1] und entsprechend geregelt werden soll.

Inhalt

Die Altholzverordnung regelt die gängigen Verwertungs- und Entsorgungsverfahren für Altholz. Für diesen Zweck wird Altholz in der Verordnung definiert als *„Industrierestholz und Gebrauchtholz, soweit diese Abfall im Sinne des § 3 Abs. 1 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes sind“*[2] . Abfälle im Sinne des Abfallgesetzes *„sind alle beweglichen Sachen, [...] deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muß.“*[3]

Die Verordnung teilt Altholz in verschiedene Kategorien ein, die hinsichtlich der Entscheidung für eine Verwertung oder Beseitigung wichtig sind:

Kategorie	Bezeichnung	Herkunft (Beispiele)	Verwertung/Beseitigung
A I	Naturbelassenes oder mechanisch bearbeitetes Altholz, praktisch nicht verunreinigt	Möbel aus Massivholz ohne Leimplatten	Geeignet für stoffliche Verwertung (z. B. Fertigung neuer Spanplatten)
A II	Verleimtes, beschichtetes, lackiertes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel	Leimholzplatten, Möbel ohne PVC-Anteile, Innentüren, Dielen	Geeignet für stoffliche Verwertung (z. B. Fertigung neuer Spanplatten)
A III	Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel	Möbel mit PVC-Kanten oder PVC-Beschichtungen	Thermische Verwertung in einer geeigneten Anlage
A IV	Mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz und Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Kategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann	Bahnschwellen, Leitungsmasten, Dachsparren, Fenster, Außentüren, Zäune, Gartenmöbel aus Holz	Thermische Verwertung in einer geeigneten Anlage
PCB-Altholz	Altholz, das mit Mitteln behandelt ist, die polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten	Mit Steinkohlenteerölen imprägnierte Masten, Bahnschwellen, Dämmplatten	Beseitigung auf einer geeigneten Sonderabfall-Deponie

Indem die Verordnung Althölzern der unterschiedlichen Kategorien unterschiedliche Vorbehandlungs- und Nutzungsvorschriften zuweist werden die stofflichen und energetischen Verwendungsmöglichkeiten für die unterschiedlichen Holzfraktionen geregelt. Zu den Verwendungsmöglichkeiten von Altholz gehören nach der Altholzverordnung einerseits die verschiedenen Möglichkeiten der stofflichen Nutzung wie die Aufbereitung von Altholz zur Herstellung von Holzwerkstoffen, die Herstellung von Aktivkohle/Industrieholzkohle und die Erzeugung von Synthesegas als Chemierohstoff, andererseits die energetische Verwertung von Altholz (z. B. Verstromung in Biomasseheizkraftwerken).

Weblinks

- Text des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes [5]
- Text der Altholzverordnung [6]
- Abfalldatenblatt Altholz vom Landesamt f. Umwelt NRW [7]

Referenzen

[1] Angaben zum Altholzaufkommen in Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer (Hrsg.): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, Berlin und Heidelberg 2009; S. 145. ISBN 978-3-540-85094-6

[2] *Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz: §2 Begriffsbestimmungen.* (http://bundesrecht.juris.de/altholzv/__2.html)

[3] *Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen: § 3 Begriffsbestimmungen.* (http://bundesrecht.juris.de/krw-_abfg/__3.html)

Arboform

Arboform (lateinisch *arbor* = „Baum“) ist ein Biowerkstoff, der hauptsächlich aus Holzbestandteilen Lignin und Cellulose hergestellt und auch als „Flüssigholz“ bezeichnet wird.



Formteil aus *Arboform* (für Präsentations- und Werbezwecke)

Entwicklung, Herstellung und Eigenschaften

Arboform wurde 1998 von Helmut Nägele und Jürgen Pfitzer in Partnerschaft zwischen dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT) und dessen im selben Jahr gegründeten Spin-off Tecnaro Gesellschaft zur industriellen Anwendung nachwachsender Rohstoffe mbH entwickelt. Der thermoplastisch verarbeitbare Werkstoff basiert auf Lignin, einem der Hauptbestandteile von Holz, der zum Beispiel bei der Papierproduktion als Reststoff bzw. Koppelprodukt anfällt. Lignin besteht aus hochkomplexen Makromolekülen (Polymer) und eine Nutzung dieser Struktur als Biowerkstoff bietet sich entsprechend an. Das bei dem Sulfatprozess der Papierherstellung anfallende Kraft-Lignin muss allerdings zuvor aufwendig gereinigt werden.

Bei der Herstellung von Arboform werden den braunen Ligninpulvern Naturfasern wie Cellulose, Flachs oder Hanf sowie natürliche Additive beigemischt. Damit ist er teilweise vergleichbar mit anderen Biowerkstoffen. Das Fasergemisch wird zu einem „erbsengroßen“ Granulat gepresst. Arboform hat ähnlich wie Holz eine braune Farbe. Er kann künstlich eingefärbt, jedoch nicht in weißer Farbe oder transparent hergestellt werden.[1]

Arboform ist widerstandsfähiger als Holz, beliebig formbar und kann vielfach recycelt werden. Im Gegensatz zu anderen Kunststoffen ist Arboform frei von Erdöl, daher wird bei Verottungs- und Verbrennungsprozessen lediglich genauso viel Co_2 freigesetzt, wie die Planzen beim Wachstum aus der Atmosphäre gebunden haben. Darüber hinaus ist er frei von Schwermetallen und somit beispielsweise auch für die Herstellung von Spielzeug geeignet.[1]

Die mechanischen Eigenschaften von Arboform sind stark vom Typ und der eingesetzten Menge der Verstärkungsfasern abhängig. Im Vergleich mit anderen, kommerziell erhältlichen Produkten, weist Arboform sehr gute mechanische Eigenschaften auf. Der E-Modul erreicht, laut Herstellerangaben, Werte von bis zu 7.000 MPa, die maximale Zugfestigkeit beträgt etwa 40 MPa. Die maximale Schlagzähigkeit wird vom Hersteller mit 95 kJ/m^2 angegeben.[2]

Verarbeitung und Anwendungen

Arboform ist bei einem Druck von 1000 bar zwischen 110° und 170°C thermoplastisch verformbar und kann in Form gespritzt werden, daher wird Arboform auch als Flüssigholz bezeichnet. Der Werkstoff kann mit etablierten Kunststoffverarbeitungsformen verarbeitet werden, insbesondere durch Spritzgiessen, Extrudieren, Pressen, Tiefziehen und Blasformen. Als Anwender finden sich entsprechend vor allem Halbzeughersteller und Produzenten von Platten- und Formteilen.

Inzwischen hat sich der Werkstoff in vielen Anwendungen (Lautsprecher, Bestattungsurnen, Uhrengehäuse, Spielwaren, Knöpfe, Leiterplatten) bewährt und wird teilweise in der Serienproduktion genutzt. Weitere Produkte der Tecnaro GmbH sind die Kompositwerkstoffe Arbofill, ein mit Wood-Plastic-Composites vergleichbares Komposit, und Arboblend, eine Mischung aus Biokunststoffen und anderen Anteilen nachwachsender Rohstoffe mit etablierten Kunststoffen. Bei diesen Materialien liegt der Anteil nachwachsender Rohstoffe über 60 Prozent, die

einer Kunststoffmatrix beigegeben werden.

Literatur

- nova-Institut GmbH, Hochschule Bremen (Hrsg.): *BIB'09 - Branchenführer Innovative Biowerkstoffe 2009*, ISBN 9783981202717 (pdf [3]).
- nova-Institut GmbH, (Hrsg.): "Produktkatalog Naturfaser-Spritzguss", ISBN 978-3-9805840-9-8

Weblinks

- Website der Herstellerfirma Tecnaro [4] mit Werkstoffdaten [5] und Artikeln zu Arboform [6]
- Christoph Herwartz: *Ganz ohne Erdöl: Wie Plastik – Nur besser* [7], Zeitschrift Stern, 25. August 2008
- dpa-Pressemeldung: *Einhundert Prozent Bio - Kunststoff könnte aus „flüssigem Holz“ sein* [8], Informationszentrum für die Landwirtschaft, 22. März 2009

Referenzen

[1] *Holz wird zu Kunststoff*, Artikel von Beate Brehm im Weser-Kurier vom 23. März 2009, S. 22.

[2] nova-Institut GmbH, (Hrsg.): "Produktkatalog Naturfaser-Spritzguss", S. 70-73, ISBN 978-3-9805840-9-8

Asphalt

Asphalt (von griechisch ασφαλτος *ásphaltos* „Bestand haben“) bezeichnet sowohl eine natürliche als auch eine technisch hergestellte Mischung aus dem Bindemittel Bitumen und Gesteinskörnungen, die im Straßenbau für Fahrbahnbefestigungen, im Hochbau für Fußbodenbeläge, im Wasserbau und seltener im Deponiebau zur Abdichtung verwendet wird. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen sind Asphaltbefestigungen in verschiedenartige Schichten unterteilt. Hierbei werden Asphalttrag-, Asphaltbinder-, und Asphaltdeckschichten unterschieden. Je nach Dicke und Lage liefern sie ihren Anteil zur Tragfähigkeit der Gesamtkonstruktion, sofern alle Schichten zu einem kompakten Baukörper verbunden sind. Asphalt verhält sich chemisch nahezu inert (träges Reaktionsverhalten) und weist ein thermoplastisches Verhalten auf.



Einsatz von Asphalt im Straßenbau. Frisch eingebaute und verdichtete Tragschicht.

Begriffsabgrenzung

Der Baustoff Asphalt wird landläufig fälschlicherweise mit der Substanz Teer gleichgesetzt. Anders als der Asphalt, dessen Bindemittel Bitumen aus Erdöl gewonnen wird, findet das Bindemittel Teer seinen

Ursprung jedoch in der Steinkohle *(Steinkohlenteer)*. Teer, der aufgrund seiner Herkunft auch *Steinkohlenteerpech* genannt wird, gilt als stark gesundheitsgefährdend und seine Verwendung ist in Deutschland im Straßenbau seit 1984 *verboten*.[1] Festgeschrieben ist dieser Sachverhalt in den *Technische Regel für Gefahrstoffe 551*. In der Zeit vor dem Verbot war Teer ein häufig verwendeter Baustoff im Bauwesen.



Frisch hergestelltes Asphaltmischgut lose aufgeschüttet. Die Mineralstoffe sind vollständig mit Bitumen umhüllt.

Äußerlich unterscheiden sich die beiden Stoffe durch Geruch und Aussehen geringfügig. So besitzt Bitumen einen neutralen Geruch und eine schwarze Farbe, Teer dagegen riecht leicht süßlich und besitzt eine leichte Braunfärbung.

Auch bei der Wiederverwertung muss teerhaltiges Material gesondert entsorgt werden. Die europaweit geltende Abfallverzeichnis-Verordnung stuft teerhaltige Abfallstoffe als gefährlichen Abfall ein. Ausgebaute Asphalte dagegen können ohne Bedenken wiederverwertet werden.

Werkstoffkennwerte

Die Festigkeit von Asphalt wird von den Temperaturverhältnissen bestimmt. Bei tiefen Temperaturen (Winter) verhält er sich elastisch, bei hohen Temperaturen (Sommer) dagegen viskoelastisch. Dieses Temperaturverhalten hat unmittelbaren Einfluss auf Elastizitätsmodul und Schubmodul des Asphalts. Der Elastizitätsmodul beschreibt die Spannung im Asphalt, die infolge einer lastbedingten Verformung auftritt. So schwank der E-Modul zwischen 1000 N/mm² im Sommer und 9000 N/mm² im Winter. Der Schubmodul gibt die Spannungen wieder, die infolge von Schubkräften im Asphalt erzeugt werden.

Die Werkstoffkennwerte von Asphalt sind abhängig von dem Mischungsverhältnis und den Eigenschaften der beiden Bestandteile Bitumen und Gesteinskörnung. Das Mischungsverhältnis liegt grob bei 95 % Gesteinskörnung und 5 % Bitumen, dieses Verhältnis kann jedoch nach oben oder unten geringfügig verändert werden. Die beigegebene Menge (so genannter *Bindemittelgehalt*) und die Härte (also die *Bindemittelsorte*) des Bitumens verändern das Materialverhalten wesentlich. Die Bindemittelsorte bestimmt weiter auch den Erweichungspunkt, welcher mit dem Ring- und Kugelversuch nachgewiesen werden kann, die Bindemittelhärte wird mit der Nadelpenetration ermittelt.

Die Gesteinskörnung übernimmt die Stützfunktion im Asphalt und muss in ihrer Korngrößenzusammensetzung, der so genannten Sieblinie, auf die Belastung abgestimmt werden. Fehlen gewisse Korngrößen, also *Kornanteile*, in der Sieblinie, wie beispielsweise im offenporigen- oder Splittmastixasphalt, so spricht man von einer Ausfallkörnung.

Um ein gutes Tragverhalten zu erzielen, ist die Kornzusammensetzung so einzustellen, das eine möglichst dichte Gesteinsmischung entsteht. Zusammen mit einer sachgemäßen Verdichtung beim Einbau wird so ein hohlraumarmer (Ausnahme offenporiger Asphalt) Asphalt erstellt. Des Weiteren müssen die Gesteinkörnungen frostsicher und im Falle einer Asphaltdeckschicht polierresistent sein.

Statistik

Der Baustoff Asphalt trägt den wesentlichen Anteil an den Straßenbaustoffen. So sind beispielsweise in der Bundesrepublik Deutschland 95 % aller befestigten Straßen mit einer Asphaltdecke ausgestattet.[2] Bei genauerer Betrachtung erkennt man, dass dort ungefähr 75 % der Gemeinde- und Stadtstraßen sowie die Bundesautobahnen mit Asphalt befestigt sind.[3] Die übrigen 25 % besitzen eine Pflaster- oder Betondecke. Auf Bundesstraßen ist der Asphalt in Deutschland sogar nahezu konkurrenzlos vertreten.

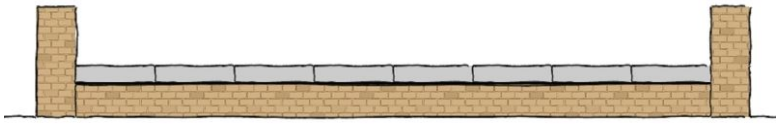
Anders die Zahlen in der Schweiz. Dort sind etwa 25 % der Verkehrsflächen mit Asphalt befestigt.[4] Dieser geringe Anteil kommt zustande, da in der Schweiz Autobahnen häufig mit Betondecken befestigt werden.

Im Jahr 2006 wurden in Deutschland 57 Mio. Tonnen Asphaltmischgut produziert. Davon waren 20 % Ausbauasphalt, der wiederverwertet wurde.[5] In Österreich beläuft sich die Asphaltmischgutproduktion auf 7 Mio. Tonnen jährlich.[6]

Geschichte

Antike

Aufgrund von archäologischen Ausgrabungen lässt sich feststellen, dass bereits in der frühen Antike (um 1200 v. Chr.) natürlicher Asphalt verwendet wurde[7] , um Waffen und Geräte herzustellen sowie Schmuck und Skulpturen farbig zu gestalten. Besonders in der Region Mesopotamien fand das Material häufig Verwendung, da hier Naturasphaltvorkommen gelegen waren. So fertigten die dort lebenden Völker, beispielsweise die Sumerer, Gefäße und Boote, welche mit Asphalt abgedichtet wurden.[8] Des Weiteren nutzten sie das Material als „Mörtel“ für Lehmziegel.



Querschnitt durch eine Prozessionsstraße von Babylon. Die gebrannten Ziegel sind mit Asphalt vermörtelt, die obenliegenden Steinplatten ruhen in einem Asphaltmörtelbett. Diese Prachtstraße zählt zu den Vorläufern der modernen Asphaltstraßen.

Über die Jahrtausende erweiterten sich die Einsatzfelder, sodass um 2000 v. Chr. neben Mesopotamien auch in Indien und Europa Naturasphalt als Dichtungsmaterial für Bäder, Boote, Kanäle, Toiletten und Uferböschungen verwendet wurde. Im 7. Jahrhundert v. Chr. kam Asphalt im assyrischen und babylonischen Reich bereits im Straßenbau zum Einsatz. So diente er dort als Fugenmaterial oder als Mörtelbett von Prachtstraßen.[9] Ferner wurde Asphalt als Mörtel für den Bau der Chinesischen Mauer und zur Abdichtung der Hängenden Gärten der Semiramis herangezogen.

Während der Zeit des Römischen Reiches, ausgehend von Plinius dem Älteren erhielt Asphalt den Namen „Bitumen Iudaicum“ (Judenpech) und diente um 100 v. Chr. als Fugenmörtel von römischen Straßen in Pompeji. In Seyssel und Val de Travers wurden Naturasphaltbergwerke errichtet.

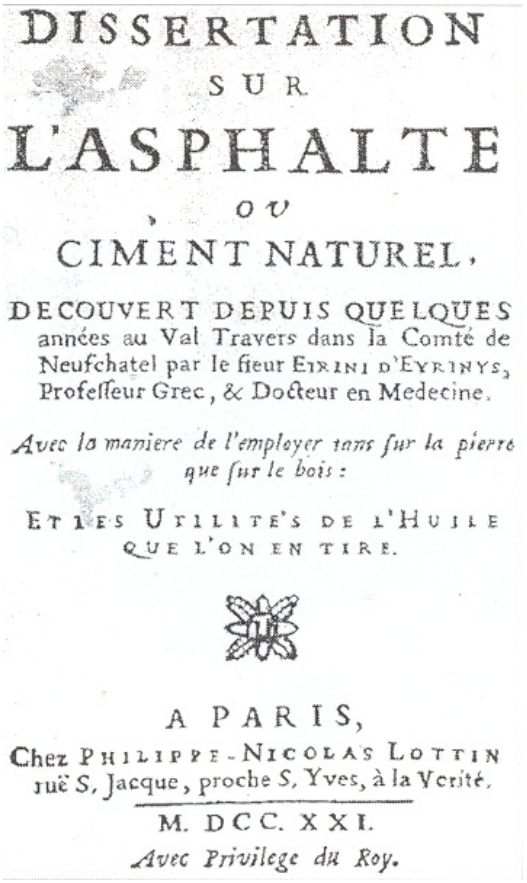
Mittelalter

Nach dem Verfall des römischen Reiches und dem Beginn des Mittelalters verlor Asphalt stark an Bedeutung. Das Wissen, welches über Jahrtausende hinweg angesammelt wurde, ging verloren und wurde erst im 18. Jahrhundert wieder erworben. Um das Jahr 1000 wurde in Arabien die Gewinnung von Bitumen aus Naturasphalt begonnen. Dies wurde erreicht, indem der Naturasphalt erhitzt wurde und so das Bitumen ausschwitzen konnte.

Neben der Verwendung als Baustoff wurde Asphalt im 15. Jahrhundert im Reich der Inka in Süd- und Mittelamerika für medizinische Zwecke herangezogen. Auf seinen Erkundungsreisen entdeckte Sir Walter Raleigh am 22. März 1595 einen natürlichen Asphaltsee, der sich auf der Insel Trinidad befindet. Den dort aus dem Untergrund hervortretenden Asphalt nutzt man bis heute im Straßenbau.

Neuzeit

1712 entdeckte der griechische Arzt Eyrinis d'Eyrinis das gigantische Asphaltvorkommen im Val de Travers in der Schweiz[10] . Vorerst interessierte er sich nur für dessen medizinische Anwendung. Wegen der technischen Vorzüge dieses Materials verfasste er schließlich im Jahr 1721 seine „Dissertation über den Naturasphalt“ und begründete mit seinen Untersuchungen die moderne Asphalttechnologie. Aus dem insgesamt über 100 km langen Labyrinth von Gängen und Stollen der Asphaltminen im Val de Travers wurde in der Folge während rund drei Jahrhunderten (von 1712 bis 1986) Asphalt gefördert und in die ganze Welt exportiert [11] . Nach verschiedenen Inhabern gelangten die Minen 1873 in den Besitz der englischen Firma Neuchâtel Asphalt Company Ltd. und wurden 1960 von der grössten europäischen Straßenbaufirma, dem englischen Unternehmen Tarmac (Unternehmen), aufgekauft.


DISSERTATION
SUR
L'ASPHALTE
OU
CIMENT NATUREL,
DECOUVERT DEPUIS QUELQUES années au Val Travers dans la Comté de Neufchatel par le sieur EIRINI D'EYRINYS, Professeur Grec, & Docteur en Medecine.
Avec la maniere de l'employer tant sur la pierre que sur le bois:
ET LES UTILITE'S DE L'HUILE QUE L'ON EN TIRE.
A PARIS,
Chez PHILIPPE-NICOLAS LOTTIN ruë S. Jacque, proche S. Yves, à la Verité.
M. DCC. XXI.
Avec Privilege du Roy.

Deckblatt der Dissertation von Eirini d'Eyriny aus dem Jahre 1721.

In den folgenden Jahren erweitert sich das Einsatzspektrum des Asphalts auf die Abdichtung von Dachflächen. Asphalt als Straßenbelag ist zu dieser Zeit noch sehr kostenintensiv, was zur Folge hatte, dass nur wohlhabende Personen Zufahrten oder Grundstücksflächen mit Asphalt befestigen konnten und betuchten Damen später ermöglichte, Trottoirs in Paris, London oder New York erstmals mit eleganten Pumps zu begehen. Erstmals im Jahr 1796 wurde auf einer Holzbrücke in Sunderland ein Asphaltbelag aufgebracht.[12]

In Lyon wurde 1810 der erste Asphaltmastixbelag auf dem Pont Morand eingebaut. Zehn Jahre darauf wurde in Genua der Vorläufer der heutigen Bitumendachpappe entwickelt und erfolgreich angewendet. Aufgrund von umfangreichen Versuchen im Bereich der Asphalttechnologie erwies sich 1837 Asphalt für den Einsatz auf Landstraßen als geeignet und sorgte 1839 in Wien für die Entdeckung der Wiederverwertbarkeit durch erneutes Erhitzen.

In Deutschland wurde 1838 mit dem Jungfernstieg in Hamburg die erste Straße asphaltiert. Im Jahre 1851 wurde ein 78 Meter langes Stück der Fernstraße von Travers nach Paris mit einem Asphaltbelag versehen. Nur 20 Jahre später war Paris fast vollständig asphaltiert, kurz darauf auch andere europäische Großstädte.

Mit der Absicht eine Alternative zur zähen Asphaltmastix zu erfinden, wurde 1842 in Innsbruck der Gussasphalt erfunden und wenig später auch erfolgreich im Straßenbau eingesetzt. Im Gegenzug dazu bekommt der Asphalt 1853 aufgrund seiner betonähnlichen Eigenschaften von Léon Malo den Begriff *Asphaltbeton* übertragen. Um eine ausreichende Verdichtung zu erzielen, geht man 1876 dazu über, den Asphalt mit Walzen zu verdichten.

Der Baustoff Asphalt gewinnt am Anfang des 20. Jahrhunderts zunehmend an Bedeutung, was unter anderem mit dem stetig fallenden Materialpreis zusammenhängt. So gehen 1907 in den Vereinigten Staaten die ersten Asphaltmischanlagen in Betrieb. In Berlin wurde 1914 die AVUS erstmals mit einem Asphaltbelag versehen, um eine höhere Widerstandsfähigkeit zu erhalten.

Neben der Verwendung im Straßenbau, diente der Asphalt 1923 ferner für die Abdichtung von Talsperren. Um den Einbau zu beschleunigen und die Einbauqualität zu verbessern, wird 1924 in Kalifornien erstmals der Einsatz von Straßenfertigern erprobt. Zur Bestimmung der Qualität des Baustoffs entwickelten sich in den darauf folgenden Jahren mehrere Prüfverfahren, welche bis heute Gültigkeit besitzen. So wurde 1936 der Ring und Kugel-Versuch, ein Jahr später der Brechpunkt nach Fraaß und 1941 der Marshall-Test erfunden.

Durch spezielle Zusatzstoffe wurde es ab 1950 möglich, Asphalt auch in kaltem Zustand einzubauen (so genannter Kaltasphalt). Um die Dicke von eingebautem Asphalt festzustellen, wurde 1959 in Österreich eine zerstörungsfreie Untersuchungsmethode mittels Isotopen entwickelt und erfolgreich erprobt.

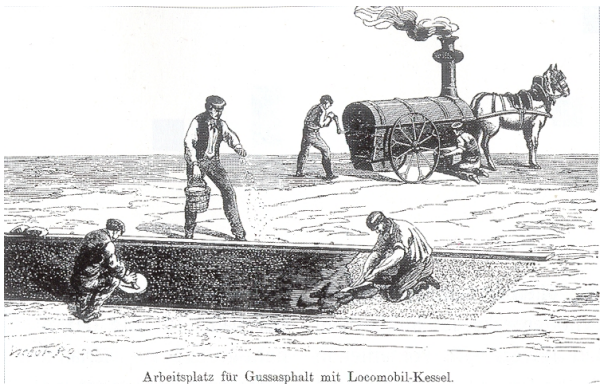


Abbildung einer Gussasphaltbaustelle aus dem Jahre 1880. Im Transportkessel wurde der Gussasphalt erhitzt und anschließend per Hand eingebaut und abgerieben.

Aus dem Wunsch heraus, Oberflächenwasser auf Start- und Landebahnen von Flughäfen möglichst rasch abzuleiten, erfolgte 1963 in England der Einbau von Drainasphalt. Kurz darauf wurde im Jahr 1968 erstmals der Einbau von Splittmastixasphalt durchgeführt.[13] Anfang der 1970er Jahre begann ausgehend von den Vereinigten Staaten die Anwendung des Asphaltrecyclings. Um eine möglichst zuverlässige Abdichtung zu erhalten, wurde 1979 Asphalt im Deponiebau eingesetzt.

Neben seiner Eignung als Baustoff kommt Asphalt zudem in der Kunst zur Anwendung. So entstand 1998 in Österreich die *Asphalt-Art*. Michael Scheirl verwendet seither Asphalt als Basismaterial für seine Asphaltbilder.

Herstellung

Natürlicher Asphalt



Bruchstück von natürlichem Asphalt.

Natürlicher Asphalt (auch *Erdpech* oder *Bergteer* genannt) entsteht aus Erdöl oder Ölsanden durch Aufnahme von Luftsauerstoff (Oxidation genannt) und Verdunstung von leichtflüchtigen Bestandteilen. Je nach Mineralstoffanteil wird zwischen *Asphaltgestein* (hoher Anteil) und *Asphaltit* (geringer Anteil) unterschieden.

Große Naturasphaltvorkommen befinden sich in Trinidad (der Asphaltsee ist der Ursprung des Trinidad-Naturasphalts), in Venezuela der Lago de Guanoco, in den Schweizer Gemeinden Buttes und Travers sowie im Elsass. Pechelbronn im Elsass war der Ort im europäischen Kulturkreis, an dem zuerst Erdöl gewonnen wurde. Die Erdpechquelle ist seit 1498 belegt. Das aus den Pechelbronner Schichten stammende Erdöl wurde zunächst medizinisch bei Hauterkrankungen benutzt. Die kommerzielle Nutzung aber begann 1735 und endete 1970.

Natürliche Asphalte existieren des Weiteren in Kalifornien (beispielsweise in La Brea), Colorado, Argentinien, Syrien, Alberta, Kanada (Ölsande), auf Kuba, am Toten Meer, in Ägypten und Albanien. Bekannt ist auch der *Gilsonite* genannte Naturasphalt, der seit Mitte des 19. Jahrhunderts im US-Bundesstaat Utah abgebaut wird. Mit seiner Hilfe können die Griffigkeit und Dauerhaftigkeit von technisch hergestelltem Asphalt verbessert werden.

Eine deutsche Naturasphaltlagerstätte liegt zum Beispiel in Vorwohle im Landkreis Holzminden in Niedersachsen. Derzeit befindet sich im niedersächsischen Holzen der einzige Naturasphalt-Untertagebau in Deutschland. Verarbeitet wird dieser Asphalt in Eschershausen. Die übrigen 15 Abbaugebiete sind in den 1950er und 1960er Jahren aus wirtschaftlichen Gründen geschlossen worden.

Technisch hergestellter Asphalt

Siehe Hauptartikel: Asphaltmischanlage

Der Großteil des eingebauten Asphalts wird in Asphaltmischanlagen hergestellt. Eine Anlage kann dabei je nach Erfordernis entweder stationär oder mobil ausgeführt sein. Ihre Leistungsfähigkeit bewegt sich im Bereich von 130 bis 350 Tonnen Mischgut pro Stunde.[14] Des Weiteren ist es möglich, dem Herstellungsprozess ausgebauten Asphalt beizugeben und so wiederzuverwerten.

Die Herstellung des Mischgutes erfolgt mit Hilfe einer elektronischen Steuerung, welche die einzelnen Bestandteile des Asphaltmischgutes in der gewünschten Zusammensetzung vermischt. Hierfür werden zunächst die Mineralstoffe in vordosierter Menge der Trockentrommel zugegeben. Der überschüssige Feinstaubanteil (so genannter Füller) muss anschließend mit Hilfe einer Entstaubungsanlage abgetrennt werden. Das vordosierte Mineralstoffgemisch verlässt die Trockentrommel und gelangt in den Mischturm. Dort erfolgt die genaue Dosierung der warmen Mineralstoffe. Ist die gewünschte Mineralkornzusammensetzung durch die Waage erreicht, wird das vorgewärmte Bitumen in den Mischbehälter eingedüst und ungefähr 15 Sekunden[15] lang mit den Mineralstoffen vermischt. Anschließend kann das frische Mischgut mit Hilfe des Verladesilos direkt auf die Ladefläche eines Lkws gebracht werden.

Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Siehe Hauptartikel: Rapsasphalt

Als Rapsasphalt wird ein Asphalt bezeichnet, der eine nennenswerte Menge Rapsöl im Bitumenanteil enthält. Er wird wie normaler Asphalt als eine Mischung aus dem Bindemittel Bitumen und Gesteinskörnungen hergestellt und kann auch in den gleichen Anwendungsbereichen eingesetzt werden. Er unterscheidet sich von Asphalt also nur in der Zusammensetzung des Bindemittels. Eine weitere Entwicklung stellt das Produkt Vegecol dar, bei dem nach Angaben der Hersteller der gesamte Bitumenanteil durch Produkte nachwachsender Rohstoffe ersetzt wurde.

Verwendung

Am häufigsten wird Asphalt zur Befestigung einer Bodenfläche verwendet. Hierbei unterscheidet man zwischen Walzasphalt und Gussasphalt. Walzasphalt erhält den geforderten Verdichtungsgrad erst durch den Einsatz von Straßenwalzen, Gussasphalt lässt sich dagegen flüssig verarbeiten und muss nicht verdichtet werden.



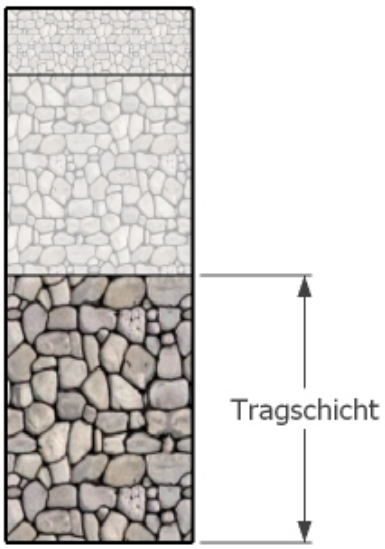
Einbau von Asphaltmischgut mit Straßenfertiger. Vorne kippt ein Lkw frisches Mischgut in den Vorratskübel des Fertigers, der hinten den Asphalt profilgerecht einbaut und vorverdichtet.

Neben der Verwendung im Straßen- und Wegebau bietet Asphalt noch weitere Einsatzmöglichkeiten. So eignet er sich für Verkehrsflächen auf Flughäfen, Parkplätzen, bei Schienenwegen als Tragschicht unterhalb des Schienenweges aber auch als Abdichtungssystem im Wasserbau und beim Deponiebau. In der Garten- und Landschaftsarchitektur wird zum Beispiel farbiger Asphalt eingesetzt, um Wege, Plätze und Freizeitanlagen zu gestalten.

Abgesehen von den oben genannten Anwendungsfällen dient Asphalt auch als Belag für Renn- und Teststrecken. In diesem Fall werden besonders hochwertige und polierresistente Mineralstoffe sowie ein durch Kunststoffadditive veredeltes Bitumen, ähnlich dem Polymerbitumen im Straßenbau, herangezogen. Der mehrschichtig aufgebaute Belag wird durch die regelmäßigen Brems- und Beschleunigungsvorgänge stark beansprucht, des Weiteren werden hohe Anforderungen an die Griffigkeit der Oberflächenschicht gestellt. Eine neuartige Entwicklung stellt in diesem Zusammenhang die Beigabe von Wolfram im Mischgut dar. Das Ergebnis, eine extrem raue Asphaltoberfläche, wird auf den Auslaufzonen des Circuit Paul Ricard genutzt, um von der Strecke abgekommene Fahrzeuge rasch und ohne wesentlichen Schaden abzubremsen.[16]

Bei einer speziellen Technik der Radierung, Aquatinta genannt, wird Asphaltstaub verwendet. Die weltweit erste erhaltene Fotografie, die Heliographie von Joseph Nicéphore Nièpce beruht auf der Lichtempfindlichkeit bestimmter Asphaltschichten.[17]

Asphalttragschicht



Lage der Tragschicht im Asphaltoberbau.

Asphalttragschichten (selten auch als *Bitukies* oder *Bitumenkies* bezeichnet) werden als erste gebundene Schicht im Straßenoberbau eingebaut und übernehmen die tragende Funktion des befestigten Asphaltpaketes. Sie befinden sich zwischen der darunter liegenden 1. Tragschicht (z.B. Frostschutzschicht) und evtl. 2. Tragschicht (z.B. Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln) bzw. bei entsprechenden Bauweisen direkt auf dem Planum und der darüber liegenden Binderschicht (falls vorhanden) oder Deckschicht.

Asphalttragschichten geben der Binder- und/oder Deckschicht eine gleichmäßige, standfeste Unterlage. Während der Nutzungsdauer (bei sachkundiger Herstellung bis zu 50 Jahre)[18] sollen sie im festen Verbund mit Binder- und Deckschicht die Verkehrslasten abtragen und so auf die Unterlage verteilen, dass die gesamte Straßenbefestigung keinen Schaden nimmt. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist eine Mindestdicke von 8 cm erforderlich. Beim Überbauen alter (unebener) Fahrbahnbefestigungen sollten in Ausgleichschichten 6 cm Dicke an Einzelstellen nicht unterschritten werden.

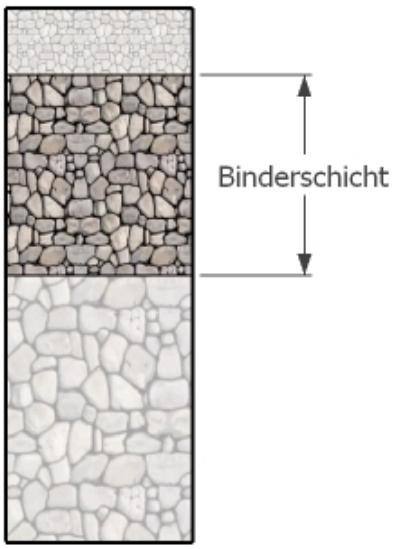
Es werden bei der Asphalttragschicht zwischen verschiedenen Mischgutsorten unterschieden, als Bindemittel wird dabei ein Bitumen 50/70 oder 70/100 nach DIN EN 12591 verwendet.

Asphalttragschicht	AO	A	B	C	CS
Korngröße in mm	0/2 bis 0/32	0/2 bis 0/32	0/22 0/32	0/22 0/32	0/22 0/32
Körnungsanteil > 2 mm in M.-%	0 bis 80	0 bis 35	35 bis 60	60 bis 80	60 bis 80
Fülleranteil in M.-%	2 bis 20	4 bis 20	3 bis 12	3 bis 10	3 bis 10
Grobkornanteil mindestens in M.-%	10	10	10	10	10
Überkorn höchstens in M.-%	20	10	10	10	10
Mindesbindemittelgehalt in M.-%	3,3	4,3	3,9	3,6	3,6
Hohlraumgehalt in Vol-%	4 bis 20	4 bis 14	4 bis 12	4 bis 10	5 bis 10

Eine Abwandlung der Asphalttragschicht ist die *Asphaltfundationsschicht*. Es handelt sich hierbei um eine bituminös gebundene Tragschicht an die geringe Anforderungen gestellt werden und als Ersatz für hochwertige ungebundene Tragschichten oder Bodenverfestigungen verwendet werden. Diese Tragschicht besteht zu einem großen Teil aus Ausbauasphalt und kann im Heiß- und im Kalteinbau hergestellt werden.

Asphaltbinderschicht

Eine Asphaltbinderschicht wird bei stärker belasteten Straßen (ab Bauklasse III) zwischen der darunterliegenden, grobkörnigen Asphalttragschicht und der darüber liegenden, feinkörnigen Asphaltdeckschicht eingebaut. Sie überträgt die durch den Verkehr verursachten Kräfte (darunter besonders die Schubkräfte) in die unteren Schichten der Straße und verhindert Verformungen. Ursprünglich wurde die Binderschicht zur *Bindung* von ungebundenen Tragschichten genutzt, um eine ebene Oberfläche zu erhalten. Von dieser Nutzung leitet sich der Name der Binderschicht ab.



Lage der Binderschicht im Asphaltoberbau.

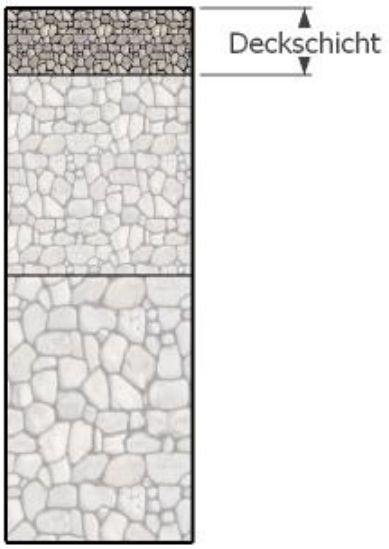
Bei geringer belasteten Straßen (Bauklassen IV bis VI) wird Asphaltbinder 0/11 zum Profilausgleich verwendet. Das erleichtert den Einbau einer gleichmäßig dicken Deckschicht mit der benötigten Ebenheit.

Es gibt vier Sorten von Asphaltbindern: 0/22S, 0/16S, 0/16, 011. Sie bestehen aus einer abgestuften Gesteinskörnung – Edelsplitt, Edelbrechsand, Natursand und Gesteinsmehl – und Straßenbaubitumen oder polymermodifiziertem Bitumen als Bindemittel. Die RStO empfehlen je nach Bauklasse eine Schichtdicke von 4 bis 8 cm.

Asphaltbinder	**0/22 S**	**0/16 S**	**0/16**	**0/11**
Korngröße in mm	0/22	0/16	0/16	0/11
Anteil < 0,09 mm in M.-%	4–8	4–8	3–9	3–9
Anteil > 2 mm in M.-%	70–80	70–75	60–75	50–70
Anteil > 8 mm in M.-%	-	-	-	≥ 20
Anteil > 11,2 mm in M.-%	-	≥ 25	≥ 20	≤ 10
Anteil > 16 mm in M.-%	≥ 25	≤ 10	≤ 10	0
Anteil > 22,4 mm in M.-%	≤ 10	0	0	0
Verhältnis Brechsand:Natursand	1:0	1:0	≥ 1:1	≥ 1:1
Bitumensorte	(50/70) 30/45 PmB 45	(50/70) 30/45 PmB 45	50/70 70/100 (30/45)	50/70 70/100
Bitumengehalt in M.-%	4,0–5,0	4,2–5,5	4,0–6,0	4,5–6,5
Verdichtungstemperatur in °C am Marshall-Probekörper	135 ± 5			
Hohlraumgehalt in V.-%	5,0–7,0	4,0–7,0	3,0–7,0	3,0–7,0
Einbaudicke in cm oder Einbaugewicht in kg/m²	7,0–10,0 170–250	5,0–8,5 125–210	4,0–8,5 95–210	
Verdichtungsgrad in %	≥ 97	≥ 97	≥ 97	≥ 96

Asphaltdeckschicht

Asphaltdeckschichten (selten auch als *Verschleißschichten* bezeichnet) sind die obersten, direkt beanspruchten Schichten der Asphaltbefestigungen. Sie unterliegen den unmittelbaren Einwirkungen des Verkehrs, der Witterung und der Auftaumittel.



Lage der Deckschicht im Asphaltoberbau.

Die dort für Deckschichten vorgesehene einheitliche Dicke von 4 cm ist nicht für alle Mischgutsorten zweckmäßig: Sehr grobkörnige Mischgutsorten sollten dicker, sehr feinkörnige können dünner eingebaut werden (Faustregel: Mindesteinbaudicke = Größtkorn x2,5). Da die Asphaltdeckschicht speziell für die Abnutzung durch den täglichen Verkehr vorgesehen ist, sollte sie in regelmäßigen Abständen im Rahmen eines so genannten Deckenbauprogrammes erneuert werden, um die Straße zu erhalten.

Verkehrsflächen sind so zu bauen, dass sie unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit die gestellten Anforderungen nicht nur bei Inbetriebnahme, sondern auf Dauer erfüllen, sich leicht warten lassen und überhaupt einen geringen Erhaltungsaufwand erfordern. Dafür gibt es unterschiedliche Mischgutarten. Der Unterschied besteht in der Zusammensetzung der Gesteinskörnungen und dem Bindemittelgehalt. Nachfolgend werden die verschiedenen Asphaltdeckschichten erläutert.

Asphaltbeton (Heißeinbau)

Asphaltbeton (veraltet je nach Korngröße auch *Asphaltfeinbeton* oder *Asphaltgrobbeton*) wird im Straßenbau als Deckschicht verwendet und ist für Straßen der Bauklassen II bis VI und Wege aller Art sowie für andere Verkehrsflächen nach den RStO geeignet. Er wird aus Edelsplitt, Edelbrechsand, Natursand, Füller und Bitumen hohlraumarm zusammengesetzt. Die Korngröße des mineralischen Anteils kann dabei bis zu 16 mm betragen.

Damit die Decke aus Asphaltbeton eine angemessene Rauheit aufweist, muss sie abgestumpft werden. Dies ist besonders zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit erforderlich. Zum Abstumpfen wird Splitt auf die noch heiße Deckschicht gestreut und mit Walzen fest eingedrückt. Abstreumaterial, das nicht gebunden wurde, muss anschließend entfernt werden.

Die geforderten Eigenschaften für den Bau von Asphaltbeton in Verkehrsflächen nach den RStO werden in den ZTV Asphalt-StB geregelt. Für Asphaltbeton in ländlichen Wegen gelten die ZTV LW. Nach Anforderung unterscheidet sie verschiedene Typen von Asphaltbeton (0/5, 0/8, 0/11, 011S, 0/16S) und gibt Korngrößenverteilung, Art und Menge des Bindemittels, Eigenschaften des Mischgutes (Verdichtungstemperatur, Hohlraumgehalt) und Eigenschaften der Schicht (Einbaudicke, Einbaugewicht, Verdichtungsgrad, Hohlraumgehalt) an.

Die mit „S“ gekennzeichneten Sorten sind besonders verformungsbeständig zusammengesetzt. Die Wahl der Mischgutsorte richtet sich nach der Verkehrsbelastung und der gewünschten Oberflächenstruktur (fein- bis grobrau).

Asphaltbeton wird ferner bei Bauwerken, insbesondere zur Abdichtung von Talsperren, verwendet.

Asphaltbetontyp (Heißeinbau)	0/16 S	0/11 S	0/11	0/8	0/5
Gesteinskörnung					
Korngröße in mm	0/16	0/11	0/11	0/8	0/5
Anteil kleiner 0,09 mm in M.-%	6–10	6–10	7–13	7–13	8–15
Anteil größer 2 mm in M.-%	55–65	50–60	40–60	35–60	30–50
Anteil größer 5 mm in M.-%	-	-	-	≥ 15	≤ 10
Anteil größer 8 mm in M.-%	25–40	15–30	≥ 15	≤ 10	0
Anteil größer 11,2 mm in M.-%	≥ 15	≤ 10	≤ 10	0	0
Anteil größer 16 mm in M.-%	≤ 10	0	0	0	0
Verhältnis Brechsand:Natursand	≥ 1:1	≥ 1:1	≥1:1	≥1:1	0
Bindemittel (Bitumen)					
Bindemittelsorte	50/70 (70/100)	50/70 (70/100)	70/100 (50/70)	70/100 (50/70)	70/100 (160/220)
Bindemittelgehalt M.-%	5,2–6,5	5,9–7,2	6,2–7,5	6,4–7,7	6,8–8,0
Mischgut					
Marshall-Probekörper Verdichtungstemperatur in °C	135 ± 5				
Hohlraum am Marshall-Probekörper in V.-% Bauklasse II und III	3,0–5,0	3,0–5,0	-	-	-
Hohlraum am Marshall-Probekörper in V.-% Bauklasse III und IV	-	-	2,0–4,0	2,0–4,0	-
Hohlraum am Marshall-Probekörper in V.-% Bauklasse V und VI, Wege	-	-	1,0–3,0	1,0–3,0	1,0–3,0
Schicht					
Einbaudicke in cm	5,0–6,0	4,0–5,0	3,5–4,5	3,0–4,0	2,0–3,0
oder Einbaugewicht in kg/m²	120–150	95–125	85–115	75–100	45–75
Verdichtungsgrad in %	≥ 97	≥ 97	≥ 97	≥ 97	≥ 96
Hohlraumgehalt in Vol.-%	≤ 7,0	≤ 7,0	≤ 6,0	≤ 6,0	≤ 6,0

Asphaltbeton (Warmeinbau)

Asphaltbeton im Warmeinbau eignet sich für Deckschichten der Bauklassen IV bis VI, also Verkehrsflächen mit geringer Verkehrsbelastung. Von einer Verwendung auf Fahrbahnen sollte abgesehen werden. Nach dem Einbau und der Verdichtung erreicht der Asphaltbeton seine endgültige Dichtigkeit erst durch die Nachverdichtung unter Verkehr. Inhaltlich setzt sich der Asphaltbeton im Warmeinbau aus einem Mineralgemisch 0/5, 0/8 oder 0/11 sowie einem Fluxbitumen FB 500 zusammen. Zur Verbesserung der Oberflächengriffigkeit sollte die Deckschicht nach dem Einbau mit Splitt abgestumpft werden. Der Einbau erfolgt bei einer Mischguttemperatur von ungefähr 60 °C, Aspahltbeton im Heißeinbau wird dagegen bei 120 °C verarbeitet.

In den Regelwerken ist der Einbau von Asphalt im Warmeinbau aus Gründen des Umweltschutzes nicht mehr vorgesehen, es kommt nur noch vereinzelt zur Anwendung dieses Materials. Das verwendete Flux- oder Verschnittbitumen ist in Deutschland nicht mehr normiert und vielfach durch Gesetze untersagt.

Asphaltbetontyp (Warmeinbau)	0/11	0/8	0/5
Korngröße in mm	0/11	0/8	0/5
Anteil kleiner 0,09 mm in %	4–10	5–10	6–11
Anteil größer 2 mm in %	45–70	40–65	30–55
Anteil größer 5 mm in %	-	≥ 15	≤ 10
Anteil größer 8 mm in %	≥ 10	≤ 10	0
Anteil größer 11,2 mm in %	≤ 10	0	0
Natursandanteil	≤ 15	≤ 15	≤ 15
Bitumensorte	FB500	FB500	FB500
Einbaugewicht in kg/m²	45–55	35–45	25–35

Splittmastixasphalt

Der Splittmastixasphalt ist eine spezielle Sorte des Asphalts für Deckschichten mit einem höheren Bitumen- und Splittgehalt. Es kann entweder gewöhnliches Straßenbaubitumen oder auch polymermodifiziertes Bitumen (kurz *PmB*) beigegeben werden. So soll die Haltbarkeit erhöht werden, wodurch er für hohe Verkehrsbelastungen wie auf Autobahnen geeignet ist. Zusätzlich müssen noch stabilisierende Zusätze (z. B. Zellulose- oder synthetische Fasern) beigemischt werden. Diese Zusätze haben die Aufgabe, das sozusagen „überdosierte“, in dieser Menge aber benötigte Bitumen während Herstellung, Transport und Einbau an den Mineralstoffen festzuhalten und am Ablaufen zu hindern. Die Oberflächenstruktur ist grobkörnig und ähnlich der von Drainasphalt.

Entwickelt wurde diese Asphaltsorte in den 1960er Jahren in Deutschland, als man Asphaltmastixdecken zur Erhöhung der Standfestigkeit mit Splitt abstreute und diesen einwalzte. Das reduzierte auch den Abrieb durch die damals noch zugelassenen Spikes wesentlich.

Der Anteil der Zusätze beträgt bei allen Sorten zwischen 0,3 und 1,5 % der Gesamtmasse.

Splittmastixasphalt	0/11 S	0/8 S	0/8	0/5
Korngröße in mm	0/11	0/8	0/8	0/5
Anteil kleiner 0,09 mm in %	9–13	10–13	8–13	8–13
Anteil größer 2 mm in %	73–80	73–80	70–80	60–70
Anteil größer 5 mm in %	60–70	55–70	45–70	<10
Anteil größer 8 mm in %	≥ 40	≤ 10	≤ 10	-
Anteil größer 11,2 mm in %	≤ 10	-	-	-
Verhältnis Brechsand:Natursand	1:0	1:0	≥ 1:1	≥ 1:1
Bitumensorte	50/70 (PmB 45)	50/70 (PmB 45)	70/100	70/100 (160/220)
Hohlraum am Marshall-Probekörper in %	3,0–4,0	3,0–4,0	2,0–4,0	2,0–4,0
Einbaudicke in cm	3,5–4,0	3,0–4,0	2,0–4,0	2,0–4,0
Einbaugewicht in kg/m²	85–100	70–100	45–100	45–75

Für Splittmastixasphalt in Verkehrsflächen der Bauklasse SV bis III mit besonderen Beanspruchungen müssen besonders *polierresistente grobe Gesteinskörnungen* (PSV min 53) eingesetzt werden, da die Splittkörner stärker durch Polieren beansprucht werden. Dies liegt an dem im Vergleich zu Asphaltbeton deutlich niedrigeren Sandanteil und der geringeren Berührungsfläche zwischen Reifen und Fahrbahn.

Splittmastixasphalt verträgt in Hinblick auf Verdichtbarkeit und Verformungsbeständigkeit größere Schwankungen der Schichtdicke – zum Beispiel bei unebener Unterlage – als Asphaltbeton, da er relativ unempfindlich gegenüber Nachverdichtung und Verformung ist.

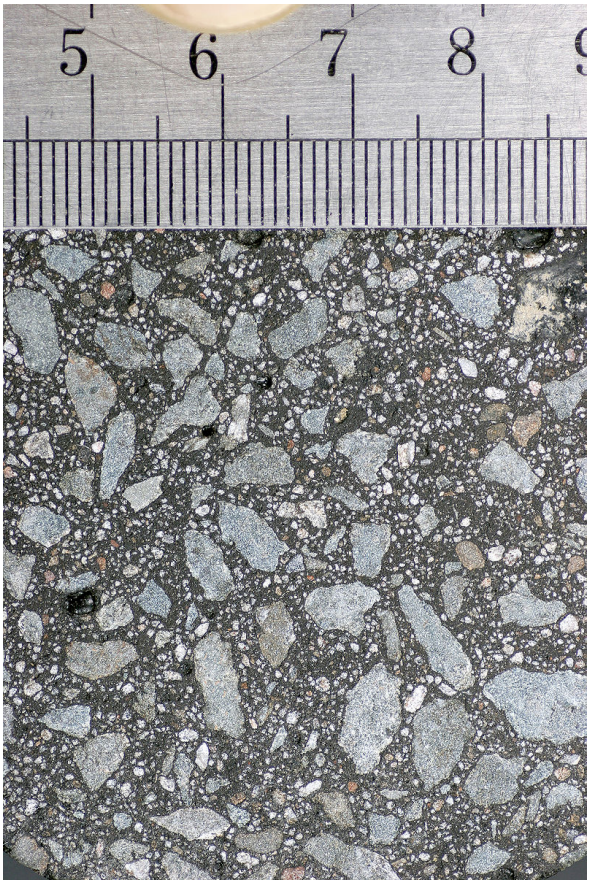
Zu den Einsatzgebieten von Splittmastixasphalt zählen:

- Hoch beanspruchte Straßen
- Verkehrsflächen, die nur kurzfristig dem Verkehr entzogen werden können
- Im Rahmen der Instandsetzung auf unebener Unterlage mit entsprechenden Schwankungen der Einbaudicke
- Wohn- und Erschließungsstraßen im kommunalen Bereich
- Auf innerstädtischen Geh- und Radwegen: Splittmastixasphalt 0/5

Gussasphalt

Siehe Hauptartikel: Gussasphalt

Gussasphalt ist ein Asphalt, der sich durch seinen hohen Anteil von Bitumen und Gesteinskörnern kleiner als 0,09 Millimeter (dem so genannten „Füller“) auszeichnet. Er besteht aus groben und feinen Gesteinskörnungen, Gesteinsmehl und Bitumen. Korngrößenverteilung und Bindemittelgehalt sind so eingestellt, dass die Hohlräume des Gesteinskörnungsgemisches vollständig mit Bitumen ausgefüllt sind und darüber hinaus noch ein geringfügiger Bitumenüberschuss besteht. Dadurch lässt er sich im Gegensatz zu den anderen Asphaltarten *flüssig* verarbeiten.



Querschnitt eines Gussasphalt 0/5

Gussasphalt wird vor allem beim Bau hoch beanspruchter Straßen (Autobahnen) und, wegen seiner hohen Wasserdichtigkeit, häufig auf Brücken verwendet. Durch seinen hohen Anteil an Mörtel (Füller und Bitumen) bekommt er eine optisch glatte Oberfläche.

Der Einbau erfolgt mit speziellen Einbaubohlen oder von Hand. Damit die Griffigkeit gewährleistet bleibt, wird beim Einbau des Asphalts feinkörniger Splitt aufgestreut und eingewalzt. Heller Splitt wirkt außerdem aufhellend und vermindert so die Erwärmung bei starker Sonneneinstrahlung.

Gussasphalt	0/11 S	0/11	0/8	0/5
Gesteinskörnung	Edelsplitt, Edelbrechsand, Natursand, Gesteinsmehl			
Körnung in mm	0/11		0/8	0/5
Anteil < 0,09 mm in M.-%	20–30		22–32	24–34
Anteil > 2 mm in M.-%	45–55		40–50	35–45
Anteil > 5 mm in M.-%	-		≥ 15	≤ 10
Anteil > 8 mm in M.-%	≥ 15		≤ 10	-
Anteil > 11,2 mm in M.-%	≤ 10		-	-
Verhältnis Brechsand:Natursand	≥ 1:2	-	-	-
Bitumensorte	30/45 (20/30)	30/45 (50/70)		
Bitumengehalt in M.-%	6,5–8,0		6,8–8,0	7,0–8,5
Erweichungspunkt RuK in °C	≤ 71	≤ 71	≤ 71	≤ 71
Einbaudicke (incl. Abstreumaterial) in cm oder Einbaugewicht (incl. Abstreumaterial) in kg/m²	3,5–4,0 80–100		2,5–3,5 65–85	2,0–3,0 45–75

Gussasphalt besitzt kein in sich abgestütztes Korngerüst. Die Lastabtragung erfolgt größtenteils über den Mörtel, der dazu erheblich steifer sein muss (härteres Bitumen, mehr Füller) als zum Beispiel beim Asphaltbeton. Der steife Mörtel erfordert deutlich höhere Herstellungs- und Einbautemperaturen. Durch Variation der Zusammensetzung lassen sich die Verarbeitbarkeit und Verformungsbeständigkeit in weitem Rahmen steuern, während die Griffigkeit vom eingebundenen Abstreusplitt abhängt.

Asphaltmastix

Asphaltmastix ist eine Mischung aus Bitumen und Gesteinen mit einer Korngröße unter 2 mm. Im Wasserbau wird er zum Verfüllen der Fugen von Steinschüttungen verwendet. Überwiegend dient er zur Abdichtung von Bauwerken, wobei die Verwendung in den 1990er Jahren stark zurückgegangen ist. Asphaltmastix mit einem geringeren Bitumenanteil (ungefähr 12–14 %) wird im Straßenbau auch als Reparaturmaterial zur Oberflächenverbesserung eingesetzt.

Asphaltmastix	0/2
Korngröße in mm	0/2
Anteil kleiner 0,09 mm in %	30–60
Anteil größer 2 mm in %	≤ 15
Bitumensorte	50/70 70/100 (30/45) (160/220)
Einbaugewicht in kg/m²	15–25

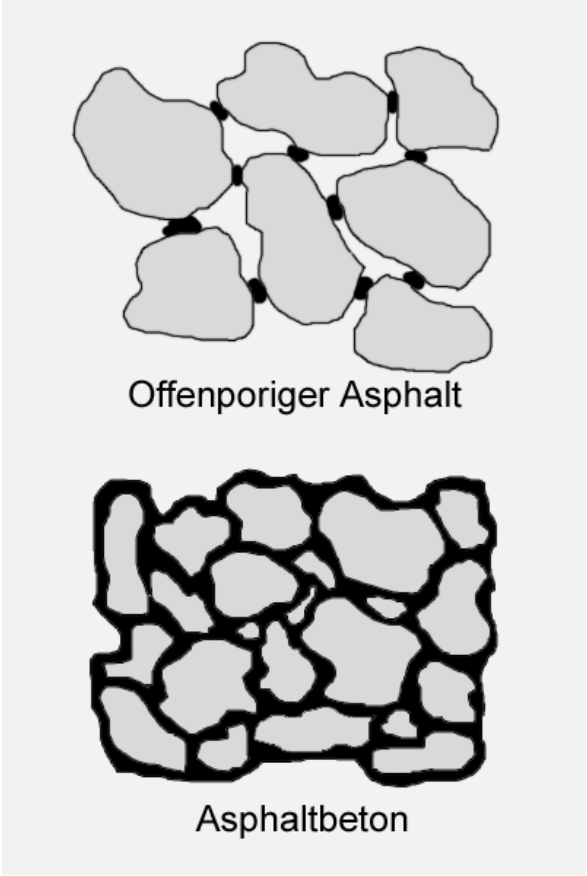
Asphalttragdeckschicht

Der Tragdeckschichtasphalt ist ein Asphalt, der die Funktionen von Asphaltdecke und Asphalttragschicht vereint. Er wird vor allem im landwirtschaftlichen Wegebau sowie auf Rad- und Gehwegen eingesetzt, wo wegen des relativ geringen Verkehrsaufkommens eine Befestigung mit gutem Kosten/Nutzen-Verhältnis benötigt wird. Es können gebrochene und ungebrochene Gesteinskörnungen verwendet werden. Falls nach dem Einbau mit starker Verschmutzung zu rechnen ist, wie z. B. bei landwirtschaftlichen Wegen, soll die heiße Oberfläche mit rohem oder bindemittelumhüllten Sand abgestreut werden, um die Rauheit zu verbessern.

Tragdeckschichtasphalt	0/16
Korngröße in mm	0/16
Anteil kleiner 0,09 mm in %	7–12
Anteil größer 2 mm in %	50–70
Anteil größer 11,2 mm in %	10–20
Anteil größer 16 mm in %	≤ 10
Hohlraum am Marshall-Probekörper in %	1,0–3,0
Bitumensorte	70/100 160/220
Einbaudicke in cm	5,0–10,0
Einbaugewicht in kg/m²	120–250

Offenporiger Asphalt

Offenporiger Asphalt (kurz *OPA*) wird auch als *Drainasphalt* (teilweise auch *Dränasphalt*), *Flüsterasphalt* oder *lärmoptimierter Asphalt* bezeichnet. Der offenporige Asphalt ist eine spezielle Art des Asphaltbetons, welche in den 1980ern entwickelt wurde.



Vergleich zwischen offenporigem Asphalt und hohlraumarmen Asphaltbeton. Beim Asphaltbeton sind alle Mineralstoffe mit Bitumen umhüllt, die Mineralstoffe des offenporigen Asphalts werden dagegen nur an wenigen Punkten durch Bitumen verbunden.

Die Zusammensetzung zeichnet sich durch ihren hohen Anteil von groben Gesteinskörnungen aus, der einen hohen Gehalt an zusammenhängenden Hohlräumen zur Folge hat. Durch diese Hohlräume kann das Regenwasser nach unten abgeleitet werden. Eine Abdichtung aus Bitumen verhindert, dass das Wasser in den Untergrund oder in den Straßenkörper abläuft. Diese besteht aus polymermodifiziertem oder gummimodifiziertem Bitumen und wird zur Befahrbarkeit mit Edelsplitt 8/11 oder 5/8 abgestreut. Diese Schicht wird im englischen Sprachraum *Stress Absorbing Membrane Interlayer* genannt. Das Oberflächenwasser wird durch die Schrägneigung – einer Kombination aus Längs- und Querneigung – der Straße seitlich abgeleitet. Um das anfallende Wasser sicher ableiten zu können, werden am Rand der Straße entweder spezielle Entwässerungsrinnen eingebaut, oder der befestigte Straßenrand, wie z.B. eine gepflasterte Gosse, müssen um Deckschichtstärke tiefer liegen, damit das Wasser ungehindert abfließen kann. Insgesamt bildet sich auf der Fahrbahnoberfläche durch all diese Maßnahmen nur ein sehr dünner Wasserfilm. Dies hat erhebliche positive Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit: zum einen verringert sich die Sprühfahnenbildung, was zu wesentlich besseren Sichtverhältnissen führt und zum anderen wird die Aquaplaning-Gefahr deutlich reduziert.

Der hohe Anteil an Hohlräumen absorbiert außerdem den Schall der Fahrgeräusche und verhindert teilweise überhaupt deren Entstehung (durch Luftableitung), weshalb er auch *Flüsterasphalt* genannt wird. Dieser Effekt macht sich besonders bei Straßen bemerkbar, bei denen die Reifen-Fahrbahn-Geräusche die Hauptgeräuschquelle darstellen, wie z. B. bei Autobahnen. Es werden Lärmreduzierungen von rund 5 bis 10 dBA erreicht, was für das menschliche Hörempfinden etwa einer Reduzierung um ein Drittel bis zur Halbierung entspricht. Die lärmmindernde Wirkung lässt jedoch nach etwa 6 bis 8 Jahren nach, da Straßenschmutz und Reifenabrieb die Poren verstopfen. Da eine Reinigung der Poren bisher nicht möglich ist, sind andere Lösungsansätze in Form von Schmutz abhaltenden bzw. abweisenden Schichten in der Erprobung.

Heute üblich ist der Einsatz von zweilagigem offenporigen Asphalt (kurz *ZWOPA* oder *2OPA*). Dieser Asphalt wurde in Deutschland beispielsweise auf der A9 bei Garching und der A30 im Bereich Osnabrück erprobt. Dieser Baustoff besteht aus zwei Lagen offenporigen Asphalts, die untere mit der Körnung 0/16 und die obere Lage mit der Körnung 0/8.

Die Haltbarkeit von doppellagigem offenporigem Asphalt bei Verwendung neu entwickelter, hochwertiger Bitumenmischungen ist besser als die einer einlagigen offenporigen Asphaltschicht. OPA der neuen Generation wird

in Deutschland beispielsweise auf der A61 auf einem 6km langen Stück zwischen der Anschlussstelle Miel und dem Kreuz Meckenheim seit dem 29. August 2007 erprobt.

Während der praktischen Anwendung sind bisher im europäischen Ausland kaum Probleme aufgetreten. So ist die Beständigkeit gegenüber Spurrinnenbildung sehr gut, es treten jedoch bei sehr niedrigen Temperaturen erhöhter Verschleiß durch Schneekettennutzung auf. Die Schneeketten können Teile der Asphaltschicht beschädigen. Was bei normaler feuchter Witterung ein positiver Effekt ist, nämlich das schnellere Ablaufen des Wassers, führt im Winter zu erhöhtem Salzverbrauch. In alpinen Regionen um durchschnittlich 40 % mehr Salzverbrauch.

Lokale Schädigungen werden derzeit durch den Austausch der Deckschicht behoben. Die Möglichkeiten zur groß- und kleinflächigen Sanierung von geschädigten OPA-Belägen befindet sich in Deutschland noch im Versuchsstadium. Alle neu gebauten italienischen Autobahnen werden seit 2003 mit offenporigen Asphalten versehen. Dänemark, Österreich, die Schweiz, und andere europäische Länder, vor allem die Niederlande, setzen offenporigen Asphalt seit Jahren in großem Umfang ein. In Österreich gibt es bereits 240 km Autobahn mit herkömmlichem OPA, der jedoch nicht weiter ausgebaut wird, da es vermehrt Schädigungen durch Spikes und Schneeketten gab.

In den Medien wurde oft berichtet, dass offenporiger Asphalt, speziell der sogenannte Flüsterasphalt, eine geringere Griffigkeit habe und damit ein Problem für die Verkehrssicherheit darstelle. Bei intaktem OPA sind diese Behauptungen falsch. Mischgutarten mit kleineren Gesteinskörnungen haben zwar tendenziell bessere Griffigkeiten, eine ausreichende Griffigkeit kann aber auch mit gröberer Gesteinskörnung erreicht werden. Da jedoch das Einzelkorn bei gröberen Mischgutarten erhöhter Polierbeanspruchung und damit Verschleiß ausgesetzt ist, nimmt die Griffigkeit von OPA schneller als bei herkömmlichem Asphalt ab. Um diesen Verschleiß zu verlangsamen müssen höhere Anforderungen an die Qualität des Mischgutes gestellt werden, wobei man jedoch nicht an die Haltbarkeit von herkömmlichem Asphalt guter Qualität heran kommt. Gealterter und verschlissener OPA kann daher eine für die Verkehrssicherheit zu geringe Griffigkeit aufweisen. In diesem Zusammenhang wurden z.B. nach Unfallhäufungen auf der A8 bei Karlsbad die Beschaffenheit und Qualität des Belages vom Ministerium für Umwelt und Verkehr BW im Jahr 2004 überprüft, da vermutet wurde, dass die auffällig schnelle Abnahme der Griffigkeit an fehlerhaftem oder minderwertigem Mischgut liegen könnte.

Durch die höheren Anforderungen an OPA der neuen Generation sind die Herstellungskosten etwa dreimal so hoch wie bei herkömmlichem Asphalt bei gleichzeitig geringerer Haltbarkeit. Deshalb ist ein flächendeckender Einsatz bisher nicht geplant.

Niedrigtemperaturasphalt

Vor allem um Energie bei der Herstellung von Asphaltmischgut zu sparen und damit den Ausstoß an Kohlendioxid (CO_2) zu reduzieren, aber auch unter dem Aspekt des Gesundheits- und Arbeitsschutzes werden seit einiger Zeit Niedrigtemperaturasphalte (kurz *NTA*) erprobt. Der normalen Asphaltrezeptur werden Zusätze in Form von Wachsen oder Zeolithen zugegeben (Additive), die es ermöglichen, den Asphalt bei niedrigeren Temperaturen zu mischen und einzubauen, ohne dass dabei seine Verarbeitungseigenschaften und seine Gebrauchseigenschaften beeinträchtigt werden. Die NTA wurden in Deutschland entwickelt und mittlerweile auch in den USA, Frankreich und zahlreichen anderen Ländern erfolgreich eingesetzt. Eine um 10 °C abgesenkte Herstellungstemperatur spart bis zu 10 % Energie. Außerdem entweichen dem Asphalt exponentiell mit ansteigender Temperatur mehr Dämpfe und Aerosole aus dem Bitumen. Eine Gesundheitsgefährdung durch diese Dämpfe und Aerosole konnte bisher nicht nachgewiesen werden, jedoch kann sie eine Geruchsbelästigung darstellen. Durch den Einsatz von NTA werden die Arbeitsbedingungen auf den Baustellen deutlich verbessert. Seit dem Mai 2006 regelt das „Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt – M TA“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) den Einsatz und die Ausführung von temperaturabgesenkten Asphalten.

Flüssigkeitsundurchlässiger Asphalt

Es kann die Notwendigkeit bestehen, Asphaltbefestigungen so auszubilden, dass ein Eindringen von wassergefährdenden Stoffen (wie etwa Kraftstoffe oder andere Gefahrstoffe) in den Untergrund nicht möglich ist. Diese Art von Asphaltbefestigung kann beispielsweise bei Abfüllanlagen oder Tankstellen eingebaut werden. Es werden in diesem Fall spezielle Anforderungen an die Bindemittel, Gesteinkörnung und die Ausbildung von Fugen gestellt. Die Bezeichnung „flüssigkeitsundurchlässig" kann nur verwendet werden, wenn die ausgetretenen Stoffe vom Zeitpunkt des Erkennens bis zum Zeitpunkt der Beseitigung höchstens zu zwei Dritteln der Dicke der Asphaltschicht eingedrungen sind.[19]

Gestalten mit Asphalt

Gestalten mit Farben

Durch die Verwendung von farbigen Gesteinskörnungen, Farbpigmenten und/oder einfärbbaren Bindemitteln sowie den Einsatz von Asphaltfarbe oder eines Asphaltvorsatzes kann die Asphaltoberfläche den jeweiligen Anforderungen an die farbige Gestaltung angepasst werden. Weitere Möglichkeiten, optische Effekte zu erzeugen, sind auftragende oder abtragende Verfahren.



Asphaltmischgut in verschiedenen Farben ermöglicht die Gestaltung von Verkehrsflächen. So erhalten Radfahrstreifen vielerorts beispielsweise einen roten Fahrbahnbelag, um ihn besser zu kennzeichnen.

Farbasphalte

Farbasphalte lassen sich als Asphaltbeton, Splittmastixasphalt und Gussasphalt bevorzugt in den Körnungen 0-5 mm, 0-8 mm und 0-11 mm herstellen. Beim Einsatz von farblosen Bindemittel ist unbedingt vor dem Einbau die Eignung für die vorgesehenen Verkehrslasten zu prüfen. Farblose Bindemittel sind hier nicht immer geeignet. Spezielle hochstandfeste Farbasphalte sind bis Bauklasse II einsetzbar. Da die Kornverteilung für die Weitergabe der Verkehrslasten von entscheidender Bedeutung ist, werden bei Verkehrslasten ab Bauklasse IV die Walzasphalte optisch sehr grobkörnig und oft unattraktiv. Farbige Gussasphalte, auch als 0-11 S Asphalt gemischt, sind in der Oberfläche geschlossener, da die Hohlräume ausgefüllt sind. Die Textur der Asphaltdeckschicht lässt sich über die Größe der Gesteinskörnungen variieren.

Farbiger Asphaltvorsatz

Das *A.R.T.-Stone-Verfahren* ist ein Asphaltvorsatz, der auf vorhandenen Asphalt aufgetragen wird. Ein auf den Asphalt abgestimmtes Bindemittel wird auf den Asphalt aufgetragen und mit farbigem Splitt bestreut. Dies kann mit oder ohne ein Muster entstehen. Das Ergebnis nach der Aushärtung ist eine dekorative farbliche Oberfläche, die verkehrsbeständig bis zu Belastungen entsprechend der Bauklasse IV ist.

Asphaltfarben

Asphaltfarben werden in einer Nassfilmdicke von 0,3 mm - 0,6 mm in zwei bis vier Lagen auf gereinigte, öl- und fettfreie Asphalte aufgetragen und haben eine hervorragende Haftung und Elastizität. Im Vergleich zu Markierungsfarbe dauert der Trocknungsvorgang deutlich länger, bei normaler Witterung jedoch weniger als eine Stunde. Um eine ausreichende Deckung und Haltbarkeit zu erhalten werden Nassfilmdicken von 0,6 mm bevorzugt. Im Unterschied zu Asphaltfarben haben Markierungsfarben oft nicht die gewünschte Balance für den Flächenauftrag,

da bei der Produktion mehr Wert auf die schnelle Abtrocknungszeit und Abriebfestigkeit als auf die Elastizität gelegt wurde, was bei flächigem Auftrag zu Rissbildungen und Abplatzungen führen kann. Die Farbvielfalt ist nahezu grenzenlos und es lassen sich mehrfarbige Flächen auch mit Verläufen herstellen.

Gestalten mit Fugen

Seit dem Altertum gibt die Anordnung von Fugen dem Benutzer Informationen und den Flächen ein Gesamtbild. Fugen waren aus Gründen des Gewichtes von Steinen und Platten, oder aus konstruktiven Gründen (Herstellung, Bruchfestigkeit, Dehnungsfuge), unverzichtbar. Im Gegensatz zu Steinen und Beton kann Asphalt fugenlos gebaut werden, insbesondere wenn auch die Arbeitsfugen (z.B. mit dem *C.A.R.-Verfahren*) im Asphalt temperaturgesteuert verschweißt werden. Fugen sind die Schwachstellen im Pflasterbau. Durch sie kann Wasser eindringen, die Steine oder Platten können sich verschieben und Kehrsaugmaschinen entfernen die notwendigen Fugenverfüllungen. Fugen bei den Asphaltprägeverfahren sind keine Schwachstellen, da es sich hier um Scheinfugen handelt, die keinerlei Wasser eindringen lassen. Die Asphaltprägeverfahren verbinden nicht nur die gestalterische Vielfalt der Fugen mit dem Baustoff Asphalt, sondern es ist erstmals möglich auch große Flächen „glatt“ zu lassen und dann nach dem Geschmack des Gestalters Scheinfugen zu prägen.

Asphaltprägeverfahren *StreetPrint*

Zusätzlich kann die Oberfläche durch verschiedene patentierte Verfahren strukturiert werden. Mit dem *StreetPrint*-Verfahren werden Stahlschablonen mit einer Rüttelplatte in den noch warmen, oder computergesteuert erwärmten, Asphalt geprägt. Mit diesem Verfahren kann nicht nur jedes Pflaster- Naturstein oder Plattenmuster ohne die Schwachstelle einer „offenen Fuge“ imitiert werden, es können auch völlig neue Muster hergestellt werden, da die entstehenden Scheinfugen ausschließlich der Gestaltung und nicht der Konstruktion (Dehnungsfuge; gewichtsbedingte Fuge) dienen.

Asphaltprägeverfahren *StreetPrint-Duratherm*

Mit dem *Duratherm*-Verfahren wird der Asphalt mit Hilfe von speziellen Heizgeräten aufgeheizt. Die temperaturgesteuerte Erhitzung spielt hierbei eine wichtige Rolle. Es ist wichtig, dass der Asphalt nicht nur oberflächig erhitzt wird, sondern die Wärme tief in den Asphalt eindringt. Nur so ist gewährleistet, dass beim Einprägen einer Plastikschablone das Korn nicht beschädigt wird. Bei zu großer Hitze würde das Bitumen verbrennen. Diesen Mittelweg zwischen tiefgehender Erhitzung ohne Verbrennung der Oberfläche erfüllen nur qualitativ hochwertige Heizgeräte. Nach der Erhitzung wird eine Plastikschablone mit breiten Stegen mittels einer Rüttelplatte in den Asphalt geprägt. In die entstandenen Fugen wird ein thermoplastisches Inlay mit gleichen Dimensionen eingelegt. In einem zweiten Heizgang wird dieses Thermoplast mit dem Asphalt verschweißt. Wichtig ist, dass bei diesem Verfahren das thermoplastische Material ungefähr 1mm tiefer als die Asphaltoberfläche liegt. Die Hauptlast des Verkehrs liegt also auf dem Asphalt, nicht auf dem Thermoplast. Diese Art der Gestaltung hält daher hohen Verkehrsbelastungen bis Bauklasse II stand.

Recycling von Ausbauasphalt

Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei Asphalt um einen thermoplastischen Baustoff handelt, kann dieser zum Teil auch mehrfach wiederverwendet werden. Hierzu ist der Asphalt beispielsweise durch Abfräsen (Fräsasphalt) oder Aufbrechen (Aufbruchasphalt) auszubauen und - ggf. nach Aufbereitung durch Brechen - erneut dem Herstellungsprozess beizugeben. Voraussetzung dafür ist, dass der Ausbauasphalt frei von Fremdstoffen und gesundheitsschädlichen Substanzen (beispielsweise Teer) ist. Rechtliche Grundlage für die Wiederverwendung von Asphalt bildet in Deutschland das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz. In der Schweiz und Österreich gelten die entsprechenden Merkblätter zum Umgang mit Ausbauasphalt.

Neben der Wiederverwertung im Mischwerk (so genanntes *Recycle in Plant*) kann der Asphaltbelag auch an Ort und Stelle erneuert werden (*Recycle in Place*). Bei dieser Methode kommen verschiedene Heißrecycling-Verfahren zur Anwendung, bei denen die Asphaltschicht erwärmt und anschließend aufgelockert wird. Im nächsten Arbeitsgang können gegebenenfalls Zusatzstoffe beigeben und das Mischgut wieder eingebaut und verdichtet werden.



Verwitterter Straßenasphalt. Wird eine Fläche aus Asphalt nicht mehr erneuert, erobert die Natur den Boden zurück.

Siehe auch

- Weitere Straßenbefestigungen: Halbstarrer Belag, Pflaster (Belag), Makadam
- Asphaltbauer

Normen und Standards

Europa:

- EN 12697 Prüfverfahren für Heißasphalt

Deutschland (FGSV-Verlag):

- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau (ZTV T-StB)
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 01)
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Befestigung ländlicher Wege (ZTV LW)
- Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein–StB)
- Technische Lieferbedingungen für Asphaltgranulat (TL AG-StB)
- Technische Lieferbedingungen für gebrauchsfertige polymermodifizierte Bindemittel (TL PmB)
- Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (RStO 01)
- Richtlinie für den ländlichen Wegebau (RLW)
- Richtlinie für die Anlage von Straßen (RAS)
- Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat (M VAG)

- Merkblatt Dünne Schichten im Heißeinbau auf Versiegelung (M DSH-V)
- Merkblatt für den Bau kompakter Asphaltbefestigungen (M KA)
- Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten
- Merkblatt für Eignungsprüfungen an Asphalt

Österreich:

- ÖNORM B 3580 bis B 3586 Asphaltmischgut – Mischgutanforderungen
- ÖNORM EN 1097 Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen

Schweiz:

- SN 670401 bis SN 670443 Prüfverfahren für Heissasphalt
- SN 670141 Ausbauasphalt
- SN 640431 Verschiedene Asphaltsorten

Literatur

- Ed. Graefe: *Der Asphaltsee auf der Insel Trinidad und Verwertung des Trinidadasphalts.* Zeitschrift für angewandte Chemie 26, S. 233–239 (1913), ISSN 0932-2132 [20]
- Zirkler, Eduard: *Asphalt: ein Werkstoff durch Jahrtausende*. Isernhagen: Giesel-Verlag, 2001. ISBN 3-87852-010-7
- *Wie gehe ich mit Ausbauapshalt um?* Merkblatt, Aushub-, Rüchbau- und Recycling-Verband Schweiz (ARV)

Weblinks

- Deutscher Aspaltverband DAV e.V. [21]
- P. Schießl: Skript zur Vorlesung *Bitumen und Asphalt* an der TU München [22]
- Bericht des Umweltbundesamtes zu den akustischen Auswirkungen eines offenporigen Asphaltbelages [23]
- Museé de Petrole, Merkwiller Pechelbronn [24]
- Gefährdungen und Schutzmaßnahmen im Straßenbau, Wissensportal TU Dresden [25]
- Temperaturabsenkungen bei Asphalt – Grundlagen und Erfahrungen, Wissensportal TU Dresden [26]

Referenzen

[1] Gefährdungen und Schutzmaßnahmen im Straßenbau, Wissensportal TU Dresden, Seite 2 (http://www.baumaschine.de/Portal/Tbg/2007/heft5/a303_309.pdf)

[2] Felix Kern: Faszination Strassenbau, Motorbuch Verlag, 2005, ISBN 3-613-02499-3, Seite 52

[3] D. Richter, M. Heindel: *Straßen- und Tiefbau*, Teubner Verlag, 2004, ISBN 3-519-35621-X, Seite 11

[4] Schweizerische Vereinigung für Baufachlehrer: *Untersuchung Strassenbau*, 2004, Seite 29 (http://www.constructa.ch/bulletin/archiv/svb_bulletin_63_3_2004.pdf)

[5] Statistik zur Asphaltproduktion in Deutschland, herausgegeben vom Deutschen Asphalt Verband (Pdf) (http://www.asphalt.de/media/exe/132/709236beb8d7bc16d1a80fafdf2541e6/asphaltp06.pdf)

[6] Studie des Austrian Bioenergy Centre GmbH, 2006, Seite 13 (http://www.blt.bmlfuw.gv.at/vero/veroeff/1012_EndberichtNAWAROaktiv_oA.pdf)

[7] Eduard Zirkler: *Asphalt, ein Werkstoff durch die Jahrtausende, Giesel Verlag (2001), Seite 49*

[8] Microsoft Corporation: Microsoft Encarta Professional 2003, Artikel: Asphalt

[9] Eduard Zirkler: *Asphalt, ein Werkstoff durch die Jahrtausende, Giesel Verlag (2001), Seite 82 ff.*

[10] A. Burton: *Dampfmaschinen - Veteranen der Technik*, Bechtermünz-Verlag, 2000, ISBN 3-8289-5368-9, Seite 111

[11] Gout & Region, Couvet: *Mines d'Asphalte de Travers* (http://www.gout-region.ch/mines.php), (Stand Mai 2008)

[12] Felix Kern: *Faszination Strassenbau*, Motorbuch Verlag (2005), Seite 12

[13] Felix Kern: *Faszination Strassenbau*, Motorbuch Verlag (2005), Seite 16

[14] Frey, August, Günter: *Bautechnik Fachkunde Bau*, 10. Auflage Europa Lehrmittelverlag (2003) Seite 97

[15] J. Hutschenreuther, T. Werner: *Asphaltim Straßenbau*, Verlag für Bauwesen (1998)

[16] Bericht von FIA Institute zum neuen Circuit Paul Ricard (http://www.fiainstitute.com/features/feature_3.htm)

[17] Eduard Zirkler: *Asphalt, ein Werkstoff durch die Jahrtausende, Giesel Verlag (2001), Seite 109*

[18] Asphaltschichten und ihre Aufgaben – Asphalttragschichten (Informationen vom DAV) (http://www.asphalt.de/site/startseite/technik/bautechnik/5_asphaltschichten_und_ihre_aufgaben/)
[19] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Begriffsbestimmungen, Teil: Straßenbautechnik, 2003, FGSV-Verlag, Begriffsbestimmung „Flüssigkeitsundurchlässige Bauweise“

Ätherische Öle

Ätherische Öle' (auch: *etherische Öle*, *etherartig*, wie Ether flüchtig) sind in organischen Lösungsmitteln lösliche Extrakte oder die organische Phase aus Wasserdampfdestillaten aus Pflanzen oder Pflanzenteilen, die einen starken, für die Herkunftspflanze charakteristischen Geruch haben. Neben den ätherischen Ölen existieren Hydrolate als Nebenprodukte der Wasserdampfdestillation. Sie enthalten die wasserlöslichen Komponenten der destillierten Pflanzen und in Spuren auch ätherische Öle.



Lavendelöl

Inhaltsstoffe

Ätherische Öle bestehen größtenteils aus Gemischen verschiedener Terpene und Sesquiterpene. Terpene leiten sich formal aus Isopreneinheiten ab. Monoterpene bestehen aus zwei, Sesquiterpene aus drei Isopreneinheiten. Untenstehende Tabelle zeigt einige Beispiele für die vielfältigen Moleküle, die in ätherischen Ölen vorkommen. Rückstände fettlöslicher Pestiziden im Ausgangsmaterial können sich im ebenfalls fettlöslichen ätherischen Öl anreichern.

Stoffgruppe		**acyclische**	**monocyclische**	**bicyclische**
Monoterpene	Kohlenwasserstoffe	Ocimen, Myrcen	Limonen, α-Terpinen, Phellandren	α-Pinen, Camphen
	Alkohole	Linalool, Geraniol		Sabinol, Borneol
	Aldehyde	Neral, Citronellal		
	Ketone		Carvon, Menthon	Campher, Fenchon
	Ether		Menthofuran, Cineol, Anethofuran	
	Ester	Geranylacetat, Linalylacetat		
Sesquiterpene		Farnesol, Farnesen	α-Bisabolol, α-Caryophyllen	Chamazulen, β-Caryophyllen
Phenole			Carveol, Carvacrol, Thymol	
Phenylpropanoide wie Apiol, Zimtaldehyd, Anethol, Dillapiol, Estragol				
Furanocumarine wie Coriandrin				

Eigenschaften



Limonenöl

Ätherische Öle enthalten sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe, die der Pflanze dazu dienen können, Insekten zur Bestäubung anzulocken, Schädlinge fernzuhalten und sich gegen Krankheiten zu schützen, die z. B. durch Bakterien oder Pilze hervorgerufen werden.

Ätherische Öle sind aus vielen verschiedenen chemischen Verbindungen zusammengesetzt. Sie sind fettlöslich, enthalten jedoch keine Fette. Im Gegensatz zu fetten Ölen verdampfen ätherische Öle rückstandsfrei. In Wasser sind sie nur sehr wenig löslich. Bei Normaldruck liegt ihr Siedepunkt weit über dem von Wasser, von überhitztem Wasserdampf jedoch werden sie überdestilliert. Sie besitzen eine geringere Dichte als Wasser und bilden daher schwimmende Flüssigkeitstropfen auf der Wasseroberfläche.

Bildung



Australisches Teebaumöl

Ätherische Öle werden in Öldrüsen von Pflanzen gebildet und im Pflanzengewebe gespeichert. Sie befinden sich in Blüten, Blättern, Samen, Fruchtschalen, Wurzeln, Harzen, Rinden oder im Holz. Manche Pflanzen liefern aus verschiedenen Pflanzenteilen ätherische Öle, die sich in ihrer chemischen Zusammensetzung sehr stark unterscheiden, z. B. Zimtrinden- und Zimtblätteröl.

Aus den Pflanzenteilen werden ätherische Öle durch Wasserdampfdestillation gewonnen. Nach der Kondensation liegen die stoffe von der wässrigen Phase getrennt vor und können abgeschieden werde. Die Ausbeute in Bezug auf das Ausgangsmaterial liegt in der Regel im ein- bis zweistelligen Promillebereich.

Gewinnung



Manukaöl

Das gebräuchlichste Verfahren zur Gewinnung von ätherischen Ölen ist die Wasserdampfdestillation. Dazu wird in einem verschlossenen Brennkessel mit zerkleinertem Pflanzenmaterial heißer Wasserdampf eingeblasen. Der Wasserdampf treibt das ätherische Öl aus der Pflanze. In einem gekühlten Rohr kondensiert das Öl-Wasser-Gemisch, und in einem Auffangbehälter wird das leichtere und fettlösliche ätherische Öl vom Wasser getrennt. Einige Pflanzen, die sich nicht alleine destillieren lassen, wie z. B. Algen, Brennnessel oder Heu, können mittels *Co-Destillation* zusammen mit einer anderen Pflanze als Trägerstoff destilliert werden. Öle einiger Blütenarten, wie Jasmin, Tuberose oder Mimose, können nicht per Wasserdampfdestillation gewonnen werden.

Die Kaltpressung wird nur für Zitrusöle angewandt. Die Schalen werden gepresst, so dass eine Emulsion aus Flüssigkeit und ätherischem Öl besteht. Das Öl wird durch Zentrifugierung abgetrennt.

Extraktion wird vor allem bei Blütenölen praktiziert. Dazu werden die Pflanzen in ein Lösungsmittel, meist Hexan gelegt, das alle löslichen Aromastoffe, auch Wachse und Farbstoffe entzieht. Anschließend wird das Lösungsmittel abdestilliert. Zurück bleibt eine wachsartige Masse, die mit Alkohol nochmals extrahiert oder destilliert wird. Solche ätherischen Öle nennt man auch Absolues. Eine Rückstandskontrolle kann gewährleisten, dass sich kein Lösungsmittel mehr im ätherischen Öl befindet. Die sehr kostspielige Extraktion mit Fetten, die sogenannte Enfleurage, wird heute kaum mehr praktiziert.

Verarbeitung

Meist werden ätherische Öle unverändert benutzt. Einige jedoch werden zunächst aufkonzentriert oder weiter zerlegt, beispielsweise durch Destillation oder Adsorption. So können für die Wirkung erwünschte Bestandteile des ätherischen Öls konzentriert werden, ungeeignete Bestandteile dagegen entfernt werden. Gemische, die nur einen oder weniger Hauptbestandteiöe enthalten, können über Destillation oder Kristallisation gewonnen werden, so bei der Gewinnung von Eugenol aus Nelkenöl. Die Bedeutung der Gewinnung einzelner Komponenten natürlicher ätherischer Öle hat mit der Entwicklung synthetischer Herstellungsverfahren stark abgenommen.

Verwendung

Ätherische Öle werden je nach Eigenschaft unterschiedlich genutzt. Häufig steht der Einsatz als Duftstoff in Kosmetik- und Parfümindustrie im Vordergrund, aber auch als medizinische Wirkstoffe und als technische Lösungsmittel haben bestimmte ätherische Öle Bedeutung.

Sie werden in der Kosmetikindustrie und zur Wohnraumaromatisierung in Duftlampen verwendet. Zudem haben sie Bedeutung als geschmacksverbessernde Inhaltsstoffe in Gewürzen und anderen Lebensmitteln. Einige in großem Umfang produzierte Öle wie Orangenschalenöl und Terpentinöl werden auch als technische Lösemittel benutzt.

Medizin und Naturheilkunde

Einige nicht verschreibungspflichtige Arzneimittel enthalten ätherische Öle als Wirkstoffe, z.B. Eukalyptus oder Menthol zur Schleimlösung bei Katarrhen der oberen Atemwege, Bronchitis, etc.. Auch Wirkungen gegen Blähungen und Krämpfe im Magen-Darm-Bereich, z. B. durch Tees mit Fenchel-Kümmel-Anis, besonders in der Kinderheilkunde, und bei Entzündungen im Mund- und Rachenraum (Salbei, Kamille), werden auf ätherische Öle zurückgeführt.

Eine zentrale Rolle spieln ätherische Öle bei der naturheilkundlichen Methode der Aromatherapie, eine Form der Pflanzenheilkunde zur Behandlung von Empfindungsstörungen und Erkrankungen durch Duftstoffe. Neben der Anwendung durch Therapeuten (in der Regel Heilpraktiker) ist auch die Selbstbehandlung durch Duftlampen, Badezusätze, Saunaaufgüsse oder Tees verbreitet, wobei die Grenzen zwischen Heilbehandlung und reiner Wohnraumaromatisierung fließend sind.

Die meisten ätherischen Öle sind haut- und schleimhautreizend und werden daher nur stark verdünnt angewendet, z.B. als Bestandteil ölbasierter Hautpflegeprodukte oder in Verbindung mit Pflanzenölen. Allergien und Unverträglichkeiten gegenüber ätherischen Ölen kommen vor, ebenso asthmatische Anfälle bei Personen, die auf einzelne Substanzen (z.B. Menthol) empfindlich reagieren. Häufig treten bei einer Unverträglichkeit gegenüber bestimmten Pflanze auch Reaktionen auf die entsprechenden ätherischen Öle auf.

Gesundheitliche Wirkung

Durch ihre kleine Molekularstruktur gelangen ätherische Öle über Haut und Schleimhaut in Blutkreislauf und Gewebe. Auf diesem Weg beeinflussen sie den gesamten Organismus. Über das Einatmen gelangen sie über Schleimhäute und Lunge ebenfalls in den Blutkreislauf. Bei der Einnahme durch den Mund (oral) wird ein Teil der Wirkstoffe über den Magen-Darm-Trakt aufgenommen, größtenteils gelangen sie über die Mundschleimhäute in den Blutkreislauf.

Über die Sinneszellen der Nase gelangen die Duftinformationen ins Gehirn. Die Aromatherapie macht sich zu Nutze, dass auch Gerüche Einfluss auf die Gefühle, das vegetative Nervensystem, die Hormonproduktion und das Immunsystem nehmen können.

Handelsqualitäten

Die Bezeichnung „ätherisches Öl“ ist nicht geschützt ist und wird im Handel auch für rein synthetische Produkte verwendet. Zur Differenzierung der ätherische Öle werden die Bezeichnungen naturbelassen, natürlich, naturidentisch und künstlich verwendet.

Naturbelassene Öle

Naturbelassene Öle werden direkt aus Pflanzen gewonnen. Unterschieden werden die Öle nach Herkunft, Eigenschaften, Prozess- und Produktqualität. Die Beschreibung eines naturbelassenen Öls kann umfassen:

- die Anbauweise der Pflanze (konventionell, ökologisch (kba) oder Wildsammlung
- den deutsche und botanische Namen der Pflanze
- das Produktionsland der Pflanze
- den verwendeten Pflanzenteil (Wurzel, Blüte, Frucht oder Blatt)
- den Chemotyp der Pflanze (bei Pflanzen einer Art, die sich nur in ihrer chemischen Zusammensetzung unterscheiden). Bei einigen Pfanzen können diese Unterschiede in der Zusammensetzung des Öls hervorrufen. Je nach Chemotp des Thymian beispielsweise ist Thymol oder Linalool enthalten.
- Gewinnungsverfahren des ätherischen Öles
- Bei Extraktion: Angabe des Lösungsmittels und ggf. Angaben zu Rückstandskontrollen
- Bei zähflüssigen ätherischen Ölen (z.B. Vanille, Tonka) die Art des Verdünnungsmittel (z.B. Weingeist, Alkohol,Jojobaöl) und das Mischungsverhältnis
- Angaben zu biochemischen und physikalischen Analysen (z.T. beim Hersteller nach Chargennummern abrufbar)

Natürliche Öle

Natürliche Öle bestehen aus mehreren naturreinen Komponenten, werden also nicht ausschließlich aus der namensgebenden Pflanze gewonnen. Natürliche Öle dürfen keine synthetischen Zusätze enthalten. Eine Mischung eines naturreinen Öles mit synthetischen Zusätzen bezeichnet man als natürlich/naturidentisch (N/NI).

Naturidentische Öle

Die Bestandteile naturidentischer Öle werden nach dem Vorbild der chemischen Zusammensetzung natürlicher ätherischer Öle synthetisch hergestellt, so dass sie ähnlich wie natürliche Öle riechen. Die Zusammensetzung naturidentischer Öle ist häufig weniger komplex als die der natülichen Varianten, so besteht naturidentisches Rosmarinöl aus ca. elf Bestandteilen, während das naturbelassene ätherische Öl ca. 150 Inhaltsstoffe hat.

Künstliche Öle

Künstliche Öle besitzen kein natürliches Gegenstück und werden gezielt auf bestimmte Geruchseigenschaften hin entworfen. Da sie sich als fettlösliche Substanzen im Fettgewebe des Organismus anreichern können und zudem hormonähnliche Wirkungen besitzen können, ist die gesundheitliche Wirkung künstlicher Öle teilweise umstritten.

Markt

Der weltweite Markt für insgesamt rund 120 verschiedene ätherische Öle wird auf über 600 Mio. € geschätzt, die Nachfrage ist relativ stabil bei 50.000 bis 60.000 Tonnen pro Jahr, davon rund ein Drittel Zitrusöle. Mehr als 50% der Menge auf dem Weltmarkt stammt aus China. In Deutschland werden kaum ätherische Öle produziert, da die wenigsten Ursprungspflanzen für die Öle in heimischem Anbau gedeihen. Wegen der sehr energieintensiven Destillation sind die Energiekosten ein weiterer Standortnachteil. Die Produktion in Deutschland ist lediglich bei Kamille und Zitronenmelisse wirtschaftlich.[1]

Literatur

- Johanna Graßmann, Renate Spitzenberger, Susanne Hippeli, Renate Vollmann, Erich F. Elstner: *Etherische Öle aus der Latschenkiefer*. In: *Naturwissenschaftliche Rundschau*. 58(3), 2005, S. 127–133, ISSN 0028-1050 [2]
- D. Gary Young: *Raindrop Technique*. Essential Science, 2003, ISBN 978-0943685366.
- Bettina Malle, Helge Schmickl: *Ätherische Öle selbst herstellen*. Verlag Die Werkstatt, Göttingen 2007, ISBN 978-3-89533-552-5.
- Karl-Georg Fahlbusch, Franz-Josef Hammerschmidt, Johannes Panten, Wilhelm Pickenhagen, Dietmar Schatkowski, Kurt Bauer, Dorothea Garbe, Horst Surburg: Flavors and Fragrances. S. 84. In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2005, Wiley-VCH, Weinheim. doi:10.1002/14356007.a11_141 [3].

Weblinks

- *Etherische Öle* auf umweltlexikon-online.de [4]

Referenzen

[1] meó Consulting Team, Faserinstitut Bremen, nova-Institut, 2007: Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe Teil II. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, S. 343. (pdf (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_281marktanalyse-ii-komplett.pdf)

- B -

Bagasse

Als **Bagasse** bezeichnet man die faserigen Überreste der Zuckerfabrikation aus Zuckerrohr und Sorghumhirsen. Es handelt sich entsprechend um ein Neben- oder Koppelprodukt, das beim Auspressen des Zuckersaftes aus den Pflanzen entsteht.



Zuckerrohr nach der Extraktion

Herstellung

Das geerntete Zuckerrohr wird in Zuckerrohrmühlen verarbeitet, indem der zuckerhaltige Saft aus den Pflanzen herausgepresst wird (Pressextraktion). In einigen Fabriken sind jedoch auch Diffuseure im Einsatz, die den Zucker mittels des Diffusionsprozesses extrahieren. Während der gewonnene Saft in Absetzer geleitet wird, wird die als Nebenprodukt zurückbleibende Bagasse auf Halden gefahren. Dabei fallen bei 100 Tonnen Zucker aus Zuckerrohr etwa 34 Tonnen Bagasse als Nebenprodukt an. Weltweit wurden 1995 60-70 Millionen Tonnen Bagasse produziert.



Bagassehalden bei einer Zuckerrohrmühle in Proserpine, Queensland

Nutzung

Bagasse besteht zu 40 bis 60% aus Cellulose, zu 20 bis 30% aus Hemicellulosen und zu etwa 20% aus Lignin. Es kann energetisch als Festbrennstoff genutzt werden; dies erfolgt in der Regel direkt in der Zuckerproduktion zur Eigenversorgung mit Elektrizität und Wärme. Durch eine entsprechende Behandlung zur Entfernung des Lignin und eine nachfolgende Mischung mit Zuckerrohrmelasse und eiweißhaltigen Futtermitteln kann mit Bagasse auch Vieh gefüttert werden.

Stofflich wird Bagasse vor allem in der Zellstoffindustrie genutzt, und zwar zur Herstellung von Pappen (Verpackungsmaterial, Bagasseschalen) und Baumaterialien. Die enthaltenen Hemicellulosen, vor allem das aus dem C5-Zucker Xylose aufgebaute Polysaccharid Xylan kann chemisch-technisch und enzymatisch zur Gewinnung von Plattformchemikalien, vor allem Furfural und Laevulinsäure genutzt werden und ist entsprechend auch für eine Nutzung in der integrierten Bioraffinerie von Interesse.

Literatur

- Stichwort *Bagasse* In: Hans Zoebelein (Hrsg.): *Dictionary of Renewable Ressources.* 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim und New York 1996; Seite 20. ISBN 3-527-30114-3.

Bakterien

WARNUNG: Artikel konnte nicht gerendert werden – es wird nur Text ausgegeben.
Mögliche Ursachen des Problems sind: (a) Ein Bug in der PDF-Writer-Software (b) problematisches MediaWiki-Markup (c) eine zu breite Tabelle

Bakterien Cholera-Bakterien (Vibrio cholerae) (Sekundärelektronenmikroskopie). Typische Maße sind 2-3 Meter#Gebräuchliche EinheitenMikrometer Länge, 0,5 Mikrometer Dicke.Cholera-Bakterien (Vibrio cholerae) (Sekundärelektronenmikroskopie). Typische Maße sind 2-3 Meter#Gebräuchliche EinheitenMikrometer Länge, 0,5 Mikrometer Dicke.Systematik (Biologie)SystematikSystematik (Biologie)Klassifikation:LebewesenDomäne (Biologie)Domäne: Bakterien Nomenklatur (Biologie)Wissenschaftlicher Name Bacteria Stamm (Systematik)Stämme Auswahl: ChlamydiaeCyanobakterienCyanobacteriaChlorobienChlorobiPlanctomycetesProteobacteriaFirmicutesSpirochaetenSpirochaetesHelicobacter pylori, verursacht Magengeschwüre, (Sekundärelektronenmikroskopie) Die Bakterien (Bacteria) (Altgriechische Sprachegriechisch βακτήριον baktērion „Stäbchen“) bilden neben den Eukaryoten und Archaeen eine der drei grundlegenden Domäne (Biologie)Domänen, in die heute alle Lebewesen eingeteilt werden.Traditionell wird die Bezeichnung „Bakterien“ in der Mikrobiologie für alle mikroskopisch kleinen, meistens Einzellereinzelligen OrganismusOrganismen gebraucht, die keinen echten Zellkern besitzen und deshalb zu den Prokaryoten gehören. Hierzu zählen auch die Archaeen, die aber einer separaten Domäne zugeordnet werden. Zur Abgrenzung von den Archaeen spricht man manchmal auch von Eigentlichen Bakterien oder Echten Bakterien. Früher wurden sie zur Unterscheidung von den dann Archaebacteria genannten Archaeen mit wissenschaftlichem Namen auch Eubacteria genannt. Dies war eine unglückliche Benennung, da es auch eine Bakteriengattung Eubacterium gibt.Bakterien sind Prokaryoten, das bedeutet, ihre DesoxyribonukleinsäureDNA ist nicht in einem vom Cytoplasma durch eine Doppelmembran abgegrenzten Zellkern enthalten wie bei Eukaryoten, sondern bei ihnen liegt die DNA wie bei allen Prokaryoten frei im Cytoplasma, und zwar zusammengedrängt in einem engen Raum, dem Nucleoid (Kernäquivalent). Bakterien wurden erstmalig von Antoni van Leeuwenhoek mit Hilfe eines selbstgebauten Mikroskops in Gewässern und im menschlichen Speichel beobachtet und 1676 von ihm in Berichten an die Royal Society of London beschrieben. Über dreihundert Jahre nach der ersten Beschreibung von Bakterien und trotz unzähliger schon beschriebener und katalogisierter Arten ist nach heutigem Kenntnisstand anzunehmen, dass die große Mehrheit (ca. 95 bis 99 %) aller auf unserem Planeten existierenden Bakterienarten noch nicht näher bekannt ist und beschrieben wurde (Stand: 2006). Daher ist es nicht verwunderlich, dass immer wieder neue und aufregende Entdeckungen gemacht werden. So wurde im Jahr 1999 das größte bislang bekannte Bakterium entdeckt: Die so genannte Schwefelperle von Namibia, Thiomargarita namibiensis, ist mit einem Durchmesser von bis zu einem dreiviertel Millimeter ein bereits mit bloßem Auge sichtbares SchwefelbakterienSchwefelbakterium. Das Bakterium mit den wenigsten Genen ist Carsonella ruddii. Es besitzt nur 159.662 Basenpaare und 182 GeneBild der Wissenschaft, 1/2007, Seite 9.Eigenschaften Aufbau Schema einer BakterienzelleBakterien besitzen zumeist eine Zellwand, alle besitzen ZytoplasmaCytoplasma mit Cytoplasmamembran und Ribosomen. Die DesoxyribonukleinsäureDNA liegt als strangförmiges, in sich geschlossenes Molekül, als so genanntes

Bakterienchromosom, frei im Cytoplasma vor. Bei einigen Bakterien kommen auch zwei Bakterienchromosomen vor, beispielsweise bei Ralstonia eutropha Stamm H16. Häufig befindet sich im Cytoplasma weitere DNA in Form von kleineren, ebenfalls strangförmigen, in sich geschlossenen Molekülen, den Plasmiden, die unabhängig vom Bakterienchromosom vervielfältigt und bei der Fortpflanzung weitergegeben werden oder von einem Individuum auf ein anderes übertragen werden können. Das Genom des Darmbakteriums Escherichia coli besteht aus knapp 4,7 Millionen Basenpaaren, deren Sequenz vollständig bekannt ist. Das DNA-Molekül ist etwa 1,4 Millimeter lang, aber nur 2 Nanometer breit und enthält rund 4400 Gene. Trotz seiner Länge von mehr als dem Tausendfachen des Zelldurchmessers ist es auf einen Bereich von etwa der Hälfte des Zelldurchmessers (vermutlich hochgeordnet) zusammengeknäuelt (Nucleoid). Neben dem Genom von E. coli sind auch von einer großen Anzahl weiterer Bakteriengenome die Nukleinsäurebasen-Sequenzen vollständig bekannt (siehe Sequenzierte Organismen). Eine Besonderheit der Bakterien ist auch die RNA-Polymerase. Sie besitzen nur eine, die aus nur 5 Untereinheiten (α (2x), β, β' und ω) besteht. Die archaelle RNA-Polymerase besitzt 11-12 Untereinheiten und Eukaryoten besitzen mehrere RNA-Polymermasen, die aus bis 12 Untereinheiten bestehen. Erläuterungen zum Bakterien-Schema Es wird ein Längsschnitt eines Bakteriums schematisch dargestellt. Nicht alle dargestellten Strukturelemente sind immer und bei allen Bakterien vorhanden. Bei allen Bakterien sind immer vorhanden: ZellmembranCytoplasmamembran, ZytoplasmaCytoplasma, KernäquivalentNucleoid und Ribosomen.Thylakoide (dienen der Phototrophie) sind in sehr verschiedener Form bei allen phototrophen Bakterien vorhanden, mit Ausnahme der Chlorobien.Chlorosomen (dienen der Phototrophie) sind bei Chlorobien vorhanden.Soweit eine Zellwand vorhanden ist (bei weitaus den meisten Bakterien), ist sie bei Gram-Färbunggramnegativen Bakterien dünn, bei Gram-Färbunggrampositiven Bakterien dick.Gramnegative Bakterien besitzen außerhalb der Zellwand eine weitere Biomembran, die sog. Äußere Membran, die im Schema nicht dargestellt ist.Soweit FlagellumFlagellen (Geißeln) vorhanden sind, ist ihre Anzahl (1 bis viele) und ihre Anordnung je nach Bakterienart verschieden. Auch ihre Länge variiert. Sie sind immer wendelförmig.Soweit PilusPili vorhanden sind, ist ihre Anzahl (1 bis viele), Länge und Anordnung verschieden.Soweit eine GlykokalixSchleimhülle, Glykokalix außerhalb der Zellwand vorhanden ist, kann sie je nach Bakterienart und äußeren Bedingungen verschieden dick sein und aus verschiedenen Schleimstoffen bestehen.Soweit Plasmide vorhanden sind, ist ihre Anzahl unterschiedlich.Soweit VesikelGasvesikel vorhanden sind, ist ihre Größe und Anzahl je nach Bakterienart und äußeren Umständen verschieden.Lebensweise und VermehrungLebensweiseLebensweise und Stoffwechsel der Bakterien sind sehr unterschiedlich ausgeprägt. So gibt es Bakterien, die Sauerstoff benötigen (aerobe Bakterien oder Aerobier), Bakterien, für die Sauerstoff Gift ist (obligat anaerobe Bakterien oder obligate Anaerobier), und Bakterien, die tolerant gegenüber Sauerstoff sind (fakultative Anaerobier). Einige Bakterien sind zur Photosynthese fähig, also Phototrophiephototroph, zum Beispiel die früher auch Blaualgen genannten Cyanobakterien, die meisten sind dagegen Chemotrophiechemotroph. Von den Chemotrophen sind die meisten Heterotrophieheterotroph, einige jedoch Autotrophiechemoautotroph, und zwar Autotrophielithoautotroph. Manche Bakterien (z.B. Bacillus) bilden Dauerstadien (Sporen) aus, in denen der komplette Stoffwechsel zum Erliegen kommt. In diesem Zustand können die Bakterien für sie ungünstige – auch extreme – Umweltbedingungen überstehen und mehrere Jahre überdauern. Andere Bakteriengattungen haben eine andere Strategie entwickelt und ihren Stoffwechsel direkt an extreme Umweltbedingungen angepasst. Sie werden als Extremophile bezeichnet.Die meisten Bakterien leben in der Natur in Form von Biofilmen zusammen. VermehrungDie Vermehrung der Bakterien erfolgt asexuell durch Zellteilung. Das kann durch Querteilung (besonders bei zylindrischen Bakterien), durch Knospung, durch Sporenbildung oder auf andere Weise geschehen. Alle Nachkommen weisen ein identisches Genom auf und bilden daher einen KlonenKlon. GentransferBei einer Konjugation (Biologie)Konjugation können Bakterien mit Hilfe sogenannter PilusSexpili (Proteinröhren) DNA untereinander austauschen (horizontaler Gentransferhorizontaler und vertikaler Gentransfer). Mittels der Sexpili können sich die Zellen annähern und dann über eine Plasmabrücke DNA (das Bakterien-„Chromosom“ ganz oder teilweise sowie Plasmide) von einer Zelle zur anderen übertragen. Da die Pili nicht direkt an der DNA-Übertragung beteiligt sind, kann diese auch ohne Pili erfolgen, wenn sich zwei Bakterienzellen eng aneinander legen. Dieser Gentransfer wird vor allem von Gram-negativen Bakterien praktiziert. Bei Gram-positiven Bakterien herrscht vor

allem der Mechanismus der Transduktion (Genetik)Transduktion vor. Hierbei werden Bakteriophagen als Vektor (Biologie)Vektor benutzt. Transformation (Genetik)Transformation, die Aufnahme von nackter DNA, ist dagegen kaum verbreitet. Bewegung Bakterien bewegen sich meist frei im Flüssigmedium schwimmend durch FlagellumFlagellen, auch als Geißeln bezeichnet, die anders als die FlagellumGeißeln der Eukaryoten (z. B. Protisten) nicht nach dem „9+2-Muster“ aufgebaut sind, sondern aus einem langen, wendelförmigen, etwa 15 bis 20 nm dicken Proteinfaden bestehen. Zudem wirken die Flagellen der Bakterien nicht antreibend durch Formveränderung wie die Geißeln der Eukaryoten, sondern sie werden wie ein Propeller gedreht. Die Drehbewegung wird an einer komplizierten Basalstruktur durch einen Protonenstrom erzeugt, ähnlich wie bei einer Turbine, die durch einen Flüssigkeits- oder Gasstrom angetrieben wird. Dazu ist ein Protonenkonzentrationsgefälle erforderlich. Spirochaeten bewegen sich dadurch, dass sie sich um sich selbst drehen und dank ihrer wendelförmigen Körper sich gewissermaßen durch das umgebende Medium schrauben. Einige Bakterien bewegen sich nicht freischwimmend, sondern durch Kriechen, zum Beispiel Myxobakterien und einige Cyanobakterien. Verschiedene Umweltfaktoren können die Bewegungsrichtung der Bakterien beeinflussen. Diese Reaktionen werden als Phototaxis, Chemotaxis (Chemotaxis gegenüber Sauerstoff: Aerotaxis), Mechanotaxis und Magnetotaxis bezeichnet. Endosymbiontenhypothese Aufgrund biochemischer Untersuchungen nimmt man heute an, dass einige Organellen, die in den Zellen vieler Eukaryoten vorkommen, ursprünglich eigenständige Bakterien waren (Endosymbiontentheorie); dies betrifft die Chloroplasten und die MitochondriumMitochondrien. Diese Organellen zeichnen sich durch eine Doppelmembran aus und enthalten eine eigene zirkuläre DNA, auf der je nach Art 5 bis 62 Gene enthalten sein können. Belege dafür sind die Ergebnisse der rRNA-Sequenzierung und die Organellproteine, die eine stärkere Homologie zu den Bakterienproteinen ausweisen, als zu den Eukaryoten. Die Codons von Mitochondrion und Chloroplast ähneln der Codon Usage der Bacteria ebenfalls mehr. Bedeutung Ökologische Bedeutung Unverzichtbar für bedeutende geochemische Stoffkreisläufe sind viele Bodenbakterien, die als Destruenten wirken beziehungsweise Nährsalze für die Pflanzen verfügbar machen. Eine große Gruppe von Bakterien bilden die so genannten Cyanobakterien, die früher etwas irreführend auch als Blaualgen bezeichnet wurden. Da sie Prokaryonten sind, gehören sie nicht zu den Algen. Sie betreiben Photosynthese und sind entsprechend unabhängig von organischer Nahrung, brauchen jedoch Licht zur Energieversorgung. Gemeinsam mit den Grünalgen (Chlorophyta) und anderen Algengruppen bilden sie das PlanktonPhytoplankton der Meere und SüßwasserSüßgewässer und so die Nahrungsgrundlage vieler Ökosysteme. Spezielle Bakterien kommen als Symbionten im Darm oder in anderen Organen vieler Lebewesen vor und wirken bei der Verdauung und weiteren physiologischen Vorgängen mit. Escherichia coli und Enterokokken sind die bekanntesten Vertreter dieser Gruppe. Aber auch anaerobe Bifidobakterien gehören dazu.Medizinische Bedeutung Bakterien spielen im menschlichen Körper eine große Rolle. So leben im menschlichen Darm eine Vielzahl von Bakterien, die zusammen die verdauungsfördernde Darmflora bilden. Die Haut des gesunden Menschen ist von harmlosen Bakterien besiedelt, die die Hautflora bilden. Besonders hohe Bakterienzahlen finden sich auf den Zähnen. Bakterien können aber auch als Krankheitserreger wirken. Einige Bakterien verursachen eitrige Wundentzündungen (Infektionen), Sepsis (Blutvergiftung) oder die Entzündung von Organen (z. B. Blasen- oder Lungenentzündung). Um diesen Erkrankungen vorzubeugen, wurden von der Hygiene, einem Fachgebiet der Medizin, zwei Methoden zum Kampf gegen Bakterien entwickelt: Sterilisation ist ein Verfahren, mit dessen Hilfe medizinische Geräte und Materialien keimfrei gemacht werden. Desinfektion ist ein Verfahren, um die Zahl von Bakterien auf der Haut oder Gegenständen stark zu vermindern (z. B. mit Händedesinfektionsmitteln). Sind die Bakterien einmal in den Körper eingedrungen und haben eine Infektion ausgelöst, stellen heute die Antibiotika ein wirksames Mittel gegen Bakterien dar; zum Beispiel Penicilline, die durch Pilze der Gattung Penicillium gebildet werden. Penicillin stört die Synthese der Bakterien-Zellwand, daher wirkt es nur gegen wachsende Bakterien. Allerdings sind viele Antibiotika im Laufe der Zeit gegen bestimmte Bakterien unwirksam geworden. Deshalb werden Bakterien in mikrobiologischen Laboratorien untersucht und ein Resistenztest durchgeführt. Bei der Behandlung mit Antibiotika muss beachtet werden, dass nicht nur pathogene (krankmachende) Bakterien, sondern auch Mutualismus (Biologie)mutualistische (nützliche) Bakterien durch das Medikament gestört bzw. getötet werden können. Dies kann soweit führen, dass

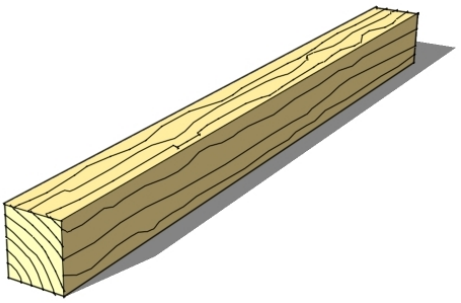
zunächst in geringer Zahl im Darm lebende Bakterien der Art Clostridium difficile, die von Natur aus gegen viele Antibiotika resistent sind, die Oberhand im Darm gewinnen und schwere Durchfälle auslösen.Eine Resistenz gegen Antibiotika kann naturgegeben oder die Folge einer Mutation sein. Um das zu beweisen, entwickelten die Biologen Max Delbrück (Biophysiker)Max Delbrück und Salvador Edward Luria den Fluktuationstest. Eine ältere Methode der Ärzte beim Kampf gegen bakterielle Infektionen stellt die Operation (Medizin)Operation mit Eröffnung und Säuberung des Eiterherdes dar, gemäß dem uralten lateinischen Chirurgenspruch: „Ubi pus, ibi evacua“ zu deutsch: „Wo Eiter ist, dort entleere ihn.“ Bei großen Eiterherden ist diese Methode in Verbindung mit der Gabe von Antibiotika viel wirksamer, als nur der Einsatz von Antibiotika allein. Bakterien auf und im Menschen Im MundfloraMund eines Menschen leben insgesamt etwa 1010 Bakterien. Auf der menschlichen Haut befinden sich bei durchschnittlicher Hygiene etwa hundertmal so viele Bakterien, nämlich insgesamt etwa eine Billion, allerdings sehr unterschiedlich verteilt: an den Armen sind es nur wenige tausend, in fettigeren Regionen wie der Stirn schon einige Millionen und in feuchten Regionen wie den Achseln mehrere Milliarden pro Quadratzentimeter. Dort ernähren sie sich von rund zehn Milliarden Hautschuppen, die täglich abgegeben werden, und von Mineralstoffen und Lipiden, die aus den Hautporen abgeschieden werden. 99 % aller im und am menschlichen Körper lebenden Mikroorganismen, nämlich mehr als 1014 mit mindestens 400 verschiedenen Arten, darunter vorwiegend Bakterien, leben im Verdauungstrakt, vor allem im Dickdarm und bilden die sog. Darmflora. Ein Mensch besteht aus etwa 10 Billionen (1013) Zellen, auf und in ihm befinden sich somit etwa zehnmal so viele Bakterien.Dorion Sagan, Lynn Margulis: Garden of Microbial Delights: A Practical Guide to the Subvisible World. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa 1993Biotechnologische Bedeutung Die Fähigkeit einer großen Anzahl von Bakterien, für den Menschen wichtige Stoffe wie Antibiotika und Enzyme zu produzieren, wird in der Biotechnologie vielfältig genutzt. Neben klassischen Verfahren in der Nahrungsmittel- und Chemikalienproduktion (Weiße Biotechnologie; vor allem Bioethanol, Essigsäure, Milchsäure, Aceton) gehört auch die Nutzung ihrer Fähigkeiten zur Beseitigung problematischer Abfälle sowie zur Produktion von Medikamenten (vor allem AntibiotikumAntibiotika, Insulin) hierher. Dabei spielen vor allem Escherichia coli sowie diverse Arten von ClostridiumClostridien, Corynebacterium, Lactobacillus, Acetobacter und eine Vielzahl weiterer Bakterien eine Rolle, in dem man sich ihren Stoffwechsel gezielt nutzbar macht.Häufig werden zu diesem Zweck nützliche Teile des Genoms bestimmter Bakterien in das Genom einfach zu haltender, einfach zu kultivierender und weitgehend ungefährlicher Bakterien wie Escherichia coli eingepflanzt (Genetic Engeneering).Klassifikation Hauptartikel: Systematik der BakterienPhylogenetisches System Phylogenetischer Stammbaum der Bakterien, welcher sich aus dem Vergleich der Basensequenz der 16S-rRNA ergibt Eine Phylogenetikphylogenetische Klassifikation anhand morphologischer und stoffwechselphysiologischer Merkmale ist bei den Bakterien in der Regel nicht möglich, sie muss auf der Basis der molekularen Struktur dieser Organismen aufgebaut werden. Die Klassifizierung erfolgt hauptsächlich mit Hilfe phylogenetischer Marker. Solche Marker sind zelluläre Makromoleküle, deren Zusammensetzung sich mit abnehmendem Verwandtschaftsgrad verschiedener Organismen immer mehr unterscheidet. Zu den wichtigsten Molekülen dieser Art zählt derzeit die 16S-Untereinheit der Ribosomale RNAribosomalen RNA. Die DNA-SequenzBasensequenz dieser RNA soll die tatsächlichen evolutionären Beziehungen unter den Organismen widerspiegeln. Das derzeit von den meisten Bakteriologen akzeptierte phylogenetische System der Bakterien ist beschrieben in Taxonomic Outline of the Bacteria and Archaea George M. Garrity, Timothy G. Lilburn, James R. Cole, Scott H. Harrison, Jean Euzéby, Brian J. Tindall: Taxonomic Outline of the Bacteria and Archaea. Release 7.7, March 6, 2007, Michigan State University Board of Trustees, www.taxonomicoutline.org, das gleichzeitig eine Klassifikation der Archaeen vornimmt. Nachstehend wird dieses System, beschränkt auf die Bakterien im eigentlichen Sinne (Domäne Bacteria) bis auf Ordnungsebene wiedergegeben.Phylum (Stamm)KlasseOrdnung Aquificae Aquificae Aquificales Thermotogae Thermotogae Thermotogales Thermodesulfobacteria Thermodesulfobacteria Thermodesulfobacteriales Deinococcus-Thermus DeinococciDeinococcalesThermales Chrysiogenetes Chrysiogenetes ChrysiogenalesChloroflexiChloroflexiChloroflexalesHerpetosiphonales Anaerolineae AnaerolinealesCaldilineales Thermomicrobia Thermomicrobia Thermomicrobiales Nitrospira Nitrospira Nitrospirales Deferribacteres Deferribacteres DeferribacteralesCyanobacteria Cyanobacteria Subsectionen I - V Chlorobi Chlorobia

ChlorobialesProteobacteriaAlphaproteobacteriaRhodospirillalesKordiimonadalesRickettsialesRhodobacteralesSphingomonadalesCau (3 Unterordn.) Epsilonproteobacteria CampylobacteralesNautialesFirmicutesClostridiaClostridialesThermoanaerobacterialesHaloanaerobialesMollicutesMycoplasmatale Incertae sedis BacilliBacillalesLactobacillalesActinobacteria Actinobacteria AcidimicrobialesRubrobacteralesCoriobacterialesSphaerobacteralesActinomycetales (viele Unterordn.) Bifidobacteriales Planctomycetes Planctomycetacia Planctomycetales Chlamydiae Chlamydiae Chlamydiales Spirochaetes Spirochaetes Spirochaetales Fibrobacteres Fibrobacteres Fibrobacterales Acidobacteria Acidobacteria AcidobacterialesBacteroidetes Bacteroidetes Bacteroidales Flavobacteria Flavobacteriales Sphingobacteria Sphingobacteriales Fusobacteria Fusobacteria Fusobacteriales Verrucomicrobia Verrucomicrobiae Verrucomicrobiales Dictyoglomi Dictyoglomi Dictyoglomales Gemmatimonadetes Gemmatimonadetes Gemmatimonadales Lentisphaerae Lentisphaerae LentisphaeralesVictivallalesDie Vielfalt bakterieller Lebensformen ist aber deutlich größer als dieses System repräsentiert. Basierend auf den bis heute bekannten 16S-rRNA-Sequenzen vermutet man mehr als 50 verschiedene Bakterien-PhylumPhyla. Die Existenz dieser Phyla wird anhand großer, in Umweltproben immer wieder auftauchender Gruppen bestimmter rRNA-Sequenzen vorhergesagt, jedoch konnte bisher kein Bakterium aus diesen Phyla kultiviert werden. "Klassische" Systeme Bevor man phylogenetisch begründete Systeme aufstellen konnte, war man auf Merkmale angewiesen, die kaum die Feststellung von natürlichen, phylogenetischen Verwandtschaften ermöglichten. Heute gebräuchliche molekularbiologische Merkmale, die zur Ermittlung phylogenetischer Verwandtschaften erforderlich sind, konnten mit den damals zur Verfügung stehenden Methoden nicht ermittelt werden. Das folgende System ist ein Beispiel für veraltete ("klassische") Systeme Hans Fitting, Walter Schumacher, Richard Harder, Franz Firbas: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen - Begründet von E. Strasburger, F. Noll, H. Schenk und A. F. W. Schimper. 25. Auflage. Piscator, Stuttgart 1951, S. 295-301 . Die Prokaryoten ("Schizophyta") bildeten darin eine Abteilung der Pflanzen. Abteilung Schizophyta ("Spaltpflanzen", umfasste alle Prokaryoten = "Anucleobionta") Klasse Bacteria (Bakterien = "Spaltpilze") Ordnung Eubacteriales (einzellige unverzweigte Bakterien) Familie Coccaceae (Kugelbakterien) Familie Bacteriaceae (stäbchenförmige Bakterien ohne Sporen) Familie Bacillaceae (stäbchenförmige Bakterien mit Sporen) Familie Spirillaceae ("Schraubenbakterien", wendelförmig) Ordnung Chlamydobacteriales (Fadenbakterien in Röhren "Scheiden") Ordnung Mycobacteriales (stäbchenförmige Bakterien mit Verzweigungen, mycelbildende Bakterien "Strahlenpilze) Ordnung Myxobacteriales ("Schleimbakterien", einzellige, schwarmbildende Bakterien) Ordnung Spirochaetales (flexible, wendelförmige Bakterien mit aktiver Formveränderung) Klasse Cyanophyceae ("Blaugrüne Algen", "Spaltalgen") Ordnung Chroococcales (einzellig, ohne Sporen) Ordnung Chamaesiphonales (einzellig oder fadenförmig, mit Sporen) Ordnung Hormogonales (fadenförmig, mit Hormogonien, häufig Heterocysten) Praktische Unterteilung Kokken - Spirillen - Bazillen Aus praktischen Gründen werden Bakterien bisweilen in Anlehnung an die früheren "klassischen" Systeme nach ihrer Form und ihrer Organisation unterteilt. Dabei werden kugelige Bakterien als Kokken, längliche, zylindrische Bakterien als Bazillen und spiralige, wendelförmige Bakterien als Spirillen oder Spirochäten bezeichnet. Diese Grundformen können einzeln auftreten oder sich zu typischen Formen zusammenfinden (Haufenkokken = Staphylokokken, Kettenkokken = Streptokokken, Doppelkokken = Diplokokken). Des Weiteren bilden vor allem Stäbchenbakterien häufig, Spirillen immer eine oder mehrere FlagellumGeißeln, so genannte Flagellen, aus, mit deren Hilfe sie sich fortbewegen können. Anzahl und Anordnung der Geißeln sind Unterscheidungsmerkmale. Einige Bakterien bilden Schleimhüllen, „Kapseln“, aus, einige verschiedenartige Sporen. Weiterhin wichtig für die Unterteilung ist die Lebensweise, besonders der Stoffwechseltyp, sowie die Möglichkeit, die Bakterien auf bestimmte Weise zu färben. Die so genannte Gramfärbung (eingeführt vom dänischen Bakteriologen Gram) lässt Rückschlüsse auf die Zusammensetzung und Struktur der Zellwand zu; die so genannten grampositiven Bakterien bilden wahrscheinlich sogar eine natürliche Verwandtschaftsgruppe, ein Kladistikmonophyletisches Taxon. Serologisch unterscheidbare Variationen von Bakterien nennt man Serotypen. Literatur Bücher Karl Bernhard Lehmann & Rudolf Otto Neumann: Atlas und Grundriss der Bakteriologie und Lehrbuch der speciellen bakteriologischen Diagnostik. München: Lehmann, 1896 Martin Dworkin, Stanley Falkow, Eugene Rosenberg, Karl-Heinz Schleifer, Erko Stackebrandt (Hrsg.) The

Prokaryotes, A Handbook of the Biology of Bacteria. 7 Bände, 3. Auflage, Springer-Verlag, New York u. a. O., 2006, ISBN 0-387-30740-0 Joseph W. Lengeler, Gerhart Drews, Hans G. Schlegel (Hrsg.) Biology of the Prokaryotes. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1999, ISBN 3-13-108411-1 Michael T. Madigan, John M. Martinko, Paul V. Dunlop, David P. Clark: Brock – Biology of microorganisms, 12. Ed. (Pearson International Edition), Pearson, Benjamin Cummings, Pearson Education, Inc., San Francisco u. a. O. 2009, ISBN 978-0321-53615-0 - umfangreiches Lehrbuch Michael T. Madigan, John M. Martinko: Brock – Mikrobiologie, 11. überarbeitete Auflage, Pearson Studium, München 2006, ISBN 3-8273-7187-2 – Übersetzung von Brock – Biology of microorganisms 11. ed. ins DeutscheAufsätze Herbert Zuber: Thermophile Bakterien. In: Chemie in unserer Zeit. Bd. 13, Nr. 6, 1979, S. 165-175, ISSN 0009-2851. Birgit Sattler, Hans Puxbaum, Roland Psenner: Bakterien der Lüfte: Vom Winde verweht. In: Biologie in unserer Zeit. Bd. 32, Nr. 1, 2002, S. 42-49, ISSN 0045-205X. Silke Wendler: Das Cytoskelett der Bakterien. In: Biologie in unserer Zeit. Bd. 32, Nr. 1, 2002, S. 6, ISSN 0045-205X. Hans-Curt Fleming, Jost Wingender: Biofilme - die bevorzugte Lebensform der Bakterien: Flocken, Filme und Schlämme. In: Biologie in unserer Zeit. Bd. 31, Nr. 3, 2001, S. 169-180, ISSN 0045-205X.Weblinks Unterschied zwischen Bakterium und Virus The Prokaryotes; an evolving electronic resource for the microbiological community TOBA, das System der Bakterien und Archaeen, Stand März 2007 Liste der gültig veröffentlichten Bakterien-Namen Bakterien im Darm Atlas mit Bildern von Kulturen medizinisch relevanter Bakterien International Code of Nomenclature of Bacteria (1990 revision)

Bauholz

Bauholz ist Holz, das als Baustoff zur Errichtung von Gebäuden und anderen Bauwerken verwendet wird. Je nach Form und Verarbeitungsgrad wird zwischen verschiedenen Bauholzprodukten unterschieden, die in die Kategorien Vollholz, Brettschichtholz und Holzwerkstoff eingeordnet werden. Verschiedene Normen definieren Qualitätsansprüche und Eigenschaften, welche die Bauholzprodukte, je nach Verwendung, erfüllen müssen.



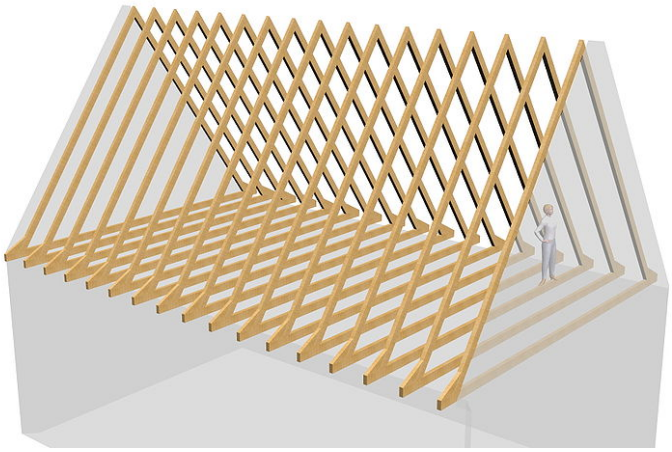
Bauschnittholz: Kantholz

Hochwertigere Qualitätsklassen werden teilweise als sogenanntes Konstruktionsvollholz vom Bauholz unterschieden.

Eigenschaften

(siehe auch Artikel Holz)

Holz eignet sich aus vielen Gründen gut als Baumaterial, z. B. wegen der geringen Dichte bei zugleich hoher Steifigkeit, der guten Verarbeitbarkeit, der Beständigkeit (Dauerhaftigkeit), Tragfähigkeit etc.. Diese Eigenschaften hängen stark von der Holzart, dem verwendeten Holzanteilen (Kernholz, Splintholz), der Verarbeitung, dem Holzschutz und vielen anderen Faktoren ab.



Typische Anwendung von Bauholz: Sparrendach mit Holzbalkendecke

Verschiedene Normen tragen dazu bei, bestimmte Qualitäten beim Bauholz sicherzustellen. In Deutschland sind z. B. nach der DIN 1052 nur bestimmte Holzarten zur Verwendung für tragende Zwecke zugelassen:

- Nadelhölzer: Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche, Douglasie, Western Hemlock, Southern Pine und Yellow Cedar.
- Laubhölzer: Eiche, Buche, Teak, Keruing, Afzelia, Merbau, Angélique (Basralocus), Bongossi und Greenheart.

Die Verarbeitung von Bauholz im Bauwesen findet im Bereich des Rohbaus (Errichtung und Reparatur von Dachkonstruktionen, Bau bzw. Montage von Fertigteilhäusern, Reparatur und Neubau von Fachwerkhäusern, etc.) statt. Diese Tätigkeiten fallen in den Bereich der Zimmerleute.

Im Bauwesen werden weitere Holzprodukte verwendet, die jedoch nicht zum Bauholz im eigentlichen Sinne gehören. Dies sind z. B. Fenster, Türen oder Parkett. Auch im Betonbau wird vielfach Holz für Hilfskonstruktionen eingesetzt, z. B. als Schalungen, welches aber ebenfalls nicht zum Bauholz gezählt wird.

Vollholz

Als Vollholz werden Holzerzeugnisse bezeichnet, deren Querschnitte aus einem Baumstamm herausgearbeitet und eventuell spanabhebend (Bohren, Fräsen, Hobeln, etc.) weiterverarbeitet wurden. Das Gefüge des Holzes wird, anders als bei Brettschichtholz und Holzwerkstoffen, nicht mechanisch oder mechanisch-chemisch verändert.

Beim Vollholz wird zwischen *Rundholz* und *Schnittholz* unterschieden:

Baurundholz

(siehe auch Artikel Rundholz)

Baurundholz besteht aus entästeten, entrindeten oder rundgeschälten Baumstämmen bzw. Stammabschnitten, auch als Rundholz bezeichnet. Diese werden oft ohne weitere Verarbeitung als Pfahl/Pflock, etwa als Pfosten oder Stützen, Rammpfahl (Pilot), Masten, Palisaden, zum Bau von Spielplatzgeräten, sowie im Wasserbau z. B. als Dalben verwendet.

Qualitätsanforderungen für Baurundholz sind in der DIN 4074 Teil 2 *Bauholz für Holzbauteile; Gütebedingungen für Baurundholz. (Nadelholz)* definiert.



Baumstämme von Weißtannen aus Gersbach (Südschwarzwald) stützen auf der Expo 2000 das größte freitragende Holzdach der Welt

Bauschnittholz

(siehe Hauptartikel Schnittholz)

Bauschnittholz wird aus Rundholz durch Sägen parallel zur Stammachse hergestellt, hat eine Mindestdicke von 6 mm und in der Regel einen rechteckigen oder annähernd rechteckigen Querschnitt. Es kann scharfkantig sein (Schnittklasse S nach DIN 68365) oder Baumkanten haben (Schnittklassen A, B oder C).

Voraussetzung für die Verwendung als Bauschnittholz für tragende Zwecke, wie z. B. Dachstühle, ist die Sortierung nach der Tragfähigkeit gemäß DIN 4074 (Teil 1 für *Nadelschnittholz* bzw. Teil 5 für *Laubschnittholz*).[1] Die früher häufig angewendete Sortierung nach den Tegernseer Gebräuchen ist für Bauholz nicht mehr maßgeblich. Die DIN 4074 wurde als Produktnorm in die Bauregelliste aufgenommen und ist bauaufsichtlich eingeführt. Bauschnittholz für tragende Zwecke muss also zwingend den Sortierkriterien dieser Norm entsprechen. Als Konstruktionsvollholz wird Bauschnittholz bezeichnet, das gemäß einer Verbändevereinbarung gegenüber der DIN 4074 erhöhte Qualitätsanforderungen erfüllt.

Je nach Querschnittsform und Dimension wird Bauschnittholz in unterschiedliche Produktklassen unterteilt:

Kantholz

(siehe auch Artikel Kantholz)

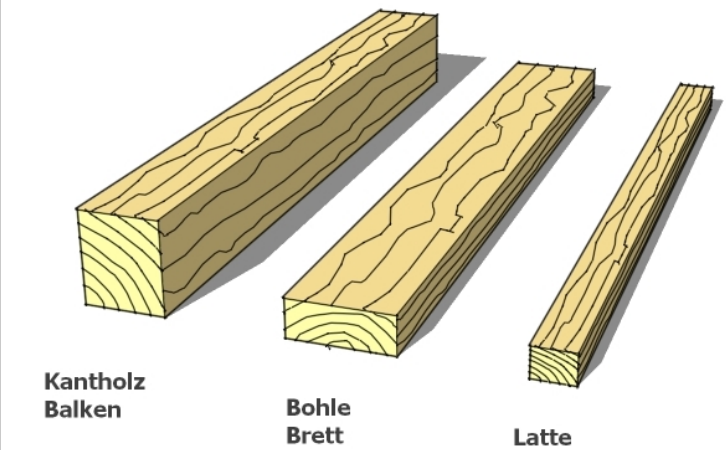
Als Kanthölzer bezeichnet man Bauholz, das durch Beschlagen (Formen des Kantholzes per Axt) oder Sägen mit vier im rechten Winkel zueinander stehenden Kanten versehen ist, welche die Querschnittsfläche ergeben. Kanthölzer werden sowohl im Bauwesen, als auch in der Möbeltischlerei eingesetzt. Sie dienen dort als Tischbeine, Verstrebungen, Lehnen und vieles andere. Als Bauschnittholz weisen Kanthölzer eine Mindestdicke von 4 cm nach DIN 4074 Bauschnittholz (bzw. 6 cm DIN 68252 für Handelsware allgemein) auf, wobei die Querschnittshöhe maximal das dreifache der Breite beträgt.

Wichtige Einsatzbereichze von Kanthölzern sind bzw. waren z. B. Dachsparren, Stützen und Fachwerk.

Balken

(siehe auch Artikel Balken)

Der *Balken* ist eine Sonderform des Kantholzes. Beim Balken misst die längere Seite des Querschnitts mindestens 20 cm. Häufig werden Balken zur Konstruktion von Holzbalkendecken verwendet.



Bohle

(siehe auch Artikel Bohle)

Als Bauschnittholz hat eine *Bohle* eine Dicke von mindestens 40 mm und eine Breite von mindestens der dreifachen Dicke.

Brett

(siehe Artikel Schnittholz)

Ein *Brett* hat eine maximale Dicke von 40 mm und eine Breite von mindestens 80 mm. Bretter zur Herstellung von Brettschichtholz können auch größere Dicken als 40 mm aufweisen.

Latte

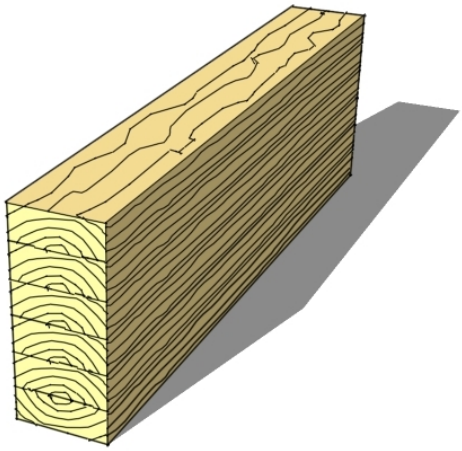
(siehe auch Artikel Schnittholz)

Eine *Latte* ist ebenfalls bis 40 mm dick, hat aber im Gegensatz zum Brett eine Breite von maximal 80 mm.

Brettschichtholz

(siehe Hauptartikel Brettschichtholz)

Mit Brettschichtholz können größere Dimensionen, freiere Formen und höhere Festigkeiten als mit Vollholz erreicht werden. Die naturgegebenen Beschränkungen der Abmessungen werden überwunden, und es können auch weit gespannte Ingenieurtragwerke (Holzingenieurbau) ausgeführt werden, die gegenüber Stahl- und Spannbeton wirtschaftlich und konstruktiv konkurrenzfähig sind.



Brettschichtholz

Holzwerkstoffe

(siehe Hauptartikel Holzwerkstoff)

Holzwerkstoffe sind Werkstoffe, die durch Zerkleinern von Holz und anschließendes Zusammenfügen der Strukturelemente erzeugt werden. Beispiele sind Sperrholz, Holzspanwerkstoffe (Spanplatten, OSB-Platten) oder Holzfaserwerkstoffe (Hartfaserplatten, MDF-Platten).

Normen

Für Bauholz sind verschieden Normen (DIN-Norm (DIN) und Europäische Norm (EN)) relevant:

- DIN 1052 (2008-12) *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau.*
- DIN 4074:
  - DIN 4074-1 (2003-06) *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadelschnittholz.*
  - DIN 4074-2 (1958-12) *Bauholz für Holzbauteile; Gütebedingungen für Baurundholz (Nadelholz).*
  - DIN 4074-5 (2003-06) *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 5: Laubschnittholz.*

  ist auch als ÖNORM DIN 4074-x für Österreich verbindlich
- DIN 68252-1 *Begriffe für Schnittholz, Form und Maße.*
- EN 338:2003 *Bauholz für Tragende Zwecke - Festigkeitsklassen*
- EN 1194:1999 *Holzbauwerke - Brettschichtholz - Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte*

  in den jeweiligen nationalen Übernahmen

Siehe auch

- Holzbearbeitung
- Nutzholz
- Massivholzbau

Weblinks

- Internetpräsenz eines Sachverständigenbüros für Holzschutz [2] mit umfassenden Hintergrundinfos zu Holz, Bauholz und relevanten Normen, wie z. B. Sortierklassen nach DIN 4074-1 [3]
- *Merkblatt: Holzsortimente und Vorzugsquerschnitte* [4], Informationen zu Eigenschaften von Bauholz und anderen Holzsortimenten
- Feuchteanforderungen an Bauholz aus verschiedenen Regelwerken [5]
- INFORMATIONSDIENST HOLZ "Baustoff Holz" [6]
- www.fragdenarchitekt.de: *Bauholz* [7], umfassende Informationen zu Bauholzmaßen und -eigenschaften nach DIN 4074 und anderen für Bauholz relevanten Normen

Referenzen

[1] www.holzfragen.de: *Sortierung von Bauschnittholz nach Tragfähigkeit - Sortierkriterien für Nadelholz und Laubholz nach DIN 4074-1 und -5* (http://www.holzfragen.de/seiten/din4047_sortierklassen.html), abgerufen am 16. März 2010

Baumwolle

Baumwolle	
	
Gossypium barbadense	
Systematik	
	Rosiden
	Eurosiden II
Ordnung:	Malvenartige (Malvales)
Familie:	Malvengewächse (Malvaceae)
Unterfamilie:	Malvoideae
Gattung:	Baumwolle
Wissenschaftlicher Name	
Gossypium	
L.	

Die **Baumwollpflanze** oder **Baumwolle** ist eine Gattung aus der Familie der Malvengewächse (Malvaceae). Aus den Samenhaaren der Sträucher wird die Naturfaser Baumwolle gewonnen.[1] Bei der Unterfamilie Malvoideae sind die vielen Staubblätter und der Stempel zu einer Röhre verwachsen, dem sogenannten Androgynophor. Baumwolle ist eine sehr alte Kulturpflanze. Ungewöhnlich ist, dass mindestens vier Bevölkerungsgruppen unabhängig voneinander diese Pflanzengattung in Kultur nahmen. Zweimal geschah dies in Amerika mit den Arten *Gossypium hirsutum* und *Gossypium barbadense* und je einmal in Asien (*Gossypium arboreum*) und Afrika (*Gossypium herbaceum*).[2]

Die Samen der Baumwollpflanze sind giftig, sie enthalten bis zu 1,5 % Gossypol.

Arten

Es gibt viele Wildarten, aber für den industriellen Anbau sind nur die Kulturbaumwollarten von Bedeutung. Das sind vier Arten, wobei zwei Arten aus der Alten Welt und zwei Arten aus der Neuen Welt stammen. Die beiden Altwelt-Arten sind *Gossypium (G.) herbaceum* L. und *G. arboreum* L., die beiden Neuwelt-Arten *G. hirsutum* L. und *G. barbadense* L. (Synonym *G. vitifolium* LAM.).

Altweltliche Baumwolle wie *G. herbaceum* und *G. arboreum* ist diploid, wohingegen neuweltliche Baumwolle wie *G. hirsutum* und *G. barbadense* tetraploid ist. Den größten und damit wichtigsten Anteil an der Baumwollgewinnung hat *G. hirsutum*. In der Textilindustrie und -verarbeitung unterscheidet man die Baumwolle primär nach ihrer Stapellänge (Faserlänge). Sekundär spielen auch Geruch, Farbe und Reinheit eine Rolle. Je länger eine Baumwollfaser ist, umso hochwertiger wird sie eingestuft. Nach der Stapellänge können die genannten vier Arten in drei Kategorien eingeteilt werden. Die beste Qualität liefert mit einer Stapellänge von > 32 mm *G. barbadense* (gebräuchliche Handelsnamen sind Ägyptische Mako-Baumwolle, Pima-Baumwolle und Sea-Island-Baumwolle), die etwa 8 % der Weltproduktion ausmacht. Es folgen mit einer Stapellänge von 25 bis 30 mm und einem Anteil von 90 % *G. hirsutum* (sog. Upland-Baumwolle) und *G. arboreum* und *G. herbaceum*, die eine kurze und grobe Faser (< 25 mm) liefern und etwa 2 % der Welterzeugung ausmachen.[3]

Botanik

Baumwolle wächst zweigestaltlich (dimorph): Während der Haupttrieb eine durchgehende (monopodiale), vegetative Achse bildet, kommt es an den Seitentrieben zur Blütenbildung. Die Seitentriebe sind außerdem sympodial, denn nach jeder Blüte stellt die alte Achse ihr Wachstum ein. Die neue Zweigachse wird von einer neben der Blüte auskeimenden Knospe übernommen.

Die Blüten stehen einzeln und sind zum Zeitpunkt der Öffnung hellgelb. Im verblüten Zustand wechselt ihre Farbe zu Pink. Aus befruchteten Blüten gehen fünfgeteilte Kapselfrüchte hervor, die bei Vollreife aufplatzen.

Problematisch für die Ernte ist die langgezogene Blütezeit, weil dadurch auch die Kapseln über einen Zeitraum von mehreren Wochen versetzt reifen. Überreife Baumwolle ist genauso wie unreife qualitativ minderwertig. Maschinelle Einmalernten sind daher immer ein Kompromiss aus überreif, reif und unreif. Die Handpflücke ist genauer, benötigt aber viele (günstige) Arbeitskräfte, da mehrere Durchgänge notwendig sind.



Dimorphes Wachstum der Baumwollpflanze



Unreife Kapsel



Reife, geöffnete Baumwollkapsel



Stadien der Baumwolle (v.l.): Knospe, Blütenöffnung, verblüht, zwei junge Fruchtstadien, Kapsel fast reif, Kapsel vollreif und geöffnet

Eigenschaften der Faser

Baumwolle	
Fasertyp	Naturfaser
Farbe	weiß-grau
Eigenschaften	
Faserlänge	15-56 mm [4]
Faserdurchmesser	12-35 µm []
Dichte	1,51 g/cm^3[]
Zugfestigkeit	287-800 MPa[]
Spezifische Zugfestigkeit	0,15-0,55 cN/tex (trocken) [5]
Elastizitätsmodul	4,5-11Gpa (trocken) [5]
Bruchdehnung	6-10 % (trocken) [5]
Elektrische Leitfähigkeit	107 Ωcm [5]
Wärmeleitfähigkeit	0,54 W/m*K [5]
Wasseraufnahme	8 % []

Baumwolle ist eine Naturfaser, die aus den Samenhaaren der Pflanzen der Gattung Baumwolle (*Gossypium*) gewonnen wird. Der Samen bildet als Verlängerung seiner Epidermis längere Haare die als Lint bezeichnet werden und, 3-5 Tage nach der Blüte, sehr kurze Haare, die Linter genannt werden. Nur die langen Fasern werden, meist zu dünnen Fäden gesponnen, für Textilien verwendet, während sich die Linter nur für Zelluloseprodukte eignen.[6]

Verglichen mit Kunstfasern ist Baumwolle sehr saugfähig und kann bis zu 65 % ihres Gewichtes an Wasser aufnehmen. Sind allerdings Gewebe aus Baumwolle einmal nass geworden, trocknen sie nur langsam. Zudem besitzt Baumwolle auch eine hohe Schmutz- und Ölaufnahmefähigkeit, ist aber auch in der Lage diese wieder abzugeben. Baumwollstoffe gelten als sehr hautfreundlich (sie „kratzen“ nicht) und haben ein äußerst geringes Allergiepotential. Diese Eigenschaften macht sie für die Textilindustrie interessant.

Die äußere Form der Baumwollfasern ist flach und verdreht und schleifenähnlich. Die Farben der Fasern variieren von Cremig-Weiß bis zu Schmutzig-Grau, abhängig vom Herstellungs- bzw. Aufbereitungsprozess.

Baumwolle ist nicht wasserlöslich und in feuchtem oder nassen Zustand reißfester als in trockenem. Die Festigkeiten und Steifigkeiten der Baumwollfaser sind geringer, als die der Bastfaser, wobei die Dehnfähigkeit deutlich höher ist. Die Fasern sind alkali- jedoch nicht säurebeständig. Baumwolle ist anfällig für den Befall durch Mikroorganismen, die Widerstandsfähigkeit gegenüber Motten und anderen Insekten ist jedoch recht hoch. Baumwolle ist leicht entflammbar, kann aber gekocht und sterilisiert werden.

Verwendung

→ *Hauptartikel: Baumwollfaser*



Der Hauptanwendungsbereich für Baumwolle ist eindeutig die Textilindustrie. Mit einem Mengenanteil von etwa 33 % an der weltweiten Produktion von Textilfasern (einschließlich anderen Naturfasern und Chemiefasern) und einem Mengenanteil von etwa 75 % an den Naturfasern ist Baumwolle die mit Abstand am häufigsten eingesetzte Naturfaser für Heim- und Bekleidungstextilien [7] [8] [9] . Außer in der Textilindustrie finden Baumwollfasern aber auch in vielen anderen Bereichen Verwendung, beispielsweise als Verbandsmaterial in der Medizin, bei Kosmetik und Hygiene als Watte oder Wattestäbchen.

Fischernetze, Seile und Taue bestehen häufig ganz oder teilweise aus Baumwollfasern, ebenso Zelte, Planen und Persennings. Früher wurden auch Feuerwehrschläuche aus Baumwolle gefertigt. Baumwolle findet bei der Herstellung von einigen Papiersorten, von Zellulose, Kaffeefiltern und Bucheinbänden Verwendung.

Baumwolle wird auch als Verstärkungsfaser für naturfaserverstärkte Kunststoffe eingesetzt. Haupteinsatzgebiet hierfür sind duroplastische Verbundwerkstoffe v.a. für LKW-Fahrerkabinen.[10] Durch ihre hohe Dehnfähigkeit ermöglicht die Beimischung von Baumwollfasern zu anderen Naturfasern eine deutliche Verbesserung der Schlagzähigkeit dieser Werkstoffe.

In Form von Nitrocellulose dient Baumwolle bei der Herstellung von Munition und Sprengstoff.

Das Öl aus den Baumwollsamen kann im raffinierten Zustand als Speiseöl oder Brennstoff genutzt werden und ist ein Grundstoff in der kosmetischen Industrie.

Der nach dem Auspressen des Öls verbleibende Ölkuchen dient häufig als eiweißreiches Viehfutter, wird jedoch aufgrund seines hohen Gossypolgehalts nur an ausgewachsene Wiederkäuer verfüttert. Die Samen können zu ca. 20 % Öl und 50 % Baumwollsamenkuchen gepresst werden. Schalen bilden den Rest.

Baumwollsamen galten in den USA früher auch als Hausmittel, um einen Schwangerschaftsabbruch herbeizuführen.

Etymologie

Der Name „Baumwolle“ leitet sich von den Büscheln langer Fasern in den Früchten der Baumwollpflanze ab, die die Ausbreitung der Pflanzensamen über größere Distanzen ermöglichen. Allerdings ist die Baumwollpflanze trotz des Namens kein Baum, sondern eine Staude. Viele Pflanzensamen tragen solche Samenhaare (auch Samenwolle), doch nur die der Baumwollpflanze werden zur Textilherstellung verwendet. Wie die tierischen Wollhaare dienen diese Pflanzenfasern als Grundlage zur Herstellung von Fäden und Stoffen.

Bestandteile und Verarbeitung

Bei der Aufarbeitung der Baumwolle gehen nur rund 10 % des Rohgewichtes verloren. Wenn die Wachs-, Eiweiß- und weiteren Pflanzenreste entfernt sind, bleibt ein natürliches Polymer aus Zellulose zurück. Im Gegensatz zu vielen anderen Naturfasern besitzt Baumwolle keine Lignin- oder Pektinbestandteile, und nur eine sehr geringe Menge an Hemizellulose von etwa 5,7 %[11] . Somit besteht die Baumwollfaser, neben der Wachsschicht, fast ausschließlich aus hochkristalliner Zellulose. Die besondere Anordnung der Zellulose gibt der Baumwolle eine hohe Reißfestigkeit. Jede Faser besteht aus 20–30 Lagen Zellulose in einer gedrehten Struktur. Wenn der Baumwollball – der Fruchtstand der Baumwollpflanze – geöffnet wird, trocknen die Fasern und verhaken sich untereinander. Diese Form wird für das Spinnen zu einem sehr feinen Garn verwendet.

Geschichte

Baumwolle wird seit Jahrtausenden zur Herstellung leichter Kleidung vor allem in tropisch-subtropischen Regionen verwendet. Einige Quellen behaupten, dass schon die Ägypter ca. 12.000 v. Chr. mit Baumwolle gearbeitet hätten. In Babylon wurde Baumwolle als Weißes Gold bezeichnet. In mexikanischen Höhlen wurden Baumwollkleider gefunden, die etwa 7.000 Jahre alt sind. Die älteste Aufzeichnung über Baumwolle stammt aus Indien. Sie wird hier seit mehr als 3000 Jahren angebaut und im *Rigveda* 1500 v. Chr. erwähnt. Tausend Jahre später schrieb der griechische Historiker Herodot über indische Baumwolle: „Es gibt wildwachsende Bäume, aus deren Frucht man eine Wolle gewinnen kann, die die Schönheit und Qualität der Schafwolle weit übertrifft. Die Inder machen aus dieser Baumwolle ihre Kleider“. Aber auch das erste chinesische Papier bestand aus Baumwollfasern.

In Indien wurden sehr frühzeitig verschiedene Kultursorten angebaut. Bereits im 16. Jahrhundert waren die indischen Regionen Bengalen, Punjab, Coromandel und Gujarat Zentren der Baumwollverarbeitung. Eine besondere Bedeutung kam Gujarat zu, dessen Baumwollprodukte über verschiedene Handelsrouten bis in die Zentren des Nahen Ostens gehandelt wurden. Um 1600 war Baumwolle dabei noch ein Luxusgut, das nicht weniger als Seide geschätzt wurde. Grund des hohen Wertes war der hohe Arbeitseinsatz bei der Verarbeitung. Arbeitsintensiv waren vor allem das Entfernen der Samenkapseln und das mühselige Kardieren der im Vergleich zu Wolle und Seide sehr kurzen Fasern. Um ein Pfund verarbeitungsfähige Baumwollfäden zu gewinnen, war ein Einsatz von 13 Arbeitstagen nötig. Für eine vergleichbare Menge an Seide zu gewinnen, waren dagegen nur sechs Arbeitstage notwendig, während man für Leinen zwei bis fünf und für Wolle ein bis zwei Tage brauchte. Vor 1750 waren englische Spinner nicht in der Lage, Baumwollfäden zu spinnen, die ausreichend fest genug waren, um reine Baumwollgewebe herzustellen. Reine Baumwollgewebe wurden nur in Indien hergestellt.[2]

Verbreitung der Baumwolle durch den europäischen Kolonialismus

Der Aufstieg der Britischen Ostindienkompie zu einer der großen Handelsorganisationen der frühen Neuzeit steht in engem Zusammenhang mit Baumwolle. Der sehr profitreiche Gewürzhandel war zu Beginn des 17. Jahrhunderts fest in Händen portugiesischer und holländischer Kaufleute. Die Britische Ostindien-Kompanie handelte deshalb vor allem mit persischer Seide, die über Karawanenrouten durch Syrien auf türkische Märkte gelangte. Dort wurde auch traditionell indisches Baumwollgewebe gehandelt und die britische Kompanie handelte zunehmend auch dieses Gewebe.[2]

Mit der Ausweitung des Fernhandels in der frühen Neuzeit verdrängte die Baumwolle auch in Nord- und Mitteleuropa zunehmend Leinen (Flachs) und Hanf für die meisten Anwendungsbereiche. Die indische Baumwollindustrie hatte ihre Glanzzeit während der britischen Industrierevolution nach der Erfindung der Spinning Jenny im Jahre 1764, einer frühen Spinnmaschine mit mehreren Spindeln, und des Waterframe von Arkwright, die seit 1769 die kostengünstige Massenproduktion im Vereinigten Königreich ermöglichte.

Im 20. Jahrhundert bekam die Baumwolle zunehmend Konkurrenz durch chemisch erzeugte Fasern. Insbesondere Polyesterfasern finden immer häufiger Verwendung: 2003/2004 wurden sie erstmals in größerer Menge verarbeitet als Baumwolle und drängten diese bei den Textilfasern somit auf den zweiten Rang ab.

Vereinigte Staaten



Afroamerikanische Sklaven beim Trocknen von Baumwolle (Edisto Island, South Carolina, ca. 1862/63)

Die Baumwollproduktion in den Südstaaten der USA profitierte von der Erfindung der Egreniermaschine („Cotton Gin“) im Jahr 1793. Langstapelige Sorten wie *Sea Island Cotton* waren dort in den Küstenregionen bereits vorher angebaut worden. Im hügeligen Binnenland gediehen dagegen nur kurzstapelige Sorten, die vor der Erfindung der Cotton Gin von den Sklaven nur für den persönlichen Bedarf angebaut worden waren, während ihr Anbau auf Plantagen bis dahin nicht profitabel gewesen wäre. Dies änderte sich am Ende des 18. Jahrhunderts, und bis ins 20. Jahrhundert hinein blieb kurzstapelige Baumwolle das wichtigste Exportgut des amerikanischen Südens, obwohl dort das Klima eigentlich etwas zu feucht und nicht heiß genug ist und es dadurch immer wieder zu Ernteausfällen durch Verrottung kam. Baumwolle wurde nun auch im Binnenland angebaut und verdrängte dort Tabak und Getreide. In der Dekade von 1790 bis 1800 stieg der jährliche Baumwollexport allein aus South Carolina von weniger als 10.000 auf mehr als 6 Mio. Pfund an. Die Sklaverei erreichte nach der Einführung des Baumwollanbaus eine größere Ausdehnung, als sie jemals zuvor – etwa beim Tabak- oder Reisanbau – erlangt hatte.[12]

Seine größte Ausdehnung fand der Baumwollanbau im Black Belt, einer Region, die sich im 19. Jahrhundert von North Carolina bis Louisiana erstreckte. In dem Zeitraum von 1812 bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts wuchs die Baumwollproduktion in dieser Region von weniger als 300.000 Ballen pro Jahr auf 4 Mio. Ballen an.[12]

Der Anbau der Baumwolle verlangte von den Sklaven während eines Großteil des Jahres beständige Arbeit und gewissenhafte Pflege. Frauen wurden auf den Plantagen ebenso wie Männer eingesetzt, die Pflanzer legten jedoch Wert auf junge Arbeitskräfte. Nach der Saat, die Ende März oder Anfang April erfolgte, mussten die Pflanzen laufend ausgedünnt und umgepflanzt werden, eine Tätigkeit, die die Sklaven fast den gesamten Sommer über in Anspruch nahm. Wenn diese Phase Ende Juli, Anfang August beendet war, setzten die Pflanzer ihre Sklaven vorübergehend auf Mais- und Erbsenfeldern ein. Im späten August begann das Baumwollpflücken, eine sehr eintönige und ermüdende Tätigkeit, die sich oftmals bis zum Ende des Jahres oder darüber hinaus hinzog. Unerfahrene Pflücker verletzten sich sehr leicht an den scharfkantigen Samenkapseln. Die letzten Arbeitsschritte waren das Trocknen, Entkernen und Verpacken der Baumwolle, die in Ballen ausgeliefert wurde; häufig folgten auch noch das Kämmen, Spinnen und Aufspulen.[12]

Anbau und Ökologie

Als Staudenpflanze ist Baumwolle von Natur aus mehrjährig. Als Kulturpflanze belässt man sie in der Regel nur für ein Jahr auf dem Feld um den höchsten Ernteertrag zu erzielen. Nach der Ernte bzw. nach einer Frostperiode werden die Pflanzen dann meist abgeschlegelt und zur Gründüngung in den Boden eingearbeitet. In brennstoffarmen Regionen dienen die abgestorbenen Sträucher auch als Feuerholz.

In der nördlichen Hemisphäre findet die Aussaat abhängig vom Standort zwischen Anfang Februar und Anfang Juni statt. Die Ernte erfolgt zwischen Oktober und Februar. Zwischen Aussaat und Ernte liegen rund acht bis neun Monate. Da die Baumwolle oft ungleichmäßig abreift, wird häufig mehrmals geerntet. Große Kulturflächen werden zumeist von Baumwollerntern maschinell abgeernet, bei kleinen Anbaufeldern und in weniger entwickelten Staaten erfolgt die Ernte oft noch mit der Hand. Manche Pflückmaschinen können nur laubfreie Pflanzen abernten, so muss entweder der erste Frost abgewartet oder chemische Entlaubungsmittel eingesetzt werden. Dies gilt insbesondere für die niedrig wachsenden windresistenten Sorten (*storm proof cotton*), die überwiegend in Texas angebaut werden. Handgeerntete Baumwolle ist fast immer von höherer Qualität als maschinell geerntete. Dies liegt daran, dass Vollernter auch unreife und überreife Kapseln erfassen, während per Hand nur die reifen Faserbüschel ausgezupft

werden.



Erntereife Baumwolle (September, Nordflorida)



Erntemaschine (Baumwollernter) im Einsatz



Maschinelle Ernte mit Baumwollernter und Module Builder in Texas



Baumwollproduktion in Mali

Baumwolle gedeiht gut auf schweren Böden. Sehr geeignet sind Vertisole. Sie ist bezüglich des Nährstoffgehaltes nicht sehr anspruchsvoll. Wichtig ist aber eine ausreichende Wasserversorgung (600 mm bis 1200 mm während der Wachstumsperiode). In niederschlagsarmen Gebieten sind die Baumwollkulturen daher von künstlicher Bewässerung abhängig.

Heute wird Baumwolle – als nachwachsender Rohstoff – auf allen fünf Kontinenten angebaut. Hierzu werden Baumwollpflanzen verwendet, die durch Züchtung mehr Fasern produzieren als die Wildpflanze. Transgene Baumwolle ist gentechnisch verbesserte Baumwolle, die die Schädlingsbekämpfung erleichtert.



Der Baumwollkapselkäfer (*Anthonomus grandis*) ist ein gefürchteter Baumwollschädling

Die lange Wachstumszeit der Baumwolle erfordert nach der Ente eine rasche Feldbestellung und Neuaussaat. Daher ist der Anbau von Zwischenfrüchten zur Verbesserung der Bodenqualität und zur Unterdrückung von Unkräutern kaum möglich. Besonders auf großen Flächen wird Baumwolle oft ohne Fruchtwechsel mit anderen Nutzpflanzen angebaut. Infolge dieser Monokulturen ist die großflächige Baumwollproduktion stark von Pflanzenschutzmitteln abhängig. Baumwolle gilt als das landwirtschaftliche Produkt mit dem höchsten Einsatz an Chemikalien. Auf Baumwolle entfallen etwa 25 % des weltweiten Insektizid- und 10 % des Pestizidmarktes.[13] Daher gilt sie unter Umweltschutzaspekten als sehr bedenklich. Auch der Wasserverbrauch ist als sehr problematisch anzusehen. Besonders bekannt wurde in diesem Zusammenhang der Aralsee, der seit den späten 1960er Jahren stark an Wasser verloren hat, da eine große Menge Wasser zu Bewässerungszwecken für den Baumwollanbau abgezweigt wird, bevor es den See erreichen kann. Dies führte zu einer weitreichenden Versalzung. Einige Baumwollbauern setzen auf ökologischen Anbau, so dass es heute auch Bio-Baumwollprodukte auf dem Markt gibt. Bio-Baumwolle hält mit ca. 60.000 t Weltproduktion einen Anteil von nur 0,2 % des Weltmarktes. [14]

Demgegenüber ist der kleinflächige Anbau von Baumwolle in Entwicklungsländern ein wesentlicher Bestandteil der jeweiligen Volkswirtschaften. Diese neben Mais als so genannte „Cash Crop“ angebaute Baumwolle hilft den einzelnen Bauern, ein Einkommen zu erwirtschaften. Gewöhnlich erfolgt dieser Anbau auf Flächen bis zu 2 ha ohne nennenswerten Einsatz von Agrarchemikalien und ohne jegliche künstliche Bewässerung, so dass die Ernteerträge vom Niederschlag abhängen. Da jedoch Baumwolle im Gegensatz zu Mais erheblich widerstandsfähiger gegen längere Dürreperioden ist, sichert der Baumwollanbau die Lebensgrundlage vieler Bauern in Entwicklungsländern.

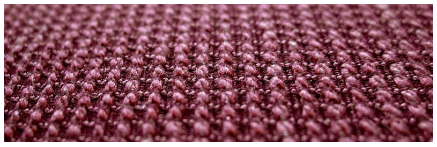
Die weltweit bedeutendsten Baumwollproduzenten sind die Volksrepublik China, Indien, die USA, und Pakistan. In Europa ist Griechenland das einzige Land mit einer nennenswerten Produktion (Platz 10 der Weltrangliste) – die Türkei wird hier zu den asiatischen Nationen gezählt, da die Hauptanbauflächen in Asien liegen.

Baumwolle und Klima

Baumwollanbau trägt insbesondere durch den hohen Verbrauch an Mineraldünger und Pestiziden erheblich zum weltweiten Kohlendioxid-Ausstoß bei. Durch die Herstellung eines Baumwoll-T-Shirts entstehen 7–9 kg CO_2.[15]

Produktionsvolumen 2008/2009

2008/2009 wurden weltweit insgesamt 24.574 tausend t Baumwolle produziert (nur Lint ohne Linter, s.o.), die sich wie folgt auf die verschiedenen Anbauregionen und Länder verteilen:



Verarbeitete Baumwolle als Sofabezug

Die größten Baumwollproduzenten (2008/09)[16]

Rang	Land	Produktion (in Tsd. t)	Anteil
1	China	7.947	32,34 %
2	Indien	5.443	22,15 %
3	USA	2.945	11,99 %
4	Pakistan	1.960	7,97 %
5	Brasilien	1.361	5,54 %
6	Usbekistan	1.110	4,52 %
7	Türkei	501	2,04 %
8	Australien	283	1,15 %
9	Turkmenistan	283	1,15 %
10	Griechenland	240	0,97 %
11	Syrien	207	0,84 %
12	Argentinien	201	0,82 %
13	Burkina Faso	185	0,75 %
14	Mexiko	148	0,60 %
15	Ägypten	125	0,51 %
	Sonstige	2	0,07 %
	Welt	24.574	100,00 %

Siehe auch

- Leipziger Baumwollspinnerei
- Baumwollsamenöl
- transgene Baumwolle

Literatur

- William Bernstein: *A Splendid Exchange − How Trade shaped the World*, Atlantic Books, London 2009, ISBN 978-1-84354-803-4
- Henry Hobhouse: *Sechs Pflanzen verändern die Welt. Chinarinde, Zuckerrohr, Tee, Baumwolle, Kartoffel, Kokastrauch.* Klett-Cotta, Hamburg 2001 (4. Aufl.), ISBN 3-608-91024-7
- K. J. Kooistra, R. Pyburn, A. J. Termorshuizen: *The sustainability of cotton. Consequences for man and environment*, Rapport 223. Science Shop Wageningen UR, Wageningen 2006, ISBN 90-8585-000-2 (englisch, auch als PDF [17])
- Wolfgang Mönninghoff: *King Cotton. Kulturgeschichte der Baumwolle.* Artemis und Winkler, Düsseldorf 2006 (1. Aufl.), ISBN 3-538-07232-9
- Katharina Paulitsch, Caroline Baedecker, Bernhard Burdick: *Am Beispiel Baumwolle: Flächennutzungskonkurrenz durch exportorientierte Landwirtschaft*. Wuppertal Paper Nr. 148 (September 2004), (Download PDF 1,4 MB [18])
- Érik Orsenna: *Weiße Plantagen. Eine Reise durch unsere globalisierte Welt.* Beck, München 2007 (1. Aufl.), ISBN 3-406-55917-4
- C. Wayne Smith, J. Tom Cothren: *Cotton: Origin, History, Technology, and Production*, Wiley 1999, ISBN 978-0-471-18045-6
- Christina Kleineidam, Hans Peter Jost Baumwolle weltweit/Cotton worldwide, Lars Müller Publishers 2010, ISBN 978-3-03778-200-2 Deutsch ISBN 978-3-03778-201-9 Englisch

Weblinks

- Informationsportal für Baumwolle [19]
- International Cotton Advisory Committee [20] (englisch) bietet Statistiken zur Baumwollproduktion u.A.
- Die Baumwolle - im Pfennig-Magazin Nr. 2 vom 11. Mai 1833 [21]

Referenzen

[1] R. F. Evert, K. Esau, S. E. Eichhorn: "Esau's Plant anatomy", John Wiley and Sons, 2006, ISBN 0471738433

[2] William Bernstein: *A Splendid Exchange − How Trade shaped the World*, Atlantic Books, London 2009, ISBN 978-1-84354-803-4.

[3] F. E. M. Gillham, T. M. Bell, T. Arin, G. A. Matthews, C. L. Rumeur, A. B. Hearn: "Cotton Production for the Next Decade", World Bank Technical Paper Number 287, The World Bank, 1995, ISBN 0-8213-3312-7

[4] Kim L. Pickering (Hrsg.): „Properties and performance of natural-fibre composites“, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2008, ISBN 978-1-84569-267-4

[5] W. Bobeth (Hrsg.): „Textile Faserstoffe“, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1993, ISBN 3-540-55697-4

[6] F. Denninger, E. Giese, H. Ostertag, A. Schenek: "Textil- und Modelexikon", Deutscher Fachverlag, 2008, ISBN 3871508489

[7] C. Hoffmeister, T. Schneider, J. Müssig, „Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe, Textilien“, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2006

[8] CIRFS (Comité International de la Rayonne et des Fibres Synthétiques): "World Man-Made Fibres Production", http://www.cirfs.org/frames_04.htm, Zugriff am 5. Mai 2009.

[9] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations): International Year of Natural Fibres, http://www.naturalfibres2009.org, Zugriff am 5. Mai 2009.

[10] Michael Karus, Sven Ortmann, Dominik Vogt: “Naturfasereinsatz in Verbundwerkstoffen in der deutschen Automobilproduktion 1996 bis 2003“, nova-Institut, 2004

[11] A. K. Mohanty, M. Misra,G. Hinrichsen: "Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview", Macromolecular Materials and Engineering, 2000, Ausgabe 276/277, S.1-24

[12] Ira Berlin: *Generations of Captivity: A History of African-American Slaves*, Cambridge, London: The Belknap Press of Harvard University Press, 2003, ISBN 0-674-01061-2.
[13] *Probleme im konventionellen Baumwollanbau* (http://www.pan-germany.net/baumwolle/de/hintergrund.htm)
[14] Öko-a-porter - der Markt für Bio-Baumwolle wächst (http://www.taz.de/1/zukunft/umwelt/artikel/1/oeko-a-porter/?type=98) *die tageszeitung*, 19. Februar 2009
[15] "Für jedes T-Shirt sieben Kilo CO2" (http://www.taz.de/1/zukunft/umwelt/artikel/1/\fuer-jedes-t-shirt-sieben-kilo-co2\/?type=98) *die tageszeitung*, 19. Februar 2009
[16] USDA (United States Department of Agriculture): Foreign Agricultural Service – Production, Supply and Distribution Online (http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx)

Baumwollfaser

Baumwollfaser	
Fasertyp	Naturfaser
Farbe	weiß-grau
Eigenschaften	
Faserlänge	15-56 mm [1]
Faserdurchmesser	12-35 µm []
Dichte	1,51 g/cm^3[]
Zugfestigkeit	287-800 MPa[]
Spezifische Zugfestigkeit	0,15-0,55 cN/tex (trocken) [2]
Elastizitätsmodul	4,5-11Gpa (trocken) [2]
Bruchdehnung	6-10 % (trocken) [2]
Elektrische Leitfähigkeit	107 Ωcm [2]
Wärmeleitfähigkeit	0,54 W/m*K [2]
Wasseraufnahme	8 % []

Die **Baumwollfaser** ist eine Naturfaser, die aus den Samenhaaren der Pflanzen der Gattung Baumwolle (*Gossypium*) gewonnen wird. In der Systematik der Naturfasern gehört die Baumwolle daher zu den Samenfasern. Der Samen der Baumwolle bildet als Verlängerung seiner Epidermis längere Haare die als Lint bezeichnet werden und, 3-5 Tage nach der Blüte, sehr kurze Haare, die Linter genannt werden. Nur die langen Fasern werden, meist zu dünnen Fäden gesponnen, für Textilien verwendet, während sich die Linter nur für Celluloseprodukte eignen.[3]

Entwicklung und Aufbau

Die Baumwollfaser besteht aus einer einzigen Zelle, deren Primärwand zunächst aus dem Samen der Baumwolle bis zur endgültigen Ausdehnung der Faser herauswächst. Diese wird dann von einer Sekundärwand gefüllt. An diese schließt sich eine Tertiärwand an und schließlich ein Hohlraum, das Lumen. Im Zellplasma wird in einem enzymatischen Komplex Cellulose durch die Aneinanderkettung von Glucose synthetisiert. Etwa 40-100 Cellulosemoleküle verbinden sich zu Elementarfibrillen. In diesen liegt die Cellulose in hochgeordneten Kristallgittern vor. Mehrere Elementarfibrillen, auch Micellen genannt, verbinden sich zu Mikrofibrillen und diese wiederum zu Makrofibrillen.

Der Aufbau der Primär-, Sekundär- und Tertiärwand unterscheidet sich stark. In der Sekundärwand ist der Cellulosegehalt am höchsten, während sich in der Primärwand, die wenige Zehntel Mikrometer dick ist, nur etwa 5 % des gesamten Cellulosegehaltes der Faser befinden. Sie besteht neben Cellulose hauptsächlich aus Pektinen und Wachsen[4] . In der Tertiärwand befindet sich wenig Cellulose und viele Verunreinigungen. Sie erfüllt praktisch die Funktion eines "Filters" der Faser. [5] [6] [7]

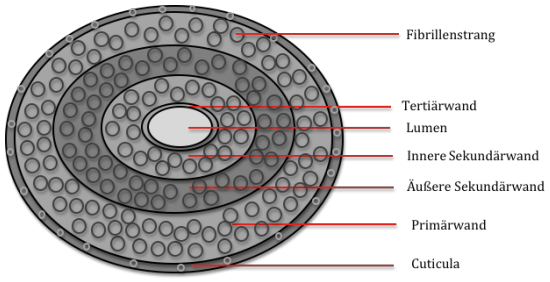
Die chemische Zusammensetzung der Primärwand, der gesamten Faser sowie vorkommender Verunreinigungen wie pflanzliche Begleitstoffe, v.a. Samenschalen, zeigt die nebenstehende Tabelle.

Zusammensetzung der Baumwollfaser und deren pflanzliche Begleitstoffe[8]

Komponente	Baumwollfaser (%)	Primärwand (%)	Pflanzliche Begleitstoffe (%)
Cellulose	88-96	52	23-28
Pektine/Pektinate	-	12	-
Pentosane	-	-	5-10
Lignin	-	-	22-26
Wachs	0,4-1,0	7	5-7
Asche	0,7-1,6	14	2,6-2,8
Proteine	1-2	12	2-4
Calcium	0,1	-	3,7
Magnesium	0,07	-	0,7

Auch die Anordnung der Fibrillen in den drei Wänden ist sehr verschieden. Während die Fibrillenstränge in der Primärwand sehr irregulär angeordnet vorliegen, sind diese in der Sekundärwand verkreuzt in der Art Helixstruktur und in der Tertiärwand streng parallel zur Faserachse angeordnet.

Nebenstehende Abbildung zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Baumwollfaser. Die Oberflächenstruktur der Baumwollfasern ist flach, verdreht und schleifenähnlich. Die Farbe der Fasern variiert von cremig-weiß bis zu schmutzig-grau, abhängig vom Herstellungs- bzw. Aufbereitungsprozess.[9] Im Gegensatz zu vielen anderen Naturfasern besitzt Baumwolle nur äußerst geringe Lignin- oder Pektinbestandteile, und nur eine sehr geringe Menge an Hemicellulose von etwa 5,7 %[10] . Somit besteht die Baumwollfaser, neben der Wachsschicht der Cuticula, fast ausschließlich aus hochkristalliner Cellulose.



Schematischer Querschnitt durch eine Baumwollfaser

Verarbeitung

Bei der Aufarbeitung der Baumwolle gehen nur rund 10 % des Rohgewichtes verloren. Wenn die Wachs-, Eiweiß- und weiteren Pflanzenreste entfernt sind, bleibt ein natürliches Polymer aus Cellulose zurück. Die besondere Anordnung der Cellulose gibt der Baumwolle eine hohe Reißfestigkeit. Jede Faser besteht aus 20–30 Lagen Cellulose in einer gedrehten Struktur. Wenn der Baumwollball – der Fruchtstand der Baumwollpflanze – geöffnet wird, trocknen die Fasern und verhaken sich untereinander. Diese Form wird für das Spinnen zu einem sehr feinen Garn verwendet.

Eigenschaften

Verglichen mit Kunstfasern ist Baumwolle sehr saugfähig und kann bis zu 65 % ihres Gewichtes an Wasser aufnehmen. Sind allerdings Gewebe aus Baumwolle einmal nass geworden, trocknen sie nur langsam. Zudem besitzt Baumwolle auch eine hohe Schmutz- und Ölaufnahmefähigkeit, ist aber auch in der Lage diese wieder abzugeben. Baumwollstoffe gelten als sehr hautfreundlich (sie „kratzen“ nicht) und haben ein äußerst geringes Allergiepotential. Diese Eigenschaften macht sie für die Textilindustrie interessant.

Baumwolle ist nicht wasserlöslich und in feuchtem oder nassen Zustand reißfester als in trockenem. Die Festigkeiten und Steifigkeiten der Baumwollfaser sind geringer, als die der Bastfaser, wobei die Dehnfähigkeit deutlich höher ist. Die Fasern sind alkali- jedoch nicht säurebeständig. Baumwolle ist anfällig für den Befall durch Mikroorganismen, die Widerstandsfähigkeit gegenüber Motten und anderen Insekten ist jedoch recht hoch. Baumwolle ist leicht entflammbar, kann aber gekocht und sterilisiert werden.

Referenzen

[1] Kim L. Pickering (Hrsg.): „Properties and performance of natural-fibre composites“, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2008, ISBN 978-1-84569-267-4

[2] W. Bobeth (Hrsg.): „Textile Faserstoffe“, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1993, ISBN 3-540-55697-4

[3] F. Denninger, E. Giese, H. Ostertag, A. Schenek: "Textil- und Modelexikon", Deutscher Fachverlag, 2008, ISBN 3871508489

[4] H. A. Krässing: *Cellulose: Structure, Accessibility and Reactivity*, Polymer Monographs, Vol. 11, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 1993, ISBN 2881247989

[5] G. Richter: Stoffwechselphysiologie der Pflanzen - Physiologie und Biochemie des Primär- und Sekundärstoffwechsels, 6. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1998, S. 249, ISBN 3-13-442006-6

[6] J.W.S. Hearle: *Fibers, 2. Structure*. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH, Weinheim 2007, doi: 10.1002/14356007.a25_345.pub2 (http://dx.doi.org/10.1002/14356007.a25_345.pub2)

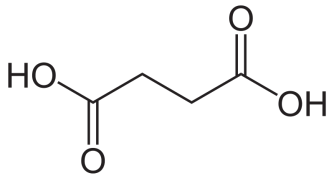
[7] Fachinformationszentrum Chemie GmbH (Hrsg.): *Natural and chemical fibers, bleach as a part of daily life*, S. 15 pdf (http://www.fiz-chemie.de/fileadmin/user_upload/PDF_EN/report/report_60_en.pdf)

[8] H.-K. Rouette: *Handbuch Textilveredelung*, Band 1: Ausrüstung, Deutscher Fachverlag, Frankfurt a. Main, 2006, ISBN 3-86641-012-3

[9] A.K. Mohanty, M. Misra, L. T. Drzal (Hrsg.): *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL 2005, ISBN 084931741X

[10] A. K. Mohanty, M. Misra,G. Hinrichsen: "Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview", Macromolecular Materials and Engineering, 2000, Ausgabe 276/277, S.1-24

Bernsteinsäure

Strukturformel	
	
Allgemeines	
Name	Bernsteinsäure
Andere Namen	• Butandisäure • Succinylsäure • Ethandicarbonsäure
Summenformel	$C_4H_6O_4$
CAS-Nummer	110-15-6
PubChem	1110 [1]
Kurzbeschreibung	farb- und geruchloser kristalliner Feststoff [1]
Eigenschaften	
Molare Masse	118,09 $g \cdot mol^{-1}$
Aggregatzustand	fest
Dichte	1,55 $g \cdot cm^{-3}$ [1]
Schmelzpunkt	184 °C [1]
Siedepunkt	235 °C [1]
Löslichkeit	löslich in Wasser: 58 $g \cdot l^{-1}$ (20 °C) [1]
Sicherheitshinweise	

Gefahrstoffkennzeichnung [1]



Reizend

(Xi)

R- und S-Sätze R: 36

S: 26

Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.

Bernsteinsäure, auch **Succinylsäure** oder **Butandisäure**, **E 363**, ist eine farblose, kristalline aliphatische Dicarbonsäure. Die Kristalle sind in siedendem Wasser gut löslich.

Vorkommen

Im Stoffwechsel aller Organismen kommt das Salz der Bernsteinsäure beim Abbau von Glucose als Zwischenstufe bei der Regeneration des Akzeptors Oxalessigsäure vor. Es ist entsprechend ein Stoffwechsel-Zwischenprodukt des Citratcyclus, außerdem kommt sie im Harnstoffzyklus vor. In der Natur kommt Bernsteinsäure zudem in vielen Pflanzensäften sowie in Algen und Pilzen vor.[2]

Bernsteinsäure kann bei einigen anaerob lebenden Bakterien zudem ein Endprodukt des Stoffwechsels sein, so zum Beispiel im Lebensraum Rindermagen. Dieser stellt ein System dar, in dem eine Reihe fakultativ anaerob lebender Bakterien ihre Nahrungsgrundlage aus dem Nahrungsbrei beziehen. Von der Pansenflora, vor allem den enthaltenen Pilzen, werden die β-glykosidischen Bindungen der Cellulose in der Nahrung aufgebrochen. Der so entstehende Traubenzucker (Glucose) dient Mikroorganismen als Substrat. Die Produkte des Bakterienstoffwechsels sind vor allem kurzkettige Carbonsäuren wie Essigsäure und Bernsteinsäure sowie Ethanol. Die bakteriell produzierte Bernsteinsäure dient wiederum als Energiequelle für weitere Bakterien, die sie zu Propionsäure umsetzen.

Herstellung

Die technische Synthese von Bernsteinsäure erfolgt über eine Hydrierung der Maleinsäure, die Oxidation von 1,4-Butandiol (BDO) oder die Oxo-Synthese von Acetylen.[3]

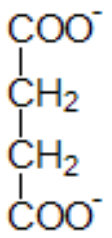
Biotechnologie

Bernsteinsäure kann auch durch Fermentation aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden, insbesondere aus Stärke und verschiedenen Oligosacchariden (C6- und C5-Zucker).[4] Hierbei kann das natürliche Vorkommen der Bernsteinsäure im Stoffwechsel genutzt werden, um sie gezielt durch Mikroorganismen herstellen zu lassen. Dieser Syntheseweg kann bislang allerdings aus Kostengründen noch nicht mit der Maleinsäuresynthese konkurrieren und ist teilweise noch nicht vollständig für den großtechnischen Einsatz ausgereift.

Aufgrund der Fähigkeit, in anaerobem Milieu in einem Fermentationsprozess Bernsteinsäure zu produzieren sind vor allem Bakterien von großem technischen Interesse und werden intensiv auf ihre Nutzbarkeit untersucht. Als potenzielle Organismen werden *Basfia succiniciproducens*,[5] *Mannheimia succiniciproducens*[6] sowie *Anaerobiospirillum succiniciproducens*[7] erforscht. Auch der Modellorganismus *Escherichia coli*, der über Metabolic Engineering für die Produktion hoher Mengen an Bernsteinsäure optimiert werden soll, steht im Fokus der Forschung.[8]

Chemische Eigenschaften

Als **Succinate** bezeichnet man die Salze und Ester der Bernsteinsäure. Der Begriff 'Succinat' leitet sich vom lateinischen Wort *suc(c)inum* für Bernstein ab. Sie enthalten in ihren Kristallgittern das Succinat-Ion als negativ geladenes Anion. Die allgemeine Formel eines Alkalisuccinats lautet MOOC–CH_2–CH_2–COOM, M steht besonders für Natrium- und Kaliumionen. Alkalisuccinate lösen sich leicht in Wasser. Die Erdalkalisuccinate sind nur schwer, die übrigen Succinate gar nicht wasserlöslich. So findet man *Calciumsuccinat* in unreifen Früchten oder Algen. Die esterartigen Succinate können durch die Halbstrukturformel R–O–CO–CH_2–CH_2–CO–O–R beschrieben werden.



Succinat, das Anion der Bernstein-säure

Wird Bernsteinsäure erhitzt, spaltet sie Wasser ab und bildet unter Ringschluss das Bernsteinsäureanhydrid.[2]

Verwendung

Verwendung im Lebensmittelbereich

Bernsteinsäure ist in der EU als Lebensmittelzusatzstoff der Nummer *E 363* zugelassen und dient aufgrund des mild sauren und zugleich leicht salzigen Geschmacks als Geschmacksverstärker für Desserts, Trockensuppen und Getränkepulver. Als Kochsalzersatz in Diätkost werden verschiedene Salze der Bernsteinsäure genutzt (Fe, Mg, Ca, K).[3] Aufgrund der körpereigenen Produktion und Verstoffwechslung von Bernsteinsäure, die beim Menschen etwa 1 kg pro Tag beträgt, wird Bernsteinsäure als unbedenklich angesehen.[2]

Während der alkoholischen Gärung sowie beim späteren Ausbau des Weins in Gebinden wie dem Holzfass oder dem Edelstahlbehälter entstehen neben den zentralen Säuren des Weins (Weinsäure, Äpfelsäure und Citronensäure) auch Bernsteinsäure sowie Essigsäure, Buttersäure und Milchsäure. Bernsteinsäure entsteht dabei vor allem bei der Kohlensäuremaischung und schmeckt leicht bitter und salzig, die Veresterung zu Monomethylsuccinat bringt eine mild-fruchtige Komponente in den Wein.

Technische Verwendungen

Bernsteinsäure stellt eine Plattformchemikalie mit einem jährlichen Bedarf von derzeit etwa 15.000 Tonnen und einem Marktwert von sechs bis neun Euro pro Kilogramm dar.[7] Sie wird aktuell zur Herstellung von Farbstoffen und Lacken sowie als Harz zur Herstellung von Polyester- und Alkydharzen verwendet.[3] Einige mit Polyalkoholen veresterte Succinate verwendet man als Lösemittel und Weichmacher für Kunststoffe und Wachse, weitere Ester finden Verwendung in der Parfumherstellung. In Form von Sulfobernsteinsäureestern wird Bernsteinsäure auch als wichtige Tensidgruppe verwendet, diese werden jedoch in der Regel auf der Basis von Maleinsäure hergestellt.

Bernsteinsäure ist zudem einer der zentralen Hoffnungsträger für die Industrielle Biotechnologie als Plattformchemikalie und damit als Rohstoff für verschiedene industriell produzierte Chemikalien und Polymere. Sie kann als Ausgangsstoff für die biotechnologische Produktion bsp. von 1,4-Butandiol (BDO), 1,4-Butandiamin, Tetrahydrofuran (THF), N-Methyl-2-pyrrolidon (NMP), γ-Butyrolactam, Butyro-1,4-lacton (GBL) und einiger weiterer Produkte dienen.[4] Vor allem als Basis für verschiedene Produkte der chemischen und pharmazeutischen Industrie sowie für biobasierte Kunststoffe wie Polyamide (PA), Polyester und Co-Polyester sowie Polyesteramide ist Bernsteinsäure als biotechnologisch hergestelltes Produkt interessant und es wird ein Marktpotenzial von mehreren hunderttausend Tonnen prognostiziert.[9] [7]

Gemeinsam mit weiteren Vertretern der C4-Dicarbonsäuren wie der Fumar- und Äpfelsäure wurde Bernsteinsäure entsprechend durch das Department of Energy der USA im Jahr 2004 als eine von zwölf Plattformchemikalien mit besonderem biotechnologischen Herstellungspotenzial identifiziert.[10]

Geschichte

Die Bernsteinsäure wurde 1546 von Georgius Agricola bei der trockenen Destillation durch Erhitzen von Bernstein entdeckt.

Referenzen

[1] Eintrag zu *CAS-Nr. 110-15-6* (http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?q=[F+casnr:110-15-6]&f=hitlist&t=main-hit-h.htm&tf=doc&tt=document-frame.htm&x=Advanced&c=redirect&s=Contents&h1=Title[,100]) in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA, abgerufen am 9. August 2007 (JavaScript erforderlich)

[2] Artikel *Bernsteinsäure* in Brockhaus Enzyklopädie online, Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2005 - 2009.

[3] Stichwort *Succinic Acid* In: Hans Zoebelein (Hrsg.): *Dictionary of Renewable Ressources.* 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim und New York 1996; Seite 92. ISBN 3-527-30114-3.

[4] Werpy et al. 2006

[5] Edzard Scholten, Torsten Renz, Jochen Thomas: *Continuous cultivation approach for fermentative succinic acid production from crude glycerol by Basfia succiniciproducens DD1* Biotechnology Letters, Erstveröffentlichung am 25. August 2009 (Abstract (http://www.springerlink.com/content/u71136n5x34852w2/))

[6] Sang Yup Lee, Ji Mahn Kim, Hyohak Song, Jeong Wook Lee, Tae Yong Kim, Yu-Sin Jang: *From genome sequence to integrated bioprocess for succinic acid production by Mannheimia succiniciproducens.* Applied Microbiology and Biotechnology Volume 79 (1), Mai 2008; S. 11-22. (Abstract (http://www.springerlink.com/content/x726326487334354/))

[7] I. Bechthold, K. Bretz, S. Kabasci, R. Kopitzky, A. Springer: *Succinic Acid: A New Platform Chemical for Biobased Polymers from Renewable Resources.* Chemical Engineering & Technology 31 (5), (2008); S. 647-654 (Abstract (http://www3.interscience.wiley.com/journal/118822938/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0)).

[8] u.a.: A.M. Sanchez, G.N. Bennett, K.Y. San: *Novel pathway engineering design of the anaerobic central metabolic pathway in Escherichia coli to increase succinate yield and productivity.* Metabolic Engineering 3, 2005; S. 229-239. (Abstract (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6WN3-4G0B768-1&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1009109658&_rerunOrigin=scholar.google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d58e75731b6603a2393f4e8167e48a55))

[9] James B. McKinley, C. Vieille, J. Gregory Zeikus: *Prospects for a bio-based succinate industry.* Applied Microbiology and Biotechnology Volume 76, 2007; S. 727-740.

[10] T. Werpy, G. Petersen: *Top Value Added Chemicals from Biomass. Volume I—Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas.* Produced by the Staff at Pacific Northwest National Laboratory (PNNL); National Renewable Energy Laboratory (NREL), Office of Biomass Program (EERE), 2004 (Download (http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/35523.pdf))

Bestand (Forstwirtschaft)

Als **Bestand** wird in der Forstwirtschaft ein Waldteil bezeichnet, der sich hinsichtlich Form, Alter und Baumart bzw. Baumartenmischung gleicht und in der Regel deutlich von benachbarten Beständen unterscheidet. Die Bestandesgrenzen dienen in der Regel der Ausscheidung von Unterabteilungen oder Unterflächen in der forstlichen Planung (*siehe: Abteilung*). Der Bestand stellt die kleinste Einheit waldbaulichen Handelns dar. Im Forstbetrieb werden die Bestände im *Bestandeslagerbuch* nach Abteilungen gegliedert beschrieben. Hier wird auch für jeden Bestand die wirtschaftliche Planung für die nächsten Jahre und die vollzogenen Maßnahmen aufgeführt.

Ist der Bestand stark strukturiert kann man ihn in der Beschreibung in einen flächig dominierenden *Hauptbestand* und ein oder zwei *Nebenbestände* aufteilen. Zum Nebenbestand zählen in der Regel Bäume, die keinen Kontakt zum Kronenraum des Hauptbestandes haben. Diese Bäume aus dem Unter- oder Mittelstand können rein pflegenden Charakter haben, oder bereits der Beginn der neuen Generation sein.

Besteht der Bestand aus nur einer Baumart, spricht man von *Reinbeständen*, bei mehreren Baumarten von *Mischbeständen*.

Quellen

- Stinglwagner, Haseder, Erlbeck: *Das Kosmos Wald-und Forstlexikon*, Kosmos-Verlag, ISBN 978-3-440-10375-3
- Horst Kramer: *Begriffe der Forsteinrichtung*, Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und Mitteilungen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt (Band 48), Frankfurt am Main 1976, ISBN 3-7939-0440-7)

Bindemittel

Bindemittel sind Stoffe, durch die Feststoffe mit einem feinen Zerteilungsgrad (z. B. Pulver) miteinander bzw. auf einer Unterlage verklebt werden. Bindemittel werden meist in flüssiger Form den zu bindenden Füllstoffen zugesetzt. Beide Stoffe werden intensiv vermischt, damit sie sich gleichmäßig verteilen und alle Partikel des Füllstoffs gleichmäßig mit dem Bindemittel benetzt werden. Durch die Art des Bindemittels können dem Füllstoff neue Verarbeitungs- und Materialeigenschaften verliehen werden.

Hohen Bindemittelanteil an einem Baustoffgemisch, einer Keramik oder eines Farbmittel nennt man *fett*, niedrigen Anteil (hoher Anteil an Zuschlagstoffen) *mager*. Stoffe, mit denen feste Stoffe nur partiell miteinander verbunden werden, sind keine Bindemittel, sondern Klebstoffe.

Anwendungsgebiete

Farben

Bei der Farbherstellung werden Farbpigmente und Bindemittel miteinander vermischt. Das Bindemittel sollte dabei farbneutral sein und die Farbwirkung des Pigments nicht beeinträchtigen. Die Art des Bindemittels wird durch die Maltechnik, den Malgrund und die gewünschten Eigenschaften der Farbe (Trocknung, Glanz, Deckkraft) bestimmt.

Als Farbbindemittel sind gebräuchlich:

- Gummi arabicum (wasserlöslich) bei der Aquarellmalerei
- Emulsionen bei der Temperamalerei, unter Zugabe von Mastix oder Dammar.
- gebrannter Kalk, Zement und Kaliwasserglas in Bauwesen und der Wandmalerei
- Kunststoffdispersionen bei der Acrylmalerei und in industriellen Anstrichfarben und Lacken
- Pflanzenöle in der Ölmalerei

- Harze in der Ölmalerei sowie bei industriellen Farben und Lacken
- Zelluloseleim (Kleister) in Leimfarben
- Wachs bei der Enkaustik
- Pflanzenöle (Leinöl) oder Alkydharze für Druckfarben
- Kasein in Wand- und Tafelmalerei
- Epoxidharze in einem weiten Anwendungsspektrum
- Polyurethane in einem weiten Anwendungsspektrum

Baustoffe

Bindemittel in Baustoffen sind mineralische Stoffe, die durch Kristallistation eine hohe Festigkeit erreichen, oder organische Stoffe (z. B. Kunstharzdispersionen oder 2-Komponenten-Reaktionsharze), die durch Polymerisation erhärten. Auch Bindemittel auf der Basis nachwachsender Rohstoffe wie Stärke und Zucker werden beispielsweise im Gipskarton, in Mineralfaserplatten oder als Tapentenkleister eingesetzt.

In der Bauindustrie unterscheidet man zwischen *hydraulischen Bindemitteln*, die sowohl an der Luft als auch unter Wasser härten (z. B. Zement, Mischbinder, hydraulischer Kalk (Trass), Putz- und Mauerbinder auf Zement-/Acryl-Basis), und *nichthydraulischen Bindemitteln* (auch Luftbindemittel), die nur an der Luft härten (z. B. Luftkalke, Gips, Magnesiabinder, Lehm). Nichthydraulische Bindemittel sind im erhärteten Zustand nicht wasserbeständig.

Gebräuchliche Bindemittel in Baustoffen sind:

- Gips, Anhydrit (Bauplatten, Putz, Estrich)
- Gebrannter Kalk, insbesondere *Fettkalk* (Mörtel, Putz)
- Ton (Lehmbau, Lehmputz, Grob- und Feinkeramik)
- Zement (Mörtel, Beton, Estrich)
- Bitumen (Dachabdichtung, Straßenbau)
- Dispersionsanstriche (Dispersionsfarbe, Dispersionsputze)

Klebstoffe

Bei Zweikomponentenklebern, im weiteren Sinne bei allen zweiphasigen Polymeren, ist der Binder die Substanz, die als Katalysator für die Polymerisation dienen.

Keramikwerkstoffe

Bei Werkstoffen für oder aus Keramiken dient der eigentliche keramische Anteil, der sich durch thermisches Sintern („Backen“ bei hoher Temperatur), oder andere chemische Prozesse (etwa Pyrolyse von Polymeren) verfestigt, als Bindemittel. Durch den abnorm hohen Schwund beim Brennen ist ein zu fettes Ausgangsstoffgemisch äußerst ungünstig. Traditionelle Töpfer- oder Hafnerkeramiken werden mit Sanden oder Schamotten gemagert *(Magerung)*.

Holzwerkstoffe

Bindemittel dienen bei der Herstellung von Holzwerkstoffen, wie beispielsweise Spanplatten oder MDF-Platten, der Verklebung der Holzpartikel (eben Holzspänen oder Holzfasern). Mengenmäßig sind dabei die Aminoplaste und das PMDI am bedeutendsten. Bindemittel aus nachwachsenden Rohstoffen sind zwar in der Entwicklung, spielen in der Holzwerkstoffindustrie praktisch jedoch noch keine Rolle [1] .

Papier

Bindemittel machen das Papier beschreibbar, weil es weniger saugfähig und weniger hygroskopisch wird. Die Hydrophobierung der Faser bezeichnet man in der Papiermacherei als Leimung. Leimstoffe sind oft chemisch modifizierte (verseifte) Baumharze in Kombination mit KaliAlaun bzw. Aluminiumsulfat oder Polymere auf Basis von Acrylaten oder Polyurethanen. Stärken und Zucker werden in der Papierindustrie zur Erhöhung der Reißfestigkeit und besseren Bedruckbarkeit von Papier und Pappe eingesetzt, Proteine aus Leguminosen zur Erhöhung der mechanischen Belastbarkeit und besseren Haftung wasserlöslicher Druckfarben. [2] .

Lebensmittel

Bindemittel in Lebensmitteln haben die Aufgabe, Speisen die gewünschte Konsistenz zu geben. Hier kommen Eiweiße und Kohlenhydrate zur Anwendung. Sie müssen geschmacklich neutral oder geschmacklich der zu bindenden Speise angepasst sein.

Bindemittel in Lebensmitteln sind:

- Gluten als Bestandteil des Mehls bei Back- und Teigwaren
- Gelatine bei Fleisch- und Wurstwaren (Aspik) sowie in Süßwaren (Gummibärchen)
- Zucker bei Süßwaren

Referenzen

[1] http://www.vhi.de/Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrie (VHI): Bindemittel in Holzwerkstoffen

[2] http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_197industriepfl2005.pdf Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2005): Pflanzen für die Industrie

Bioabfall

Unter **Bioabfall** versteht man alle organischen Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft, die in einem Haushalt oder Betrieb anfallen und durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können. Dazu zählen zum Beispiel Essensreste und Rasenschnitt. Bioabfälle werden in der Regel über die sogenannte Biotonne separat erfasst und gesondert durch Kompostierung und Gärung behandelt. Der dabei entstehende Kompost und das Gärgut werden der Umwelt häufig wieder zugeführt, unter anderem im Gartenbau und der Landwirtschaft.

Von 1990 bis 2004 hat sich die Erfassung von Bioabfällen in Deutschland auf 10 Mio. Tonnen/Jahr verzehnfacht. Allerdings enthält der Restmüll nach wie vor 48% biogene Abfälle, welche von den Bürgern nicht der Biotonne oder der Eigenkompostierung zugeführt wurden.[1] Diese Abfälle werden seit 2005 in der Müllverbrennung thermisch entsorgt. Dort senken die nassen Bioanfälle den durchschnittlichen Brennwert des Mülls. Entgegen der landläufigen Meinung ist dieser Effekt bei den Betreibern erwünscht, weil so die Feuerungsroste geschont und die Ersatzintervalle verlängert werden können. Der sehr hohe Anteil an Kunststoffen im Restmüll (Verpackungen, etc.) führte zu einer unerwünschten Steigerung des Brennwerts, so dass eine „Kühlung“ des zu verbrennenden Materials willkommen ist. Die Ersparnis an Instandhaltungskosten übersteigt den Verlust an Brennwert bei weitem. Neuere Müllverbrennungsanlagen sind allerdings schon öfters für höhere Brennwerte ausgelegt.

Bioabfallverordnung



Bioabfalltonne (erste von links) in Heidelberg

Das bei der Behandlung von Bioabfällen entstandene Gärgut und der Kompost müssen spezielle hygienische Anforderungen erfüllen, welche für Deutschland seit dem 21. September 1998 in der Bioabfallverordnung geregelt sind.

In der Bioabfallverordnung wird der Begriff Bioabfall legaldefiniert. Hierbei gehören zu Bioabfällen Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft zur Verwertung, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können. Diese werden dann im Anhang Nr. 1 der Bioabfallverordnung näher konkretisiert. Hingegen nicht zu den Bioabfällen gehören Bodenmaterialien ohne wesentliche Anteile an Bioabfällen sowie Pflanzenreste, die auf forst- oder landwirtschaftlich genutzten Flächen anfallen und auf diesen Flächen verbleiben.

Des Weiteren unterscheidet die Bioabfallverordnung behandelte und unbehandelte Bioabfälle sowie Gemische hieraus. Bioabfälle gelten als behandelt, wenn sie entweder einer aeroben (Komposte), anaeroben (Gärrückstände), einer anderweitigen hygienisierenden Behandlung oder einer bestimmten Vermischung (Gemisch) unterzogen wurden. Ein Gemisch liegt vor, wenn z. B. Bioabfälle mit bestimmten Wirtschaftsdüngern, Bodenmaterialien oder Torf vermischt wird.

Beim Kompostieren entstehen unvermeidlich anaerobe Zonen, in denen es zur Bildung vielerlei Treibhausgase kommt, hauptsächlich Methan. Komposthaufen, Dreiecksmieten und andere Formen der Kompostierung sind ein ernst zu nehmender Faktor bei der weltweiten Produktion von Treibhausgasen.

Aktuelles und Ausblick

Vergleich von Biogasrohstoffen

Material	Biogasertrag[2] (FM = Frischmasse)	Methangehalt[2]
Maissilage	202 m³/t FM	52 %
Grassilage	172 m³/t FM	54 %
Roggen-GPS	163 m³/t FM	52 %
Futterrübe	111 m³/t FM	51 %
Bioabfall	100 m³/t FM	61 %
Hühnermist	80 m³/t FM	60%
Zuckerrübenschnitzel	67 m³/t FM	72 %
Schweinemist	60 m³/t FM	60 %
Rindermist	45 m³/t FM	60 %
Getreideschlempe	40 m³/t FM	61 %
Schweinegülle	28 m³/t FM	65 %
Rindergülle	25 m³/t FM	60 %

In der Europäischen Union mit 25 Mitgliedsländern wird das Potenzial auf 100 bis 150 Mio. Mg/Jahr geschätzt. Derzeit gibt es Bestrebungen eine EU-weite Regelung in einer Bioabfallrichtlinie zu schaffen.

Da Bioabfall Biomasse ist, kommt auch dessen großtechnische energetische Verwertung in Betracht. Nassgut kann in Biogasanlagen eingesetzt werden, Trockengut zur direkten Verfeuerung oder zur verfahrenstechnischen Verwertung z. B. zu BtL-Kraftstoff.

Ein besonders in den USA seit Jahrzehnten gängiges Verfahren ist die Zerkleinerung des häuslichen Bioabfalls gleich an der Quelle des Entstehens, in der Küche. Dort wird der Bioabfall mittels eines Küchenabfallzerkleinerers in kleine Partikel zermahlen und mit dem normalen Abwasser fortgeschwemmt. In der Kläranlage entsteht zusammen mit den anderen Abwässern Biogas (dort heißt es dann Klärgas).

Dagegen hat das Europäische Parlament am 13. Februar 2007 in 1. Lesung über die Novellierung der Abfallrahmenrichtlinie gefordert, dass Bioabfälle vorrangig stofflich zu verwerten sind. Drei Jahre nach Inkrafttreten der Richtlinie sollen die Mitgliedstaaten eigene Systeme für die getrennte Sammlung von Bioabfällen sowie Qualitätssicherungssysteme aufbauen.

Weblinks

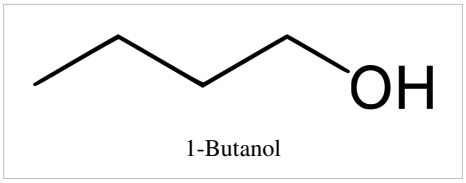
- Text der Bioabfallverordnung [3]
- Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (2007): "Perspektiven der Kompostierung in der Biomassewirtschaft" [4] Beitrag zur Konkurrenz stofflicher und energetischer Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe

Referenzen

[1] Fricke et al, 2003

[2] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): *Biogas Basisdaten Deutschland Stand: Januar 2008.*

Biobutanol

Biobutanol	
 1-Butanol	
Andere Namen	Butanol, 1-Butanol
Kurzbeschreibung	Kraftstoff für angepasste Otto-Motoren
Herkunft	biosynthetisch (Biobutanol) beziehungsweise biogen
Charakteristische Bestandteile	1-Butanol (wasserhaltig)
Eigenschaften	
Aggregatzustand	flüssig
Oktanzahl	96/ 78 (ROZ/MOZ)
Mindestluftbedarf	11,1 (Mol/Mol)
Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.	

Als **Biobutanol** ($C_4H_{10}O$) werden Butanole bezeichnet, die aus Biomasse, wie z. B. Zucker, Stärke, Stroh oder Holz, gewonnen werden. Werden cellulosereiche Rohstoffe wie Stroh oder Holz verwendet, spricht man auch von **Cellulose-Butanol**. Verschiedene Isomere des Butanols, wie z. B. 1-Butanol und Isobutanol, können als Beimischung in Kraftstoffen für Ottomotoren, als reines Butanol oder zusammen mit anderen Alkoholen (z. B. Ethanol) als Biokraftstoff verwendet werden. Butanol hat, im Vergleich zu Ethanol, eine höhere Energiedichte und kann in reiner Form in Ottomotoren genutzt werden.[1] Die Verfahren zur biotechnologische Produktion von Butanolen befindet sich noch in einer frühen Entwicklungsphase. Ihr Potential wird jedoch groß eingeschätzt.[2] [3]

Herstellung

Biobutanol kann durch Fermentation von pflanzlicher, meist zuvor aufbereiteter Biomasse produziert werden. Das wichtigste Edukt ist Zucker (Kohlenhydrate), wie z. B. Saccharose oder Stärke. Am bekanntesten ist hierbei der A.B.E. Prozess für die Produktion von 1-Butanol, bei dem das Bakterium *Clostridium acetobutylicum* eingesetzt wird. Chaim Weizmann war der erste, der 1916 dieses Bakterium für die Produktion von Aceton und 1-Butanol aus Stärke nutzte. Butanol war dabei nur ein Nebenprodukt. Weitere Nebenprodukte dieses Verfahrens sind Wasserstoff, Essigsäure, Milchsäure, Propionsäure, Isopropanol und Ethanol. Der Unterschied zur Ethanolproduktion liegt primär in der Fermentation, während die Destillation sehr ähnlich verläuft. Nach Angaben von DuPont können existierende Bioethanol-Anlagen relativ einfach auf die Biobutanol-Produktion umgerüstet werden.

Auch Isobutanol ist ein Nebenprodukt, z. B. im Stoffwechsel von Hefen, und wird dort in geringer Menge beim Abbau der Aminosäure Valin gebildet. Sowohl die von Clostridien als auch von Hefen gebildeten geringen Mengen bzw. Anteile an Biobutanol reichen normalerweise für eine großtechnische Treibstoffproduktion nicht aus. Durch Optimierung der Stoffwechselprozesse und/oder durch die gentechnische Veränderung bestimmter Mikroorganismen könnte die Ausbeute deutlich erhöht werden.[2] [4]

Literatur

- Garabed Antranikian: *Angewandte Mikrobiologie*, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, ISBN 3-540-24083-7
- Georg Fuchs (Hrsg.): *Allgemeine Mikrobiologie*, begründet von Hans-Günter Schlegel, 8. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 2007, ISBN 978-3-13-444608-1
- Michael T. Madigan, John M. Martinko, Paul V. Dunlap, David P. Clark: *Brock – Biology of Microorganisms*, 12. Auflage. Pearson, San Francisco u. a. O. 2009, ISBN 0-321-53615-0

Weblinks

- Aktuelle Informationen zu Biobutanol von Green Car Congress [5]

Referenzen

[1] http://www.wiwo.de/technik/treibstoff-fuer-20-cent-pro-liter-304994/
[2] http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,572186,00.html
[3] http://www.heise.de/tr/Konkurrenz-fuer-Ethanol--/artikel/87944/0/0
[4] http://www.heise.de/tr/Bakterien-produzieren-Butanol--/artikel/102170

Biodiesel

Biodiesel	
 Biodieselprobe	
Andere Namen	Fettsäuremethylester (FAME), „Fettsäuren, C16–18- und C18-ungesättigt, Methylester“[1]
Kurzbeschreibung	Kraftstoff für selbstzündende Kolbenmotoren (Dieselkraftstoffe), Lösungsmittel
Herkunft	biosynthetisch
CAS-Nummer	67762-38-3
Eigenschaften	
Aggregatzustand	flüssig
Kinematische Viskosität	7,5 mm²/s (bei 20 °C)[2]
Dichte	0,879 laut [3] (0,875 … 0,885) kg/L (bei 20 °C)[1]
Heizwert	32,7 MJ/L = 37,2 MJ/kg [3]
Brennwert	35,2 MJ/L = 40 MJ/kg [4]

Cetanzahl	56 CZ[5]
Schmelzbereich	−10 °C[1]
Siedebereich	etwa (176 … unbestimmt) °C[6] [7]
Flammpunkt	180 °C[1]
Zündtemperatur	circa 250 °C[6]
Sicherheitshinweise	
Gefahrstoffkennzeichnung [1] *keine Gefahrensymbole*	
R- und S-Sätze	R: *keine R-Sätze*
	S: *keine S-Sätze*
UN-Nummer	1202
Gefahrnummer	30
Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.	

Biodiesel ist ein in der Verwendung dem mineralischen Dieselkraftstoff ähnlicher biosynthetischer Kraftstoff. In Europa wird er meistens durch Umesterung von Rapsöl mit Methanol gewonnen (Rapsmethylester). In den USA stammt Biodiesel fast ausschließlich aus Sojaöl.

Biodiesel[8] kann in geeigneten Motoren in reiner Form – als B100 bezeichnet – oder als Blend mit Mineralöldiesel in jedem Mischungsverhältnis verwendet werden.

Geschichte

Die Herstellung von Biodiesel durch Umesterung von pflanzlichen Ölen mit Methanol wurde bereits 1853 von E. Duffy und J. Patrick beschrieben, Jahre bevor der Dieselmotor entwickelt wurde.

Den Einsatz von Kraftstoff für Diesel-Motoren auf Basis von reinen Pflanzenölen (Pflanzenölkraftstoff) testete Rudolf Diesel im Rahmen der Weltausstellung im Jahr 1900.[9] Er berichtete darüber auf einem Vortrag vor der *Institution of Mechanical Engineers of Great Britain*: „..auf der Pariser Weltausstellung 1900 wurde ein kleiner Diesel-Motor der Firma Otto gezeigt, der auf Anforderung der französischen Regierung auf Arachidöl (einem aus Erdnüssen gewonnenen Öl) lief, und er arbeitete so problemlos, dass nur sehr wenige Leute darauf aufmerksam wurden. Der Motor war für den Gebrauch von Mineralöl konstruiert und arbeitete dann ohne Änderungen mit Pflanzenöl."

Auslöser für die Nutzung von Biodiesel waren die Arbeiten des Belgiers G. Chavanne, der am 31. August 1937 ein Patent zur Umesterung von Pflanzenölen mit Ethanol und Methanol anmeldete,[10] um deren Eigenschaften zur Nutzung als Motorenkraftstoff zu verbessern (Belgisches Patent 422,877).[11] Der Einsatz eines nach diesem Verfahren erzeugten Biodiesels auf Palmölbasis wurde schon 1938 auf einer Buslinie zwischen Brüssel und Leuven erfolgreich getestet. Weitere Untersuchungen fanden in den 1970er Jahren in Brasilien[12] und Südafrika statt.

Im Jahr 1983 wurde der Prozess für die Produktion von Biodiesel in Kraftstoffqualität international veröffentlicht.[13]

Die Firma *Gaskoks* in Österreich errichtete 1989 die erste kommerzielle Biodieselanlage mit einer Jahreskapazität von 30.000 Tonnen pro Jahr nach einem südafrikanischen Patent. Seit den 1990er Jahren wurden viele Biodieselanlagen in Europa gebaut, 1998 wurden in 21 europäischen Staaten kommerzielle Biodieselprojekte durchgeführt.

Im September 2005 führte der US-Bundesstaat Minnesota als erster Staat in den Vereinigten Staaten eine Beimischung von 2 % Biodiesel zum regulären Diesel ein.[14] Seit 2007 gilt in Deutschland eine Beimischungspflicht von 4,4 % Biodiesel zu herkömmlichem Diesel. Im Zuge der politischen Bemühungen um die Senkung des Kohlendioxidausstoßes wurde in zahlreichen weiteren Ländern eine Beimischung eingeführt oder ist geplant.

Produkt

Eigenschaften

Biodiesel ist je nach verwendetem Rohmaterial eine gelbe bis dunkelbraune, mit Wasser kaum mischbare Flüssigkeit mit hohem Siedepunkt und niedrigem Dampfdruck. Der Flammpunkt liegt in der Regel über 130 °C und ist damit signifikant höher als bei regulärem Diesel. Die Dichte liegt bei 0,88 g/cm^3. Die Viskosität ist vergleichbar mit der von Diesel.

Der Cloud Point von reinem Biodiesel variiert signifikant mit dem verwendetem Rohmaterial. Auf Rapsöl basierender Biodiesel geliert bei circa −10 °C, bei der Verwendung von tierischen Fetten als Rohstoff liegt der Cloud Point bei circa +16 °C. Nach der Norm EN 14214 produzierter und mit Additiven versetzter Biodiesel flockt bei etwa −20 °C aus, während Diesel je nach Menge der zugebenden Additive bei bis zu −40 °C nutzbar ist.

Im Vergleich zu regulärem Diesel besitzt Biodiesel eine höhere Wasserlöslichkeit, die gegebenenfalls Korrosion begünstigen kann, ist schwefelärmer und enthält weder Benzol noch andere Aromaten.

Die Schmiereigenschaften von Rapsmethylester sind besser als von mineralischem Diesel, wodurch sich der Verschleiß der Einspritzmechaniken vermindert.[15] Überalterter oder qualitativ minderwertiger Biodiesel jedoch kann zu Korrosion und erhöhtem Verschleiß an elementaren Teilen der Einspritzpumpe führen.

Qualitätsstandards

Das Europäische Komitee für Normung hat im Jahr 2003 für Biodiesel (Fettsäuremethylester – FAME) den Standard EN 14214 festgelegt. Damit werden Grenzwerte unter anderem für Wassergehalt, Gesamtverschmutzung, Dichte, Viskosität, chemische Zusammensetzung und Flammpunkt des Biodiesels definiert.

Biodiesel, das aus reinem Soja- oder Palmöl hergestellt wurde, kann die Norm EN 14214 bislang nicht erfüllen, im Gegensatz zu der in den Vereinigten Staaten von Amerika für Biodiesel gültigen Norm nach ASTM D 6751[16] .

Biodiesel aus Mischungen verschiedener biogener Öle kann jedoch als Beimischung zu fossilem Diesel je nach Jahreszeit bis zu 10% zugemischt werden.[17] [18]

Nomenklatur

Die übergreifende Abkürzung aller Methylester auf Basis von Pflanzen- und Tierölen ist

- **FAME** Fettsäuremethylester nach EN 14214

Je nach Art des verwendeten Pflanzenöls wird beispielsweise unterschieden:

- **PME** Palmölmethylester
- **RME** Rapsölmethylester / Rapsmethylester / Rapsdiesel
- Sonnenblumenmethylester
- Sojaölmethylester

Daneben sind Methylester auf Basis von Altfetten und Tierfetten erhältlich:

- **AME** Altfettmethylester
- **FME** Tierfettmethylester



Biodiesel auf Basis von Sojaöl

Neben dem reinem Biodiesel (B100) ist Biodiesel in zahlreichen Ländern als Beimischung zu herkömmlichem Dieselkraftstoff vorgeschrieben, in der Regel als 5%ige Mischung (B5).

Biologische Abbaubarkeit

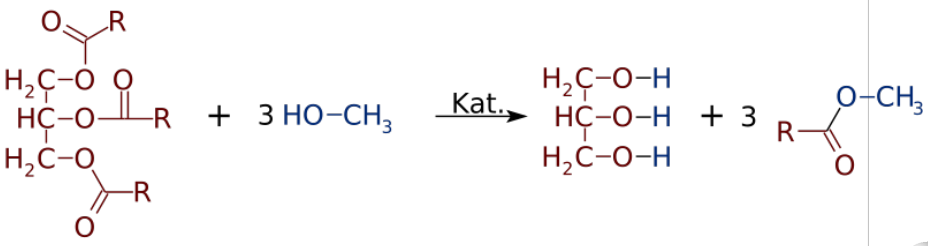
Biodiesel ist biologisch leicht abbaubar und fördert die Abbaubarkeit von regulärem Diesel[19] . Daher wurde Biodiesel auch für die Reinigung ölverschmutzter Strände in Betracht gezogen.[20]

Die schnelle biologische Abbaubarkeit des Biodiesels kann sich im praktischen Einsatz in Kraftfahrzeugen als Nachteil auswirken, da sie einhergeht mit einer schlechten Alterungsbeständigkeit. Nach unsachgemäßer und zu langer Lagerung können Bakterienbefall, Oxidation und Wasseranreicherung die Eigenschaften des Biodiesels verschlechtern.[21]

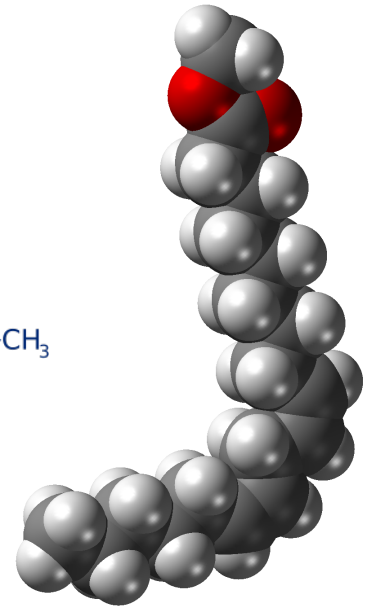
Herstellung

Pflanzliche und tierische Öle sind Ester des Glycerins mit Fettsäuren. Die Umesterung mit Methanol, also der Ersatz des Glycerins im Ölmolekül durch Methanol, ist der gebräuchlichste Prozess zur Herstellung von Biodiesel. Der technische Prozess wird heutzutage industriell meist durch Basen katalysiert, möglich ist jedoch auch eine Katalyse durch Säuren.

Die allgemeine Reaktionsgleichung zur Herstellung von Biodiesel lautet:



Nach der Umesterung folgen als weitere Produktionsschritte die Biodiesel-Aufarbeitung durch Abtrennung von Glycerin und überschüssigem Methanol sowie die Aufarbeitung der Nebenprodukte (Reinigung des Glycerins) und die Wiedergewinnung von Einsatzstoffen durch Destillation des überschüssigen Methanols und Rückführung von Fettsäuren.



Kalottenmodell von Linolsäuremethylester, einem typischen Bestandteil des Biodiesels

Einsatzstoffe

Generell eignen sich alle pflanzlichen und tierischen Fette zur Herstellung von Biodiesel. In Europa wird dazu vor allem Raps- und in kleineren Mengen Sonnenblumenöl verwendet. In Nordamerika stellt Sojaöl den Hauptrohstoff dar, ein geringer Teil des Biodiesels wird auch dort aus Rapsöl produziert. Palmöl ist der Hauptrohstoff für Biodiesel in Südostasien, ergänzend wird hier Kokosöl verwendet. Hinzu kommen in geringen Mengen vor allem in Großbritannien aufbereitete Pflanzenölreste (Recycling) und in Mitteleuropa Tierfette.[22]

Die Einsatzstoffe oder deren Mischungen sind so zu wählen, dass die Spezifikationen nach der europäischen DIN EN 14214 bzw. amerikanischen ASTM D 6751 Norm eingehalten werden.

Produktionsverfahren

Ölgewinnung

Als Rohstoff für die Gewinnung von Pflanzenöl für Biodiesel stellt sich unter mitteleuropäischen Verhältnissen Raps *(Brassica napus oleifera)* als die geeignete Pflanze mit einem Ölgehalt in den Samen von 40 bis 45 % dar. In Ölmühlen wird aus der Rapssaat Öl (Rapsöl) gewonnen. Als Nebenprodukte gehen Rapsextraktionsschrot oder Rapskuchen in die Futtermittelindustrie.

Die im Raps vorliegenden Öl- und Fettmoleküle (zu fast 95% C18-Ketten) weisen eine enge Kohlenstoffkettenverteilung sowie einen konstanten Sättigungsgrad auf.



Biodieselraffinerie bei Zistersdorf

Herkömmliche Umesterung

Die eingehenden Rohstoffe müssen einen geringen Gehalt an Wasser und freien Fettsäuren aufweisen. Diese Bestandteile fördern das unerwünschte Verseifen und die daraus entstehende Emulsionsbildung, welche den Umesterungsprozess beeinträchtigen können.

Zur Umesterung wird in der Umesterungsanlage die vorgeschriebene Menge Katalysator zum Methanol gegeben und aufgelöst. Das Methanol wird über das stöchiometrische Verhältnis von Öl (Glycerinester) zu Alkohol hinaus zugegeben, um die Reaktion auf die Seite des Methylesters zu verschieben.

Die Lösung wird für mehrere Stunden bei Temperaturen zwischen 50 und 70 °C gerührt, um die Reaktion zu vervollständigen.

Nach der Beendigung der Reaktion liegt das Gemisch in zwei Phasen vor. Die leichtere Phase enthält Biodiesel mit Beimengungen von Methanol, die untere Phase hauptsächlich Glycerin und Nebenprodukte. Nach Trennung der Phasen wird der Biodiesel zur Aufarbeitung gewaschen um Spuren von Alkali sowie das Methanol zu entfernen und entweder destilliert oder anderweitig getrocknet.[23]

Die Glycerinphase enthält überschüssiges Methanol sowie die meisten Nebenprodukte des Prozesses. Die neutralisierte Fettsäure bildet eine Seife und muss sauer gestellt werden. Das überschüssige Methanol wird destillativ entfernt. Das anfallende Roh-Glycerin - pro Tonne Biodiesel entstehen zugleich ca. 100 kg Glycerin[24] - wird je nach Verwendungszweck weiter aufgearbeitet.

Moderne Biodieselanlagen haben eine Kapazität von rund 200.000 Tonnen pro Jahr.[25]

Umesterung im überkritischen Prozess

Eine katalysatorfreie Alternative bietet die Umesterung mit überkritischem Methanol in einem kontinuierlichen Prozess. In diesem Prozess bilden Öl und Methanol eine Phase und reagieren spontan und schnell.[26] Der Prozess ist unempfindlich gegenüber Wasserspuren im Rohmaterial, und auch freie Fettsäuren werden in Biodiesel konvertiert. Weiterhin entfällt der Schritt der Katalysatorentfernung.[27] Der Prozess erfordert hohe Drücke und Temperaturen, der Gesamtenergieverbrauch ist aber vergleichbar mit dem herkömmlichen Prozess, da einige Prozessschritte entfallen.[28]

Verwendung

Kleine Anteile von Biodiesel als Beimischung in herkömmlichem Diesel können von herkömmlichen Motoren problemlos genutzt werden. Seit dem 1. Januar 2007 ist in Deutschland die Beimischung von 5% Biodiesel gesetzlich gefordert und wird von den Mineralölgesellschaften umgesetzt. Eine technische Freigabe der Fahrzeughersteller ist hierfür nicht erforderlich. Für höhere Beimischungen und reinen Biodieselbetrieb sollte der Motor allerdings biodieselfest sein, belegbar durch technische Freigaben der Fahrzeughersteller.

Fahrzeugtechnik

Für die Anwendung von reinem Biodiesel als Treibstoff muss eine technische Freigabe des Fahrzeugherstellers vorliegen. Die mit dem Kraftstoff in Berührung kommenden Kunststoffteile, wie etwa Schläuche und Dichtungen, müssen beständig gegenüber Biodiesel sein.[29] Auskunft erteilen Vertragswerkstätten, Werksvertretungen und Fahrzeughersteller.[30]

Biodiesel stellt eine Anpassung eines Kraftstoffs an vorhandene Motortechnik dar, wohingegen der technisch wesentlich veränderte Elsbett-Motor eine Anpassung an den einfacher herstellbaren Pflanzenöl-Kraftstoff darstellt.

Biodiesel hat gute Lösungsmitteleigenschaften und kann daher im Dieselbetrieb entstandene Ablagerungen aus Tank und Leitungen lösen, die den Kraftstofffilter verstopfen können.[31]

Ein Problem stellt der Kraftstoffeintrag ins Motoröl dar. Wie bei Normaldieselbetrieb gelangt unverbrannter Kraftstoff an die Zylinderwand und damit in den Schmierkreislauf. Reiner Dieselkraftstoff beginnt bei circa 55 °C zu

verdampfen. Erreicht das Motoröl im Fahrbetrieb diese Temperatur, verdampft der Dieselkraftstoff aus dem Motoröl. Da RME jedoch erst ab etwa 130 °C zu verdampfen beginnt und das Motoröl diese Temperatur nicht erreicht, reichert sich Biodiesel im Motoröl an. Durch hohe örtliche Temperaturen im Schmierkreislauf zersetzt sich RME allmählich (siehe auch Cracken, Verkokung, Polymerisation), was zu festen oder schleimartigen Rückständen führt. Dies und die Verschlechterungen der Schmiereigenschaften bei hoher Kraftstoffkonzentration im Motoröl kann zu erhöhtem Motorverschleiß führen, weswegen bei RME-Betrieb kürzere Ölwechselintervalle notwendig sind.[32]

Fahrzeuge mit bestimmten Rußpartikelfiltern können technische Probleme bekommen, wenn diese Systeme darauf ausgelegt sind, alle 500–1.000 km die Einspritzmenge zwecks Verbrennung der Partikel im Filter zu erhöhen. Beim Einsatz von Biodiesel ist nach bisherigen Kenntnissen kein Nachbrennen des Filters notwendig.[33]

Einspritztechnik



Biodiesel für Mercedes 300D

Erfahrungen im PKW- und Nutzfahrzeugbereich zeigen, dass es je nach Einspritztechnik nach mehrjähriger Biodieselverwendung zu Schädigungen der Kraftstoffpumpe kommen kann. Das betrifft besonders die direkteinspritzenden Pumpe-Düse-Motoren. Da Biodiesel zähflüssiger ist als fossiler Diesel, stellen die feinen Schmierkanäle ein größeres Hindernis dar, so dass die Pumpe trocken laufen und dadurch zerstört werden kann. Dem widersprechen allerdings Prüfstandsversuche bei Porsche, die an einem Mercedes-Benz-Motor im Biodiesel-Betrieb auch nach 500 Stunden Laufzeit hohe Sauberkeit und eine Verschleißminderung um 60% im Vergleich zum Normalbetrieb mit üblichem Dieselkraftstoff aufzeigten. Zudem werden technische Lösungen von Deutz und Fendt auf Basis fremdgeschmierter Einspritzpumpen angeboten, die keine diesbezüglichen Probleme aufweisen.

Motoren mit Common-Rail-Technologie, die für Biodiesel zugelassen sind, befinden sich bereits auf dem Markt.[34] Die Optimierung von Einspritzzeit und –menge kann über einen Sensor optimiert werden, der dem Motormanagement Informationen vermittelt, welcher Kraftstoff oder welches Kraftstoffgemisch aktuell eingesetzt wird.[35] So wird es möglich, unabhängig vom verwendeten Kraftstoff und dessen Mischungsverhältnis die Abgasnormen einzuhalten.

Verbrauch und Emissionen



Erfolgreicher Flotteneinsatz im Busbereich der Graz AG Verkehrsbetriebe (Biodiesel aus gebrauchten Pflanzenölen)

Biodiesel senkt deutlich die Ruß-Emission (bis zu etwa 50 %), doch der Gehalt an schädlichen Partikeln bleibt vergleichbar mit Mineralöl-Diesel. Demgegenüber verursacht er eine um bis zu etwa 40 % höhere Kohlenwasserstoff- sowie teilweise höhere NO_x-Emissionen.[36]

Es gibt Hinweise darauf, dass die durch Biodiesel bedingten Emissionen weniger krebserregend sein können als die durch herkömmlichen Diesel verursachten.[37]

Wegen der etwas geringeren Energiedichte können Leistungseinbußen von etwa 5–10% oder ein ebenso erhöhter Treibstoffverbrauch auftreten.[38]

Nicht Biodiesel-taugliche Fahrzeuge

Wird ein für Biodiesel nicht taugliches Fahrzeug mit Biodiesel betrieben, so kann dieser in kurzer Zeit die treibstoffführenden Schläuche und Dichtungen zersetzen, wobei auch Dichtungen in der Einspritzanlage und Zylinderkopfdichtungen betroffen sein können. Der Grund liegt auch hier im guten Lösungsmittelverhalten des Biodiesels. Er löst die in Dichtungen und Schläuchen enthaltenen Weichmacher, die Teile verspröden und werden undicht. Auch wenn der Motor ab Werk für Biodieselbetrieb freigegeben ist, muss dies für Zusatzaggregate, wie etwa eine Standheizung, nicht gelten. Beim Kauf eines für den Biodieselbetrieb vorgesehenen Fahrzeugs ist also darauf zu achten, dass wirklich alle verbauten Komponenten biodieseltauglich sind.

Neuere Motoren, die nicht für Biodiesel freigegeben sind, können auf Grund der abweichenden Verbrennungseigenschaften des Biokraftstoffs darüber hinaus Probleme mit der Motorelektronik bekommen, die auf normalen Diesel eingestellt ist.

Korrosion

Eine Untersuchung der Darmstädter Materialprüfungsanstalt hat gezeigt, dass Korrosionsschutzschichten wie Verzinkung von Biodiesel angegriffen werden können. Kritisch war hierbei, dass Biodiesel leicht hygroskopisch wirkt und bei einem eventuellen Wassergehalt durch Esterhydrolyse freie Fettsäuren entstehen, die den pH-Wert senken und korrosiv wirken können. Siehe dazu auch den Artikel Dieselpest. Durch eine Beimischung konventionellen Diesels wird dieser Effekt vollständig verhindert.[39] [40]

Schienenverkehr

Eine Lok der *Virgin Voyager* Gesellschaft (Zug-Nr. 220007 *Thames Voyager*) von Richard Branson wurde zur Verwendung eines 20-prozentigen Biodieselgemisches umgebaut.[41] Ein weiterer Zug, der während der Sommermonate auf einer Mischung mit 25 Prozent Biodiesel auf Rapsölbasis laufen soll, wurde in östlichen Teil des US-Bundesstaates Washington eingesetzt.[42]

Die gesamte Flotte der Prignitzer Eisenbahn fährt seit 2004 mit Biodiesel. Vorher wurde mit Pflanzenöl gefahren, welches aber mit den neuen Triebwagen nicht mehr genutzt werden konnte.[43]

Schifffahrt

In der Schifffahrt wird Biodiesel oft wegen seiner schnellen biologischen Abbaubarkeit eingesetzt. So wird das Ausflugsschiff *Sir Walter Scott* auf dem Loch Katrine in Schottland mit Biodiesel betrieben, damit auch bei einem möglichen Unfall die aus diesem See gespeiste Trinkwasserversorgung von Glasgow nicht durch Kontamination mit Kohlenwasserstoffen gefährdet ist, wie dies bei Diesel der Fall wäre. Um die generelle Einsatzfähigkeit von Biodiesel in der Schifffahrt zu demonstrieren, wurde der Trimaran *Earthrace* entwickelt. Dieser wird ausschließlich von Biodiesel angetrieben und umrundete im Jahr 2008 die Erde in 60 Tagen, 23 Stunden und 49 Minuten.[44]



Die „Earthrace“ im Dock von Malmö, Schweden

Auch das Umweltbundesamt empfiehlt die Verwendung von Biodiesel als Kraftstoff in Sportbooten unter Aspekten des Gewässerschutzes.[45]

Luftverkehr

Der Einsatz von Biodiesel im Luftverkehr befindet sich noch in der Entwicklung. Green Flight International führte die ersten Flüge durch, bei denen für den Großteil der Strecke reines Biodiesel zum Einsatz kam: 2007 mit dem Kurzstreckenjet Aero L-29 Delfin in Nevada, im folgenden Jahr etwa 4.000 Kilometer quer durch die Vereinigten Staaten.[46] [47] Bisherige Versuche mit Verkehrsmaschinen vom Typ Boeing 747 verwenden Biodiesel in Mischung mit fossilem Kerosin. Mit einer Biokraftstoff-Beimischung von 20% fand im Februar 2008 ein Testflug der Fluggesellschaft Virgin Atlantic von London Heathrow Airport nach Amsterdam statt[48] , im Dezember 2008 führte Air New Zealand von Auckland aus einen Testflug durch, bei der ein Triebwerk von einer Mischung aus Flugzeugbenzin und 50% Biokraftstoff aus Jatrophaöl angetrieben wurde.

Heizöl

Biodiesel kann im Prinzip auch als Heizöl verwendet werden, wobei auf Grund der guten Lösungsmitteleigenschaften hohe Anforderungen an die chemische Beständigkeit der verwendeten Heizanlagenkomponenten gestellt werden. Anders als bislang bei Kraftstoffen kann Biodiesel als Heizölersatz keine Steuerermäßigung in vergleichbarer Höhe aufweisen, da Heizöl ohnehin geringerer besteuert wird. Heizöl mit einer Beimischung von 5% bis 20% Biodiesel ist in Deutschland seit 2008 auf dem Markt[49] [50] , das Blockheizkraftwerk des Bundeskanzleramt wird mit Biodiesel betrieben[51] .

Marktentwicklung

Biodiesel-Verbrauch in der EU (in GWh)[52] [53]

Nr.	Staat	2005	2006	2007
1	Deutschland	18.003	29.447	34.395
2	Frankreich	4.003	6.855	13.506
3	Österreich	920	3.878	4.270
4	Vereinigtes Königreich	292	1.533	3.148
5	Spanien	270	629	3.031
6	Portugal	2	818	1.847
7	Italien	2.000	1.732	1.621
8	Schweden	97	523	1.158
9	Belgien	0	10	1.061
10	Griechenland	32	540	940
11	Bulgarien	–	96	539
12	Litauen	87	162	477
13	Luxemburg	7	6	397
14	Tschechien	33	213	380
15	Polen	152	491	180
16	Slowenien	58	48	151
17	Irland	9	8	27
18	Lettland	29	17	0
19	Ungarn	0	4	0

20	Dänemark	0	0	0
21	Niederlande	0	172	n.a.
22	Slowenien	110	149	n.a.
23	Rumänien	–	32	n.a.
24	Malta	8	10	n.a.
25	Finnland	0	0	n.a.
26	Estland	0	7	n.a.
27	Zypern	0	0	n.a.
27	**EU Gesamt**	**26.110**	**47.380**	**67.154**
1 t Öleinheit = 11,63 MWh; „n.a.“ = nicht angegeben				

Nach mehreren Jahren mit steigenden Absätzen, ist der Verkauf von Biodiesel-Reinkraftstoff in Deutschland seit 2008 rückläufig. Der kraftstoffbedingte Mehrverbrauch, technische Restrisiken und gegebenenfalls Umrüstungskosten sind nur durch einen Preisvorteil für Biodiesel auszugleichen. Der tatsächliche Preisvorteil von Biodiesel sinkt jedoch seit 2006 ab, als Folge der jährlich steigende Steuerbelastung sowie zeitweise auch der Preisentwicklung auf den Pflanzenöl- und Rohölmärkten. Zeitweise liegt der Marktpreis für Biodiesel über dem des fossilen Diesels.

Durch die obligatorische Beimischung von Biodiesel zu fossilem Diesel erhöht sich der Absatz in diesem Segment, dies gleicht die Verluste beim Reinkraftstoff jedoch nicht aus. Die EU-Direktive 2003/30/EC von Mai 2003 fordert die Sicherstellung durch die EU-Mitgliedsstaaten, dass ab 31. Dezember 2005 mindestens 2% und bis zum 31. Dezember 2010 mindestens 5,75% der zum Transport bestimmten Kraftstoffe aus erneuerbaren Quellen stammen, im wesentlichen also biogenen Ursprungs sind. In Österreich wurde die EU-Direktive teilweise früher umgesetzt und ab 1. November 2005 nur mehr Diesel mit 5 % Zusatz aus biogenen Quellen angeboten. In Österreich werden Dieselkraftstoffen seit Februar 2009 sieben Prozent Biodiesel (B7) beigemischt, in Deutschland ist die Beischung von B7 ebenfalls zulässig, bisher liegt die Beimischung hier noch bei 5%.[54]

Absatz und Kapazitäten

Der Absatz von Biodiesel ist im Jahr 2008 gegenüber dem Vorjahr von 3,3 Mio. t auf 2,7 mio. t gesunken. Dabei verringerte sich der Absatz von Biodiesel als Reinbiokraftstoff um 739.000 t, während die Verwendung von Biodiesel als Beimischkomponente in Dieselkraftstoff um 190.000 t stieg. Im Jahr 2007 wurde die Hälfte des Reinbiodiesels direkt an Speditionen abgesetzt, zu sieben Prozent über Tankstellen verkauft, und drei Prozent an Landwirte[55] .

Die Biodieselindustrie in Deutschland hat ihre Kapazitäten zwischen 2004 und 2007 von 1,2 mio. t auf 4,8 mio. t vervierfacht[55] . In Deutschland produzieren rund 40 Hersteller Biodiesel. Mehr als die Hälfte der Unternehmen ist in den neuen Bundesländern ansässig, rund ein Drittel in Norddeutschland.[56] Aufgrund der derzeitigen politischen Rahmenbedingungen und der Marktlage werden die Kapazitäten allerdings vielfach nicht ausgelastet, erste Biodieselhersteller sind bereits insolvent, die Biokraftstoffbranche befürchtet bei weiteren politischen Einschnitten einen Zusammenbruch der Branche[57] [58] .

Jahr	Reinkraftstoff (in Mio. Liter)	Gesamt[59] [60] [55] (in Kilotonnen)
2000	keine Angaben	340
2001	163,2	450
2002	189,6	550
2003	360,2	810
2004	476,6	1.180
2005	589,3	1.970
2006	538,7	2.870
2007	1.819	3.300
2008	1.080	2.700

|+ Biodieselabsatz in Deutschland

Politik

Europäische Union

Die Europäische Union hat in ihrer Biokraftstoff-Richtlinie einen Zeitplan in Stufen vorgegeben: Alle Mitgliedsstaaten sollten ihren Kraftstoffverbrauch bis zum Jahr 2005 zu zwei Prozent mit Biokraftstoffen abdecken. Bis 2010 sollen es 5,75 Prozent sein, bis 2020 zehn Prozent. Dies kann durch Verwendung von Biotreibstoffen in Reinform als Beimischung erfolgen, aber auch durch Einsatz anderer erneuerbarer Energien.[61]

Deutschland

Das 2006 vom Bundestag verabschiedete Biokraftstoffquotengesetz schrieb vor, dass der Anteil an Biokraftstoffen bis 2010 auf 6,75% und bis 2015 auf 8% steigen sollte. Durch das Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen vom 15. Juli 2009 wurde allerdings beschlossen, diese Quote in 2009 bei 5,25% zu belassen und ab 2010 bei 6,25% einzufrieren[62] . Bereits seit 2004 darf herkömmlicher (Mineralöl-)Diesel mit bis zu 5% Biodiesel vermischt werden, seit Februar 2009 erlaubt eine neue Dieselnorm die Beimischung von bis zu 7% Biodiesel.

Der Bundestag verabschiedete am 29. Juni 2006 das Energiesteuergesetz, das die schrittweise Besteuerung von Biodiesel und Pflanzenöl-Kraftstoff vorsieht. Für beide Stoffe soll ab 2012 der volle Mineralölsteuersatz gelten. Reiner Biodiesel wird ab August 2006 mit neun Cent pro Liter besteuert. Um jährlich sechs Cent wird die Steuer ab 2008 bis 2011 erhöht. Ab 2012 greift dann der volle Steuersatz von 45 Cent. Da der Brennwert von Biodiesel unter dem von Mineralöl liegt, wird der volumenbezogene Steuersatz um zwei Cent unter dem Satz für fossile Brennstoffe liegen. Die Steuerermäßgung für reine Biokraftstoffe wird gem. § 50 Abs. 1 Satz 5 EnergieStG nur für die Mengen Biokraftstoffe gewährt, welche die in § 37a Abs. 3 BImSchG für die Beimischung genannten Mindestanteile überschreiten (so genannte „fiktive Quote“).[63]

Biokraftstoff	Ertrag/ha	Kraftstoffäquivalenz [l][64] [65]	Kraftstoffäquivalent pro Fläche [l/ha][66]	Preis [cent]	Preis Kraftstoff-äquivalent [cent/l][67]		Fahrleistung [km/ha][64] [68]
Pflanzenöl (Rapsöl)	1590 l[64]	0,96	1526	98,1/l (11/2009)[69]	102,2		23300 + 17600[70]
Biodiesel (Rapsmethylester)	1550 l[71]	0,91	1411	107,9/l (KW 49/2009)[72]	118,6		23300 + 17600[70]
Bioethanol (Weizen)	2760 l[64]	0,65	1794	93,2/l (E85, 11/2009)[73]	133,1		22400 + 14400[70]
Biomethan	3540 kg[71]	1,4	4956	93/kg (06/2008)[74]	66,4		67600
BtL	4030 l[71]	0,97[75]	3909	nicht am Markt	k.a		64000

|+ Vergleich von Biokraftstoffen in Deutschland

[1] Eintrag zu *Fettsäuren, C16-18- und C18-ungesättigt, Methylester* (http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=id&id=biadb:r:491697&t=main-h.htm) in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA, abgerufen am 15. April 2008 (JavaScript erforderlich).

[2] Viskosität von Biodiesel bei *hydrogeit*.de (http://www.hydrogeit.de/biodiesel.htm)

[3] Physikalische Kenngrössen (http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_bf.pdf)

[4] Physikalische Kenngrössen (http://www.biokraftstoff-portal.de/data/File/Thueringen/Veranstaltungen/06-12-18_Einsatz_RoeK,RME_Gernewitz.pdf)

[5] Cetanzahl bei *Oelmühle.de* (http://www.oelmuehle.de/index.php3?hid=01063)

[6] Sicherheitsdatenblatt zu Rapsölmethylester (http://www.silbermann.de/download/SDB/07508000.pdf).

[7] nicht spezifiziert nach EN 14214.

[8] Richtlinie 2003/30/EG (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/oj/2003/l_123/l_12320030517de00420046.pdf) zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor.

[9] Chem. Abstr. 7:1605 (1913).

[10] 70 Jahre Biodiesel (http://www.lifepr.de/pressemeldungen/ufop-union-zur-foerderung-von-oel-und-proteinpflanzen-ev/boxid-14613.html)

[11] Historical Perspectives on Vegetable Oil-Based Diesel Fuels, G. Knothe, INFORM, Vol. 12(11), S. 1103–1107 (2001) (http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20011101_gen-346.pdf).

[12] Homepage von Tecbio (http://www.tecbio.com.br/templates/loadpaginas.php?pagina=sobreobiodiesel_ing).

[13] SAE Technical Paper series no. 831356. SAE International Off Highway Meeting, Milwaukee, Wisconsin, USA, 1983.

[14] Verordnung über Biodiesel in Minnesota (http://www.biodiesel.org/resources/pressreleases/gen/20050929_mn_mandate_implemented.pdf).

[15] *Schmierfähigkeitverbesserung durch Biodiesel* in *Kraftfahrtechnisches Taschenbuch* von Horst Bauer, Robert Bosch GmbH, S. 323, (als *Google-Buch*) (http://books.google.de/books?id=PmMYUqiEVcYC&pg=PA322&dq=einspritzpumpe+biodiesel#PPA323,M1).

[16] Spezifikation von Biodiesel nach ASTM D 6751 (http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/BDSpec.pdf).

[17] Projekt „Local & Innovative Biodiesel“ – Forschungsprojekt im Rahmen eines Programmes der Europäischen Kommission, veröffentlicht unter www.biodiesel.at (http://www.biodiesel.at).

[18] Biodiesel Norm EN 14214 (http://www.inorganics.basf.com/p02/CAPortal/de_DE/portal/Biodiesel_layout_b/content/Produktgruppen/Biodiesel/Informationen/Norm_EN).

[19] Biodegradability, BOD5, COD and Toxicity of Biodiesel Fuels, von C. L. Peterson und Gregory Möller, University of Idaho (http://www.uiweb.uidaho.edu/bioenergy/BiodieselEd/publication/04.pdf).

[20] Entfernung von Rohöl von Stränden mit Hilfe von Biodiesel (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VH4-40D61CC-9&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=bd32e7f45e60b59c36f5450b4a05f2d3).

[21] Bericht des *Instituts für Allgemeine Mikrobiologie* der Universität Oldenburg über Wachstum von natürlich vorkommenden Mikroorganismen in Biodiesel bei der Lagerung (http://www.bis.uni-oldenburg.de/mirror/presse/uni-info/ui-9604/wifo.htm).

[22] Markus Quirin, Sven Gärtner, Martin Pehnt, Guido Reinhardt (ifeu-Institut): *CO_2-Mitigation through Biofuel in the Transport Sector. Status and Perspectives.* Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg August 2003. S. 23 (Volltext (http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/co2mitigation.pdf)).

[23] Beispiel von Biodiesel Batch-Equipment (http://www.biotechsa.net/batchplant.htm).

[24] A. Müller: Kleines Molekül vor großen Aufgaben. *Chemische Rundschau.* (2009) 6:15-17

[25] Bericht über die Biodieselanlage der Ölmühle AG (http://www.finanznachrichten.de/nachrichten-2005-02/4479398-neuansiedlung-im-regensburger-hafen-firma-campa-biodiesel-aus-ochsenfurt-plant-biodieselanlage-oelmuehle-und-biomassekraftwerk-fuer-rund-50-mil htm).

[26] Kunchana Bunkyakiat, Et Al: *Continuous Production of Biodiesel via Transesterification from Vegetable Oils in Supercritical Methanol*. In: American Chemical Society (Hrsg.): *Energy and Fuels*. 20, 2006, S. 812–817. doi: 10.1021/ef050329b (http://dx.doi.org/10.1021/ef050329b). Abgerufen am 20. Dezember 2007.

[27] *Production of biodiesel by a two-step supercritical reaction process with adsorption refining*; C.R. Vera, S.A. D'Ippolito, C.L. Pieck, J.M.Parera, *2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering, 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering*, Rio de Janeiro (http://www.enpromer2005.eq.ufrj.br/nukleo/pdfs/0818_paper_818.pdf).

[28] Kusdiana, Dadan; Saka, Shiro. *Biodiesel fuel for diesel fuel substitute prepared by a catalyst free supercritical methanol* (http://www.biodieselgear.com/documentation/Methanol_Super_Critical_Method.pdf) (PDF). Abgerufen am 20. Dezember 2007.

[29] New HDPE Resins With Improved Resistance to Bio-Diesel Fuels (http://www.reuters.com/article/pressRelease/idUS150107+03-Sep-2008+PRN20080903).

[30] Freigabedatenbank und Kontaktinformationen der Fahrzeughersteller (http://www.biodiesel.de/index.php3?hid=00412) – Biodiesel.de.

[31] Empfehlungen zum Einsatz von Biodiesel (http://www.biopower-fardin.ch/biopower_wichtig.htm).

[32] *Rapsölkraftstoff und Biodiesel auf dem Prüfstand*, R. Richter, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, Februar 2008 (http://www.tll.de/ainfo/pdf/biod0608.pdf).

[33] Bericht des ADAC über die Kompatibilitätsprobleme von Biodiesel und Rußpartikelfiltern (http://www.adac.de/Auto_Motorrad/Tanken/Alternative_Kraftstoffe/Biodiesel/Raps_im_Tank.asp).

[34] Vorstellung eines Land Rover mit Common-Rail-Technologie für Biodiesel (http://www.rheinzeitung.de/on/08/01/31/service/auto/t/rzo394375.html).

[35] *Neuer Sensor für optimales Motormanagement – Zukunft von Biodiesel als Kraftstoff*, Bericht im *Innovationsreport* (http://www.innovations-report.de/html/berichte/verkehr_logistik/bericht-20834.html).

[36] *Effects of Biodiesel on NOxEmissions*, Bob McCormick, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado (http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/npbf/pdfs/38296.pdf).

[37] Untersuchungen der TFZ Bayern zu Mutagenität (http://www.tfz.bayern.de/sonstiges/15951/mutagenitaettfz_bericht14.pdf).

[38] Bericht des *ADAC* über erhöhten Kraftstoffverbrauch mit Biodiesel (http://www.adac.de/mitgliedschaft_leistungen/motorwelt/m_archiv/alternative_antriebe_biodiesel.asp?ComponentID=201798&SourcePageID=201809).

[39] *Korrosion durch biogene Kraftstoffe* – Manuel Scholz, M. Gugau, C. Berger, Stuttgarter Automobiltag 2007. Darmstadt: IfW, 2007, Beitrag für Tagungsband, 8 S. (2007).

[40] *Korrosion durch Biokraftstoffe – Schutz durch Beschichtungen auch bei zyklischer Beanspruchung. – Corrosion by biofuels – protection by coatings also under cyclic loadings* – Heinz Kaufmann, C. Morgenstern, M. Gugau, M. Scholz, T. Jung, in *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* 37 (2006), 12, S. 983–993. ISSN 0933-5137, 1521-4052.

[41] *First UK biodiesel train launched* (http://news.bbc.co.uk/1/hi/uk/6729115.stm). BBC. Abgerufen am 17. November 2007.

[42] *Biodiesel will drive Eastern Wa. train during summerlong test* (http://seattletimes.nwsource.com/html/localnews/2008011135_biodiesel22.html). Seattle Times. Abgerufen am 21. Juli 2008.

[43] https://www.allianz-pro-schiene.de/publikationen/stadt-land-schiene/stadt-land-schiene-3-neuauflage-august-2009.pdf

[44] Homepage des Projektes (http://www.earthrace.net)

[45] Empfehlung des BUA zur Verwendung von Biodiesel in Sportbooten (http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/alternative-kraftstoffe/biodiesel/biodiesel.htm).

[46] Green Flight International Record-Setting Biofuel-Powered Jet Flight. (http://www.greenflightinternational.com/pr.htm), Pressemitteilung vom 2008-11-01, abgerufen am 2009-06-03.

[47] Alec Rosekrans 02/11/2008: Green Living: Biodiesel Aviation Becoming a Reality. (http://jets.halogenguides.com/articles/1014-biodiesel-aviation-becoming-a-reality) In: HalogenGuides Jets, abgerufen am 2009-06-03.

[48] Biofuel-powered jet makes test flight (http://edition.cnn.com/2008/BUSINESS/02/24/flight.biofuels/index.html).

[49] Vorreiter in Bayern: BayWa Mineralöle bietet erstmals Bio-Heizöl im Raum Ostbayern an. (http://www.baywa.de/netautor/napro4/appl/na_professional/parse.php?mlay_id=20000&mdoc_id=1153745&xmlval_ID_KEY), Pressemitteilung vom 2008-11-18, abgerufen am 2009-06-05.

[50] SCHARR BIO HEIZÖL schwefelarm mit bis zu 20% Bioanteil (http://www.scharr-waerme.de/index.php?id=562), abgerufen am 2009-06-12.

[51] Bundesregierung: Geschichte und Architektur des Bundeskanzleramts (http://www.bundesregierung.de/nn_22778/Content/DE/Artikel/2001-2006/2006/03/2006-03-20-geschichte-und-architektur-des-kanzleramts.html)

[52] Biofuels barometer 2007 – EurObserv'ER (http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/erec/baro179_b.asp) Systèmes solaires Le journal des énergies renouvelables n° 179, S. 63–75, 5/2007.

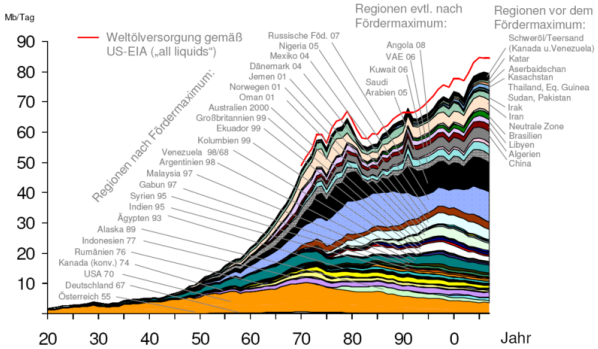
[53] Biofuels barometer 2008 – EurObserv'ER (http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/erec/baro185.asp) Systèmes solaires Le journal des énergies renouvelables n° 185, S. 49–66, 6/2008.

[54] *Bio-fuel Chains – An Overview on the Structure and the Value Chain Organization*, Kirsti Dautzenberg and Jon Hanf, Leibniz Institute of Agricultural Development in Central and Eastern Europe (http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/6573/2/sp07da01.pdf).

[55] Verband der deutschen Biokraftstoffindustrie: Biodieselabsatz (http://www.biokraftstoffverband.de/de/biodiesel/marktdaten.html)
[56] Quelle für Herstellerzahl und regionale Verteilung: Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien, 2007; Angabe einem Schreiben des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg vom 16. August 2007, Nr. 4-4585/347, entnommen.
[57] (http://www.ngz-online.de/public/article/nachrichten/679541/Biodiesel-in-der-Krise.html) NGZ-Interview mit Bio Ester-Chef Biodiesel in der Krise, NGZ 2. März 2009
[58] (http://www.biokraftstoffverband.de/) Bundestag will Erdölquote an der Zapfsäule erhöhen / BEE und VDB warnen vor Aus für Biokraftstoffbranche Entgegen aller Bestrebungen zu mehr Klimaschutz und zur Verringerung der Abhängigkeit von knapper werdendem Erdöl will der Bundestag morgen eine Absenkung der Biokraftstoffquote beschließen. Pressemitteilung des VDB vom 26. März 2009
[59] Absatzzahlen von Biodiesel nach UFOP (http://www.ufop.de/downloads/Biodieselb_dt_230206.pdf).
[60] UFOP, 2009: Absatzeinbruch bei Biodiesel und Pflanzenölkraftstoff. (http://www.ufop.de/3171.php)
[61] *Eine EU-Strategie für Biokraftstoffe*, Die Europäische Union (EU) setzt sieben Schwerpunkte zur Förderung der Erzeugung und Verwendung von Biokraftstoffen durch die Mitgliedstaaten und die Entwicklungsländer, 18. März 2006 (http://europa.eu/scadplus/leg/de/lvb/l28175.htm).
[62] Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen vom 15. Juli 2009, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 41, ausgegeben zu Bonn am 20. Juli 2009
[63] Bundesministerium der Finanzen an Bildungszentrum der Bundesfinanzverwaltung 23. Januar 2007.
[64] - Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland, Stand Oktober 2009 (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174-basisdaten_biokraftstoff.pdf) Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2009, 14-seitige Broschüre, als pdf verfügbar
[65] 1 l Biokraftstoff bzw. 1 kg Biomethan entspricht dieser Menge konventionellen Kraftstoffs
[66] ohne Nebenprodukte
[67] Preis für die Menge Biokraftstoff, die äquivalent zu 1 l konventionellem Kraftstoff ist
[68] separate Berechnung, nicht auf den anderen Daten basierend
[69] - Preisentwicklung von Rapsöl als Kraftstoff (http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/pflaoelpreise.html), CARMEN e.V., aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009
[70] mit Biomethan aus Nebenprodukten Rapskuchen/ Schlempe/ Stroh
[71] Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland, Stand Januar 2008 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2008, Broschüre, wegen aktualisierter Version nicht mehr als pdf verfügbar
[72] - Preisentwicklung von Biodiesel (http://www.ufop.de/1299.php), UFOP, aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009
[73] - Preisentwicklung von Bioethanol E85 (http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/biotreibstoffe/ethanol/preis/index.htm), CARMEN e.V., aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009
[74] Biogastankstelle Jameln
[75] auf Basis von FT-Kraftstoffen

Umweltverträglichkeit

Vorteile



Die weltweite Ölproduktion. In den meisten Ländern ist der Höhepunkt überschritten und die Produktion fällt seitdem ab

Da Biodiesel aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt wird, ersetzt sein Gebrauch Kraftstoffe auf Erdölbasis, dessen künftige Verfügbarkeit bereits mittelfristig als begrenzt angesehen wird (siehe Peak Oil). Bei der Produktion von Biodiesel aus Ölpflanzen gibt es zudem keine Abfallprodukte, da alle Nebenprodukte dieser Reaktion weiterverwertet werden: Rapskuchen und Sojakuchen, die bei der Pressung anfallen, werden als Futtermittel benutzt. Das bei der Umesterung entstehende Glyzerin kann in der chemischen Industrie weiterverwertet werden (etwa für Kosmetik). Das auf dem Feld verbleibende Stroh trägt zum Erhalt des Humuskörpers und damit der Bodenfruchtbarkeit bei.

Bei Leckagen ist Biodiesel deutlich weniger umweltbelastend als herkömmlicher Diesel. Letzterer gehört in die Wassergefährdungsklasse 2 (wassergefährdend), Biodiesel in die Wassergefährdungsklasse 1 (schwach wassergefährdend). Reines Pflanzenöl gilt als nicht wassergefährdend.[1]

Die Klimaneutralität bei der Verbrennung von Biodiesel ist umstritten. Der CO_2-Bindung beim Wachstum der Pflanze müssen nicht nur die CO_2-Freisetzung bei der Verbrennung gegenübergestellt werden, ebenso wie bei allen Klimabilanzen sind zudem die bei Anbau, Herstellung und Nutzung anfallenden Emissionen klimarelevanter Stoffe zu berücksichtigen. Neben Kohlendioxid spielen hier vor allem die in ihrer Höhe umstrittenen Lachgas-Emissionen eine Rolle. Je nach Studie wird die Klimabilanz von Biodiesel in der Regel um 20 bis 80 % günstiger eingeschätzt als die von Mineralöl-Diesel, werden durch den Ölpflanzenbau verursachte Landnutzungsänderungen betrachtet (z.B. Rodung von Regenwald oder Moorgebieten), so kann die Gesamtbilanz gegenüber Mineralöl auch negativ ausfallen.

Biodiesel aus Sojaöl liefert laut einer Ökobilanzierung von 2006 193% der in der seiner Produktion eingesetzten Energie und reduziert Treibhausgasemissionen gegenüber Erdöl um 41%. Damit ist es deutlich effizienter als Ethanol aus Mais. Die Luftverschmutzung ist zudem geringer als bei Ethanol aus Mais.[2]

Die Abhängigkeit von Importen ist bei Biodiesel unproblematischer als bei Mineralöl, da der Rohstoff Pflanzenöl weltweit in zahlreichen Ländern erzeugt werden kann und die Industrie nicht, wie bei Erdöl der Fall, auf Lieferungen aus politisch unruhigen Regionen angewiesen ist.

Nachteile

Das Umweltbundesamt lehnt in einem Bericht vom 1. September 2006[3] die Herstellung von Biodiesel ab und stellt fest:

„Potenzial Biodiesel: Wegen der beschränkten Ackerflächen kann mit in Deutschland angebautem Raps maximal etwa fünf Prozent des im Verkehrssektor benötigtem Dieselkraftstoff ersetzt und ein bis vier Prozent der Treibhausgasemissionen in diesem Bereich vermieden werden. Hierzu müsste aber bereits die Hälfte der gesamten deutschen Ackerfläche zum Biodiesel-Rapsanbau in vierjähriger Fruchtfolge genutzt werden, was eher unrealistisch ist. Das tatsächliche Potential liegt deshalb eher in der Größenordnung von 1 bis 2 % der Dieselmenge.“

Diese Aussage stellt eine sehr vorsichtige Berechnung dar, da nur jedes vierte Jahr die Ackerfläche in Anspruch genommen wird und der derzeit sehr hohe Kraftstoffverbrauch einfach hingenommen wird. Außerdem spricht nichts dagegen, die Rohstoffe in Ländern anzubauen, die geringere Bevölkerungsdichten haben. Der Transport trägt nachweislich kaum zur CO_2-Bilanz bei. Zu beachten sind jedoch auch ökologische und geologische Folgen, wie sie sich beispielsweise auch aus einer einseitigen Bewirtschaftung und dauerhaften Monokulturen ergeben, weshalb eine vierjährige Fruchtfolge ökologisch durchaus vorteilhaft wäre. Zudem ist der Kraftstoffverbrauch ein externer Faktor, der jeweils aktuell bei den Berechnungen zugrunde gelegt wird. Andere Annahmen wären reine Spekulation, da man mittel- bislangfristige Einflüsse wie Wirtschaftswachstum, technische Entwicklung und Konsumverhalten der Bevölkerung einschätzen müsste.

In den USA würde die Verarbeitung der gesamten Sojaernte zu Biodiesel lediglich 6% der Nachfrage decken.[2]

Biodiesel produziert mehr ozonfördernde Abgase als aus Erdöl gewonnener Treibstoff. Kritiker bemängeln zudem, dass durch staatliche Subventionen und damit günstigeren Preisen für Spediteure der Schwerlastverkehr gefördert wird, was einer geringeren Umweltbelastung entgegenwirkt.

Noch nicht vollständig gelöst ist bislang die Nutzung des Glycerins, bei der Umesterung fallen prozessbedingt 100 kg Glycerin pro Tonne Biodiesel an. Bisher stehen zu wenige wirtschaftliche Verwertungswege für das Kuppelprodukt Glycerin offen. [4]

Flächen- und Fremdenergiebedarf

siehe auch: Liste der Ölpflanzenerträge

Bezogen auf den Weltbedarf an dieselähnlichen Kraftstoffen könnte Palmölmethylester sowohl von der Ölergiebigkeit der Pflanze als auch von der Größe des potentiellen Anbaugebiets der wichtigste Kraftstoff werden. Allerdings wird dies derzeit mit der großflächigen Abholzung von Urwäldern in Indonesien zwecks Anlage von Ölpalmen-Monokulturen erkauft.

Eine Studie von Forschern der Universität Minnesota[5] weist darauf hin, dass es unwahrscheinlich ist, durch Alternativ-Kraftstoffe den weltweit zunehmenden Spritbedarf in nennenswertem Umfang abdecken zu können. Allerdings beruht diese Studie auf der allgemeinen Annahme des Pro-Kopf-Verbrauchs der US-Bürger und der Verwendung amerikanischer Fahrzeuge.

Der erforderliche Flächenbedarf, um zum Beispiel die 1 kg Dieselkraftstoff entsprechende Energiemenge als Biodiesel zur Verfügung zu stellen, ergibt sich aus folgender Rechnung:

Pro Quadratmeter beträgt der Ertrag an Biodiesel etwa 0,115 l Dieseläquivalent.[6] Bei einer Dichte von 0,9 kg/l sind dies etwa 0,104 kg. Um 1 kg Dieseläquivalent bereitzustellen, wird also der Ertrag von 9,66 m² Anbaufläche benötigt.

Die Produktion der 1 kg Dieseläquivalent entsprechenden Menge an Biodiesel erfordert allerdings selbst erhebliche Energiemengen (Methanol, eventuell Düngemittel, Transport, Verarbeitungsprozess). Um auszuschließen, dass die für die Produktion nötige Energiemenge wiederum durch fossile Energieträger beschafft wird, wird die Anbaufläche entsprechend so weit vergrößert, dass auch die für die Produktion selbst benötigte Energiemenge auf der Anbaufläche mit erzeugt wird.

Für die Energiemengen E_{ges} (Gesamtenergie), E_{prod} (Energiebedarf der Biodieselproduktion selbst) und E_{netto} (tatsächlich verfügbare Energiemenge an Biodiesel) gilt dann

$$E_{\mathrm{ges}} = E_{\mathrm{prod}} + E_{\mathrm{netto}} = E_{\mathrm{netto}} \cdot \frac{k}{k-1},$$

wobei das Verhältnis *k* vergleichbar ist zum Carnot-Wirkungsgrad einer Wärmepumpe.

Bei der Gewinnung, einschließlich der Weiterverarbeitung zu Biodiesel (Pflügen, Säen, Behandeln mit Pflanzenschutz, Düngen, Ernten, Verestern), muss eine Energiemenge von 25 MJ/kg aufgewendet werden. Demgegenüber hat Biodiesel einen Heizwert von 37 MJ/kg.

Das Verhältnis k (vgl. Erdöl: *k* etwa 10) beträgt demnach

$$k_{(PME)} = \frac{37\,\frac{\mathrm{MJ}}{\mathrm{kg}}}{25\,\frac{\mathrm{MJ}}{\mathrm{kg}}} = 1{,}48 \qquad \text{im Gegensatz zu} \qquad k_{(Dieselkraftstoff)} = \frac{43\,\frac{\mathrm{MJ}}{\mathrm{kg}}}{5\,\frac{\mathrm{MJ}}{\mathrm{kg}}} = 8{,}21.$$

Allerdings wird bei dieser Darstellung nicht berücksichtigt, dass beim herkömmlichen Diesel zusätzlich chemisch gebundene Energie (Rohöl) zugeführt werden muss, die aus einem endlichen Reservoir entnommen wird. Beim Biodiesel wird im Gegenzug die Strahlungsenergie der Sonne vernachlässigt, die aber sowieso vorhanden und praktisch unerschöpflich ist.

Unter der Annahme k = 1,48 verdreifacht sich die benötigte Anbaufläche in etwa; es werden dann etwa 29,8 m² Anbaufläche für 1 kg bereitgestelltes Dieseläquivalent benötigt.

Ein Grund dafür, dass die Energieausbeute verhältnismäßig gering ist, liegt darin, dass nur die Ölfrüchte verwendet werden und der verbleibende Biomassenrest (Rapsstroh und Rapsschrot) nicht energetisch genutzt wird. Bei einer alternativen Form der Kraftstoffgewinnung aus Biomasse zu Sundiesel wird die gesamte Pflanze verwendet, wodurch sich der Energieertrag pro Fläche in etwa verdoppelt (siehe Abschnitt Alternativen).

Pro Jahr werden in Deutschland etwa 50 Mio. t *Heizöl* der Sorte *EL* (Abkürzung für **e**xtra **l**eicht(flüssig)) und des chemisch verwandten *Dieselkraftstoffs* verbraucht (2005 waren es 53 Mio. t[7]). *Diesel* oder *Heizöl EL* hat einen Heizwert von 43 GJ/t, der um etwa 16 % höher als der von Biodiesel ist. Um den gesamten Jahresverbrauch

Deutschlands durch Biodiesel zu ersetzen, wäre also eine Jahresproduktion von etwa 58 Mio. t Biodiesel bereit zu stellen. Hierzu würde 29,8 m²/kg•50.000.000.000 kg = 1.490.000 km² benötigt. In der Zahl von 29.8 m²/kg Dieseläquivalent ist die um 16 % geringere Energiedichte bereits berücksichtigt, daher wird in der Flächenberechnung der Jahresverbrauch an Heizöl eingesetzt.

Die Mengen an Ölpflanzen aus heimischer Landwirtschaft sind für die Eigenversorgung zu gering, weshalb Importe notwendig würden um größere Mengen Treibstoff zu ersetzen. So wird beispielsweise für eine Fahrt von Stuttgart nach Hamburg (668 km mit einem Verbrauch von 47,4 Liter Biodiesel) der Rapsertrag aus 445,5 m² Anbaufläche benötigt.

2006 wurden etwa 50 % der Fläche der Bundesrepublik Deutschland für die landwirtschaftliche Produktion genutzt[8] , also wäre das Zehnfachen der landwirtschaftlichen Nutzfläche von Deutschland erforderlich um aus Raps ausreichend Biodiesel zu gewinnen. Da Raps nicht in den zwei bis drei Folgejahren angebaut werden kann (selbstunverträglich), müsste die Vierzigfache landwirtschaftlichen Nutzfläche der Bundesrepublik in den Anbau einbezogen werden.

Auch wenn ein Teil des deutschen Heizölverbrauches zukünftig durch Solarkollektoren auf den Dächern einsparbar ist, sieht das EEWärmeG andererseits ausdrücklich die Verwendung von Pflanzenölen für Heizzwecke vor.

Schon 2006 überschritt der Bedarf an Pflanzenölen (als Biodiesel und Pflanzenölkraftstoff) mit 3,4 Mio t die mögliche inländische Anbaukapazität von Raps von 1,5 Mio t, sodass der Rest importiert werden musste [9] .

Andere Quellen

Andere Pflanzen die zur Ölproduktion geeignet sind, mit geschätzten Ölmengen (in Litern pro Hektar):

- Raps: 157[10]
- Sonnenblumen: 126[10]

Abholzung und Zerstörung von Naturlandschaften

In vielen Teilen der Welt werden derzeit im großflächigen Stil Naturlandschaften für den Anbau von Ölsaaten kultiviert (etwa Ölplantagen in Indonesien; Rapsfelder in Russland, China, oder Kanada). Dies kann zu weitreichenden, negativen ökologischen Folgen, insbesondere bei Monokulturen, führen, die es in der Gesamtbewertung der Umweltverträglichkeit von Biodiesel zu berücksichtigen gilt.

Darüber hinaus kann der Anbau von Ölsaaten auf bestehenden Ackerflächen oder die Verwendung von essbaren Pflanzenölen zur Herstellung von Biodiesel zu einer Verknappung oder Verteuerung von Lebensmitteln führen. Dies könnte vor allem für Menschen in Entwicklungsländern fatale Auswirkungen haben. Andererseits kann die Produktion bestimmter Ölpflanzen im Mischfruchtanbau oder im Rahmen der Fruchtfolge die Auslaugung der Böden verhindern und den Ertrag an Lebensmitteln auf Dauer steigern und der Einsatz von Herbiziden kann so verringert werden. Entsprechende Versuche wurden bereits in der Praxis durchgeführt und sind positiv verlaufen.[11]

Dennoch kann Biodiesel für viele Entwicklungsländer eine Chance zur Bekämpfung der Armut sein. In Indonesien zum Beispiel werden durch den Anbau von etwa Ölpalmen und Jatropha für viele Menschen in ländlichen Gebieten überhaupt zum ersten Mal Arbeitsplätze geschaffen. Damit einhergehend verbessert sich die Infrastruktur wie bei Stromversorgung, Schulausbildung, Gesundheitsversorgung usw. in diesen Landesteilen. In Papua werden eine Million Hektar Urwald teilweise illegal gerodet, um Platz für Palmöl-Plantagen zu schaffen. Dabei wird vielfach Brandrodung eingesetzt.[12]

Dennoch gilt es an erster Stelle, den illegalen Holzeinschlag von Regenwald zu unterbinden und an deren Stelle die Kultivierung von bereits gerodetem und derzeit brachliegenden Land zu fördern. In Indonesien alleine liegen mehrere Millionen Hektar bereits gerodeter Landflächen brach. Durch Kultivierung und nachhaltige Bewirtschaftung dieser bereits zerstörten „Steppen-Landschaften“ könnte Biodiesel für viele arme Menschen eine Einkommensquelle schaffen.

Umweltverbände wie Rettet den Regenwald e. V. weisen sowohl auf den Zusammenhang von EU-Importen und Regenwaldzerstörung als auch auf die hohen Emissionswerte bestimmter Anbaumethoden oder -produkte wie Palmöl hin. Sie beziehen sich auf Untersuchungen von Wetlands International, Delft Hydraulics und Alterra, die nachweisen, „dass die Palmöl-Nutzung von südostasiatischen Torfböden zehnmal mehr Kohlendioxid-Emissionen bedeutet als der Einsatz einer vergleichbaren Menge von Mineralöl." In der Kritik steht hierbei die EU Biotreibstoff-Direktive. Letztendlich würde ein Vielfaches mehr CO_2 freigesetzt werden, als später durch die Pflanzen wieder gebunden werden kann.[13] Darüber hinaus werden für die Plantagen große Urwaldflächen gerodet, so dass die klimawirksame Funktion der Flächen als CO_2-Senke deutlich verringert wird.

Bedingt durch die klimatischen Vorteile wird Biodiesel aus diesen Gebieten wesentlich günstiger angeboten, so dass die Beimischungspflicht fast ausschließlich durch Palmöl basierte Sorten erfüllt wird. In der Folge gaben viele deutsche Biodieselproduzenten auf, deren Produktion unter Berücksichtigung der Fruchtfolge umweltfreundlicher aber teurer ist.

In der Europäischen Union jedoch wird Palmöl kaum für die Herstellung von Biodiesel verwendet. Der größte Teil wird in der Nahrungsmittelindustrie genutzt. Die auf abgeholzten Flächen entstehenden Palmölplantagen bedienen daher vorrangig die weltweit wachsende Nachfrage des Nahrungsmittelsektors.

Auswirkungen auf die Nahrungsmittelproduktion

Die Nutzung von Ackerfläche zur Erzeugung nachwachsender Rohstoffe verringert die Anbaufläche für Nahrungsmittel. Die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln beim Rapsanbau wird als problematisch für die Umwelt gesehen. Forschungen zur Genveränderung von Raps, um Resistenzen gegen den Rapsglanzkäfer und Kohlhernie zu erreichen, sind ebenfalls umstritten. Des Weiteren stellen großflächige Monokulturen eine Bedrohung für Tierarten, insbesondere bodenbrütende Vögel dar. Durch die intensive Nutzung von Stickstoffdüngern kommt es zu einer Überdüngung der Gewässer und einer Versauerung des Bodens. Zudem wird Distickstoffoxid (Lachgas) freigesetzt – ein 310-fach stärkeres Treibhausgas als CO_2. Distickstoffoxid gilt noch vor den Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW), als die bedeutendste Quelle ozonschädlicher Emissionen des 21. Jahrhunderts.[14]

Die Verteuerung von Nahrungsmitteln ist ein zentrales Problem der Biodieselgewinnung, zum Teil als Agflation bezeichnet.[15] In vielen Entwicklungsländern wie Mexiko, Kolumbien, Afghanistan und Indien verteuern sich einfache Lebensmittel wie Mais oder Soja, da Anbauflächen und andere Ressourcen für die Gewinnung von Biodiesel benutzt werden. Eine Verschärfung des Hungers und der Unterernährung ist die Folge.[16] [17] [18]

Allerdings ist dieser Effekt keine Besonderheit der Biodieselproduktion: Sämtliche Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen, die nicht nur Abfälle verwertet (etwa Bioethanol aus Zuckerpflanzen, Biogasanlagen auf Mais-Basis, Holzhackschnitzel aus Pappel- oder Weidenplantagen usw.), konkurrieren weltweit mit Nahrungsmittelproduktion. Denn oftmals bieten die Produktion und Vermarktung von Energiepflanzen für die Erzeuger bessere Einkommensmöglichkeiten. Jedoch wird das Ausmaß dieses Effektes durch die staatliche Subventionierung beim Biodiesel weltweit spürbar. Regierungen propagieren den Einsatz von Biodiesel als umweltschonend und nachhaltig, dabei geht es auch um die Unabhängigkeit von Erdöl produzierenden Ländern und um langfristige Marktstrategien großer Mineralöl- und Energiekonzerne, die den Energiemarkt dominieren.

Kritiker wie der internationale Kleinbauernverband Via Campesina meiden den Begriff „Bio"-Diesel und werten ihn als Euphemismus. Sie bevorzugt daher Agrodiesel.[19]

Emissionen

Beim Einsatz von Diesel in Motoren sind insbesondere die Partikel- und NO_x-Emissionen bedeutend. Diese Emissionen werden durch „Bio-Diesel“ nicht wesentlich gemindert. Zwar werden durch RME im Vergleich zu Mineralöldiesel die Emissionen an Partikeln verringert, doch der Gehalt an schädlichen Bestandteilen bleibt vergleichbar mit Mineralöl-Diesel. Auch die Emission von Stickstoffoxiden (NO_x) ist bei RME eher höher.[20]

Eine Studie schwedischer Wissenschaftler (2002) bescheinigt reinen Rapsölkraftstoffen (auch RME) nicht gerade gute Umwelteigenschaften. Demnach werden bei der Verbrennung von Rapsöl bis zu zehn Mal mehr Krebs erregende Schadstoffe freigesetzt als bei herkömmlichem Diesel. Dabei handelt es sich um verschiedene Kohlenwasserstoffverbindungen: Ringförmige Benzolmoleküle, Äthylkohlenwasserstoff sowie Diolefine.[20]

Ein Forschungsvorhaben (2003) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft zeigte jedoch, dass die schwedischen Untersuchungen für die dieselmotorische Verbrennung von RME völlig irrelevant sind.[21]

Prioritäten der Biomassenutzung

Biodiesel haten den Nachteil, dass nur ein geringer Teil der Pflanze verwendbar ist. Eine wesentlich bessere Energiebilanz als bei Flüssigkraftstoffen wird bei der Verwertung von Biomasse für die Strom- und Wärmeerzeugung erzielt, weshalb diesen Nutzungsformen nach Ansicht eines Teils der Fachleute der Vorzug gegeben werden sollte.

Alternativen zu Biodiesel

Eine Alternative zu Biodiesel ist der Kraftstoff Pflanzenöl („Pöl“), bei dem der hohe Aufwand für die Veresterung entfällt. Je nach Motortyp kann für die vom Dieselkraftstoff abweichenden physikalischen Eigenschaften ein Umbau des Dieselmotors erforderlich werden.

Die Erzeugung von dieselähnlichen Kraftstoffen BtL-Kraftstoff (Biomass to Liquids) aus anderen organischen Stoffen wie Holz oder organischen Abfallprodukten (in Deutschland unter dem Namen *SunDiesel*) ist noch in der Entwicklungsphase. Erste Versuche laufen seit April 2003 mit diesem synthetischen Biokraftstoff in Sachsen (Choren Industries GmbH) mit Unterstützung des Deutschen Bundesministeriums für Wirtschaft in Kooperation mit der Daimler AG und der Volkswagen AG. Bisher wird mit einer Anlage von 200.000 Jahrestonnen im Jahr 2010 gerechnet.

Bis zur Marktreife wird eine Übergangslösung mit Synfuel arbeiten, das aus fossilen Ressourcen hergestellt wird (GTL, CTL), daher erscheint Biodiesel derzeit als die einzige Möglichkeit, in größerem Umfang Fahrzeuge mit Dieselmotor CO_2-neutraler zu betreiben. BtL-Kraftstoffe sind laut Biokraftstoffbericht 2007 des Bundesministerium für Finanzen noch lange nicht marktreif, zudem stehen entsprechende Aussagen zu Energie- und Ökobilanzen noch aus. In Deutschland existiert nur eine Pilotanlage, welche in naher Zukunft 15.000 Tonnen BtL produzieren soll. Aufgrund des noch zu hohen Energieaufwands in der Herstellung, bescheinigt die Deutsche Energie Agentur erst mittelfristig eine Konkurrenzfähigkeit der BtL-Kraftstoffe gegenüber den Kraftstoffen der ersten Generation.

Eine weitere Alternative zu den traditionellen Biotreibstoffen bietet die Fairtrade-Organisation Gebana: Biodiesel aus biologischem Anbau und Fair Trade. Das verwendete Öl ist ein Nebenprodukt der Weiterverarbeitung von Sojabohnen zweiter Qualität. Der Treibstoff soll die treibhausrelevanten Emissionen gegenüber fossilem Diesel um 70 % reduzieren und eine positive Gesamtökobilanz haben.[22] [23]

Weiterhin besteht besonders in den Ländern des Südens die Möglichkeit, das Öl der Jatropha-Pflanze zu verwenden. Es wird bereits in verschiedenen afrikanischen Ländern (unter anderem Tansania) zur Ergänzung von Solaranlagen eingesetzt.[24] [25] Der Vorteil gegenüber Rapsöl besteht darin, dass die Pflanze mit kargen Böden auskommt. Derartige Projekte werden in Kamerun von der FairTradeFuel.org begleitet.[26]

Literatur

- Sven Geitmann: *Erneuerbare Energien und alternative Kraftstoffe.* Hydrogeit Verlag, 2. Aufl., Jan. 2005, ISBN 3-937863-05-2.
- Sven Geitmann: *Alternative Kraftstoffe.* Hydrogeit Verlag, 2008, ISBN 978-3-937863-12-2.
- Phil Dera: *"Biodiesel" - Wachstumsmarkt mit Nachhaltigkeitsgarantie? Sozioökonomische Dimensionen der Palmölproduktion in Indonesien* Berlin: regiospectra 2009, ISBN 978-3940132109.

Weblinks

- 270 Biodiesel-Tankstellen entlang der deutschen Autobahnen sortiert nach Autobahn- und Autobahnausfahrtsnummern (http://www.biodieseltanken.de/)
- Verband Deutscher Biodieselhersteller (http://www2.biodieselverband.de/vdb/)
- Retten Biokraftstoffe unser Klima? (http://www.regenwald.org/regenwaldreport.php?artid=197) Interview mit einem Verkehrsexperten beim Umweltbundesamt
- The ecological and social tragedy of crop-based biofuel production in the Americas (http://www.foodfirst.org/node/1662)
- Focus Online: Die Klimaneutralität des Biosprits entpuppt sich zunehmend als Mär (http://www.focus.de/wissen/wissenschaft/klima/tid-6666/biokraftstoffe_aid_64516.html)
- EnergyDaily: Green Star One Step Closer To Marketing Algae Booster (http://www.energy-daily.com/reports/Green_Star_One_Step_Closer_To_Marketing_Algae_Booster_999.html) (engl. Artikel über Biodiesel aus Algen)

Referenzen

[1] Wassergefährdende Stoffe (http://www.umweltbundesamt.de/wgs/) – Deutsches Umweltbundesamt.

[2] Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S., Tiffany, D. (2006): Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. Proceedings fo the National Academy of Sciences, Vol. 103, pp. 11206-11210.

[3] Stellungnahme des Umweltbundesamtes zu Biodiesel (http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/alternative-kraftstoffe/biodiesel/biodiesel.htm).

[4] Arno Behr: *Alternativen zur Verwendung von Glycerin* (http://www.biokraftstoff-portal.de/nds-hb/index.php?tpl=be&red=bs&id=2206&bkr=&kr=2&bk=2&bs=4). biokraftstoff-portal 12.02.2007.

[5] *Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels*, Jason Hill et. al. University of Minnesota (http://www.pnas.org/content/103/30/11206.full).

[6] Biodiesel keine saubere Alternative (http://www.greenpeace.de/themen/sonstige_themen/feinstaub/artikel/biodiesel_keine_saubere_alternative/) – Greenpeace Artikel.

[7] Mineralölwirtschaftsverband e.V. (http://www.mwv.de/Download/mzxls.zip)

[8] Statistik des Bundes (http://www.destatis.de/basis/d/umw/ugrtab7.php).

[9] Antwort der Bundesregierung am 17. November 2008 zur Frage 23 von Helmut Lamp MdB (http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/110/1611004.pdf)

[10] Biofuels: some numbers (http://gristmill.grist.org/story/2006/2/7/12145/81957).

[11] IG Mischfruchtanbau (http://www.mischfruchtanbau.de/).

[12] *Die Biosprit-Falle – Indonesiens Wald in Gefahr*, Auslandsreporter, SWF3, 28. November 2007 22:30 Uhr.

[13] Klimakiller Palmöl – Das schmutzige Geschäft mit Blockheizkraftwerken (http://www.tagesschau.de/aktuell/meldungen/0,,OID6505300_REF1,00.html) – Tagesschau-Bericht vom 12. März 2007.

[14] Ravishankara, A. R. et al.: *Nitrous Oxide (N2O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century.*. In: *Science*. Epub ahead of print, 2009. PMID 19713491.

[15] Macrooeconomics of Agflation (http://www.financialexpress.com/news/macroeconomics-of-agflation/261722/).

[16] *Volle Tanks, leere Teller*, Bericht bei SPIEGEL.de (http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,461621,00.html)

[17] *Nachfrageboom: Biodiesel macht Margarine teurer*, Bericht auf SPIEGEL.de (http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,459483,00.html).

[18] *Biotreibstoffe – eine rundum schädliche Mogelpackung?* (http://www.kolko.de/artikel.php?art_id=1377)

[19] LA via Campesina: It's cars versus humans (http://www.viacampesina.org/main_en/index.php?option=com_content&task=view&id=345&Itemid=1).

[20] Bio-Diesel setzt deutlich mehr Krebs erregende Stoffe frei (http://www.welt.de/data/2001/01/18/467862.html) – Die Welt

[21] Landbauforschung Völkenrode, SH 252: „Systematische Untersuchungen der Emissionen aus der motorischen Verbrennung von RME, MK1 und DK“.
[22] Migros Sustainability Report 2007 (http://www.migros.ch/DE/Ueber_die_Migros/Nachhaltigkeit/Publikationen/Documents/NHB_Migros_2007_e.pdf)
[23] Informationen der Gebana (http://www.gebana.com/htm/treibstoff_produkt.htm)
[24] Sonnenenenergie für Afrika – auf sonnenseite.com (http://www.sonnenseite.com/index.php?pageID=6&article:oid=a9218&template=article_detail.html)
[25] sonne-ueber-mbinga.de (http://www.sonne-ueber-mbinga.de/mbinga/solar/)
[26] FairTradeFuel.org (http://www.fairtradefuel.org/)

Bioenergie

Als **Bioenergie** bezeichnet man Energie, die aus Biomasse gewonnen wird. Dabei werden verschiedene Energieformen wie Wärme, elektrische Energie oder auch Kraftstoff für Verbrennungsmotoren eingeschlossen. Meist wird auch Biomasse, in der die Energie chemisch gespeichert ist, als Bioenergie bezeichnet. Bisher hat Holz als Festbrennstoff die größte Bedeutung, aber auch landwirtschaftliche Produkte (Agrarrohstoffe) und organische Reststoffe aus unterschiedlichen Bereichen spielen eine zunehmende Rolle.

Derzeit findet weltweit ein starker Ausbau der Erzeugung von Bioenergie statt. Wichtige Gründe sind die steigende Preistendenz für fossile Energieträger und deren abnehmende Verfügbarkeit, die hohe Abhängigkeit durch die einseitige Verteilung von Ressourcen wie Öl und Gas, sowie Bemühungen zur Senkung der Treibhausgasemissionen. In Deutschland wird dieser Ausbau vom Gesetzgeber vor allem durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert.

Einzelne Bioenergien stehen in der Kritik, da ihre Erzeugung eine Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung darstellen kann oder weil ihr ökologischer und ökonomischer Nutzen begrenzt ist. Da die Bereitstellung und Nutzung der verschiedenen Bioenergien sehr unterschiedlich stattfindet, ist eine Bewertung im Einzelfall notwendig.

Formen der Bioenergie

Basis der Bioenergie ist die Sonnenenergie. Diese kann von Pflanzen mit Hilfe der Photosynthese in Biomasse chemisch gebunden werden. Abhängig von der Art der Biomasse sind unterschiedliche Aufbereitungsschritte notwendig. So können Verfahren wie Methangärung (Biogas), alkoholische Gärung (Ethanol), Pyrolyse oder Ölextraktion (Pflanzenöl) mit anschließender Umesterung (Biodiesel) notwendig sein, oder, wie bei Holz, auch eine direkte Verwendung erfolgen. Die Nutzung erfolgt meist in Anlagen, die in identischer oder ähnlicher Form auch mit fossilen Energieträgern betrieben werden (Feuerung (mit Dampfkessel), Verbrennungsmotor, Gasturbine).

Wärme- und Stromerzeugung

Verschiedene Bioenergieträger werden zur Strom- oder Wärmebereitstellung eingesetzt. Auch eine kombinierte Erzeugung durch sogenannte Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist möglich. Bei der Kraft-Wärme-Kopplung wird eine höhere Gesamtwirkung erreicht als bei der alleinigen Stromerzeugung. Beispiele für KWK-Anlagen sind Biomasseheizkraftwerke (Verfeuerung fester Biobrennstoffe), Biogasanlagen mit BHKW (Vergärung fester Brennstoffe) und Biomasseverfeuerungsanlagen mit BHKW (so genannte Holzgas-BHKW)



Unterschubfeuerung einer Pelletheizung

- Biomassekraftwerke sind ganzjährig betriebene Anlagen zur Biomasseverfeuerung , die über Dampfturbinen Elektrizität produzieren. Der eletrische und Gesamtwirkungsgrad liegt bei 30 bis 35 %. Zum Einsatz kommen vorwiegend Gebrauchtholz (Altholz) sowie preisgünstige sonstige Holzsegmente (Restholz). Die typische Leistung liegt bei 20 MWel.
- Biomasseheizwerke und Biomasseheizkraftwerke nutzen ganzjährig Biomasse, um Wärme und, bei Heizkraftwerken, auch Strom zu erzeugen. Dabei kommen Dampfmotoren und -turbinen und ORC-Turbinen zum Einsatz. Neben Forstholz (Waldrestholz) und Industrierestholz als hauptsächlichem Brennstoff können auch landwirtschaftliche Erzeugnisse wie das Holz aus Kurzumtriebsholz und Stroh genutzt werden. Der elektrische Wirkungsgrad liegt bei 15 bis 25 %, der thermische Wirkungsgrad bei etwa 60]nbsp;%. Eine Nutzung in Kleinanlagen (Kamine, Öfen, Heizkessel) in Wohnhäusern ist möglich, beispielsweise in Pelletheizungen zur Wärmebereitstellung. Bei höherem Wärmebedarf (Mehrfamilienhäuser, Gewerbe, Industrie) kommen auch Holzhackschnitzelheizungen zum Einsatz. Die typische Leistung liegt bei 0,5 bis 20 MWel.
- Biomassevergaser-BHKW (Holzgas-BHKW) befinden sich derzeit noch in der Entwicklung und Markteinführung. Sie basieren auf der Verbrennung von Prozessgasen, die bei der Biomassevergasung entstehen. Dabei können unterschiedliche Sotimente von Holz, Halmgutartige Biomasse und viele weitere Rohstoffe zum Einsatz kommen. Der elektrische Wirkungsgrad liegt bei 10 bis 30 %, der thermische Wirkungsgrad bei etwa 40 bis 50 %. Die typische Leistung liegt bei 30 bis 250 kWel.
- Durch Vergärung von Gülle, Pflanzensilage und anderer Biomasse (Substrat) in Biogasanlagen wird sogenanntes Biogas erzeugt. Meist erfolgt nach geringfügiger Aufbereitung des Gases die Erzeugung von elektrischem Strom und Nutzwärme in einem BHKW an der Biogasanlage. Durch eine weitere, aufwendige Aufbereitung (Biogasaufbereitung) zu Biomethan (Bioerdgas) ist in Deutschland seit einigen Jahren auch eine Einspeisung in das Erdgasnetz möglich. Durch Verstromung des Biomethans an einer geeigneten Wärmesenke kann eine bessere Abwärmenutzung möglich sein. Auch eine Nutzung des Biomethans als Kraftstoff in Fahrzeugen mit Erdgasantrieb ist möglich.
- Eine weitere Option kann die Herstellung von Synthetic Natural Gas (SNG, synthetisches Erdgas) aus Biomasse durch Pyrolyse und anschließende Methanisierung sein. Wie bei der Aufbereitung von Biogas zu Bioerdgas kann das Produkt der Methanisierung auf Erdgasqualität aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist werden. Eine Nutzung sowohl zur Strom- und Wärmeerzeugung als auch als Kraftstoff ist möglich. Bisher hat die Erzeugung von SNG nur eine geringe Bedeutung.

Biokraftstoffe

Hauptartikel: Biokraftstoffe

Biokraftstoffe werden häufig unterteilt in eine erste, zweite und dritte Generation. Neben der Verwendung in Kraftfahrzeugen können die Biokraftstoffe auch zur Strom- und Wärmeerzeugung, beispielsweise in BHKWs, genutzt werden.

Biokraftstoffe der ersten Generation

Wird für die Herstellung nur ein begrenzter Anteil einer Pflanze verwendet, so wird das Produkt zur ersten Generation gezählt.

- Bioethanol wird durch Vergärung von Zuckern (aus Zuckerrübe, Zuckerrohr) und Zuckerpolymeren wie vor allem Stärke (aus Mais, Getreide, Kartoffel) gewonnen.
- Pflanzenöle werden durch Pressen oder Extraktion aus ölhaltigen Pflanzenbestandteilen gewonnen (Frucht von Raps, Soja, Sonnenblume).
- Biodiesel wird zur Verbesserung der Eigenschaften als Kraftstoff durch Umesterung aus Pflanzenölen hergestellt.
- Biomethan aus Biogas kann auch als Kraftstoff dienen. Da die Ausbeute pro Anbaufläche relativ hoch ist, wird es gelegentlich auch der zweiten Generation zugeordnet.



Omnibus mit Biodieselwerbung

Biokraftstoffe der zweiten Generation

Wird nahezu die vollständige Pflanze oder bisher unerschlossene Reststoffe verwendet, ordnet man das Produkt der zweiten Generation zu. Insbesondere Cellulose- und Lignocellulose-Anteile von Pflanzen und Holz wird ein hohes Potential zugeordnet. Da der Herstellungsprozess bei derzeitigem Stand der Technik jedoch deutlich aufwendiger ist, als bei Kraftstoffen der ersten Generation, erfolgt bisher keine Umsetzung in großem kommerziellen Maßstab.

- BtL-Kraftstoffe (biomass to liquid) können aus fast jeder Art Biomasse (Stroh, Miscanthus, Kurzumtriebsholz, Waldrestholz, Holzabfälle) hergestellt werden. Diese wird durch Vergasung zunächst in niedermolekulare Bestandteile zerlegt und nach einer Gasreinigung durch Fischer-Tropsch-Synthese in ein Gemisch von Kohlenwasserstoffen umgewandelt. Die Verfahren befinden sich noch in der Entwicklung.
- Die Gewinnung von Bioethanol aus Cellulose (Cellulose-Ethanol) ist ebenfalls noch in der Entwicklung.

Biokraftstoffe der dritten Generation

Gelegentlich werden Algenkraftstoffe wegen der hohen Produktivität der Algen pro Kultivierungsfläche als dritte Generation der Biokraftstoffe genannt. Jedoch findet derzeit keine kommerzielle Produktion statt und wird von Kritikern wegen hoher Betriebs- und Investitionskosten auch in absehbarer Zukunft nicht erwartet.

Potenziale und Flächenbedarf

(*siehe auch Artikel Biomassepotential*)


Rapsfelder

Die Potenziale der Bioenergien hängen vor allem von der Verfügbarkeit von Anbaufläche, auf denen Nachwachsende Rohstoffe (NawaRos) für die Energieerzeugung angebaut werden können, ab. Wichtig ist auch die Menge an landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen und anderen organischen Reststoffen.

Nach Erhebungen der Food and Agriculture Organization (FAO) sind 3,5 Mrd. ha degradierte Fläche, die für den Anbau von Bioenergiepflanzen infrage käme, während die Anbaufläche für Biokraftstoffe im Jahr 2007 weltweit lediglich 30 Mio. ha. betrug.[1] Die weltweit verfügbaren Potenziale für Bioenergie sind demnach noch weitestgehend unerschlossen, ohne dass eine Konkurrenz zu Nahrungsmittelanbau entstehen müsste.

Nach einem Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) beträgt das technische Potenzial unter Beachtung sehr weitreichender Naturschutzkriterien zwischen 30 und 120 Exajoule (EJ), was ca. 6% bis 25% des weltweiten Primärenergiebedarfs entspricht. Zusammen mit biogenen Reststoffen kann Bioenergie demnach 80 bis 170 EJ und damit 16% bis 35% des Weltenergiebedarfs bereitstellen. Aufgrund wirtschaftlicher und politischer Restriktionen sei eine Abschöpfung des Potenzials jedoch womöglich nur etwa zur Hälfte möglich (d.h. 8% bis 17,5% des Weltenergiebedarfs).[2]



Palmölplantage

Andere Studien berechnen weit höhere mögliche Potenziale bis zu 1440 EJ (das Dreifache des Weltenergiebedarfs), insbesondere aufgrund höherer Annahmen zur Ertragshöhe pro Flächeneinheit vor allem auf degradierten Böden, die im WBGU-Gutachten ausgesprochen konservativ eingeschätzt wurden. Eine Studie im Auftrag der Agentur für Erneuerbare Energie [3] kommt zu dem Ergebnis, dass bei Nutzung der Hälfte der weltweiten degradierten Flächen mehr als 40% des heutigen globalen Primärenergiebedarfs aus Energiepflanzen gedeckt werden kann. Zusammen mit biogenen Reststoffen kann demnach die Hälfte des gesamten Weltenergiebedarfs mithilfe von Bioenergie gedeckt werden, ohne dass Nutzungskonkurrenzen zu Naturschutz oder Nahrungsmittelversorgung entstehen müssten. [3]

In Deutschland wurden 2007 mit 2 Mio. ha auf 12% der landwirtschaftlichen Nutzfläche Energiepflanzen angebaut. Einer vom Bundesumweltministerium vorgelegten Stoffstromanalyse zufolge kann diese Fläche bis 2030 mehr als verdoppelt werden (4,4 Mio. ha), ohne in Nutzungskonkurrenzen mit der Nahrungsmittelerzeugung zu geraten. Die auf dieser Fläche produzierten Energiepflanzen können demnach, zusammen mit biogenen Reststoffen, rund 16% des deutschen Strombedarfs, 10% des Wärmebedarfs und 12% des Kraftstoffbedarfs bereitstellen.[4]

Laut dem von der Agentur für Erneuerbare Energie [3] im Januar 2010 vorgelegten Potenzialatlas Erneuerbare Energie wird der für Bioenergie benötigte Flächenbedarf von heute ca. 1,6 Mio. ha auf 3,7 Mio. ha im Jahr 2020 ansteigen, wobei hiermit 15% des gesamten deutschen Strom-, Wärme- und Kraftstoffbedarfs durch Bioenergie gedeckt werden kann. Die Versorgung mit Lebensmitteln sei dabei zu keinem Zeitpunkt gefährdet. „Trotz des steigenden Anteils der Bioenergie gibt es jedes Jahr deutliche Überschüsse bei der Getreideernte in Deutschland und der EU“, sagt Daniela Thrän vom Deutschen Biomasseforschungszentrum (DBFZ). „Die Produktivität in der Landwirtschaft steigt im Schnitt weiter an. Hinzu kommen Reststoffe wie Stroh, Gülle oder Restholz sowie brachliegende Flächen – das Potenzial bei Bioenergie ist also immer noch sehr groß“, ist Thrän überzeugt.[5]

Gegenwärtig werden 5% der globalen Getreideernte zur Herstellung von Biokraftstoffen genutzt. [6] Von der europäischen Getreideernte werden 1,6% für Biokraftstoffe genutzt. Der überwiegende Teil (58%) wird für Viehfutter verwendet. [7]

Vor- und Nachteile der Bioenergien

Bei der Bewertung der Bioenergien sind zahlreiche Aspekte zu berücksichtigen, wie beispielsweise die Wirtschaftlichkeit, die Klimaverträglichkeit, der Einfluss auf die Ökologie (Biodiversität) und die Flächenkonkurrenz gegenüber der Nahrungsmittelerzeugung. Da diese Aspekte oft im Widerspruch zueinander stehen, führt die Bewertung meist zu ambivalenten Ergebnissen. Zudem ist keine einheitliche Bewertung für alle Bioenergien möglich, da sich die einzelnen Energien in Bereitstellung, Nutzung, Wirkungsgraden, Emissionen etc. stark unterscheiden.



Zuckerrohrplantage in Ituverava, Brasilien

Vorteile



Bioethanolfabrik in Piracicaba, Brasilien. Die Fabrik produziert die benötigte Elektrizität durch Verbrennen der bei der Ethanolproduktion anfallenden Bagasse und verkauft überschüssige Energie.

- Ein wichtiger Vorteil der Bioenergien basiert auf ihrer Erneuerbarkeit. Vorkommen von fossilen Energieträgern werden geschont.
- Bioenergien können zur Verringerung der Treibhausgas-Emissionen beitragen. Bei der Verbrennung von Biomasse wird nur soviel Kohlendioxid freigesetzt, wie auch zuvor bei der Photosynthese aus der Atmosphäre aufgenommen wurde. Bei Bioenergien muss berücksichtigt werden, dass bei der Erzeugung und Nutzung von Biomasse Emissionen starker Treibhausgase (Lachgas, Methan) entstehen können, die zu einer negativen Klimabilanz führen können.
- Die verstärkte Nutzung von Biokraftstoffen ist auch aus sicherheits- und entwicklungspolitischen Aspekten notwendig, um Konflikte um das immer knapper werdende Erdöl zu vermeiden und Energierohstoffimporte zu reduzieren. Insbesondere Entwicklungsländer wenden einen großen Anteil ihrer finanziellen Mittel für den Import von Energieträgern wie z. B. Erdöl auf.
- Bioenergie kann einen wichtigen Beitrag zur Stärkung des ländlichen Raumes und zur Eindämmung von Landflucht leisten, etwa durch Regenerierung der weltweiten degradierten Flächen, der Erschließung eines zweiten Standbeins für Landwirte durch eigene Produktion von Strom, Wärme und Treibstoffen, sowie der Bereitstellung einer dezentralen Energieversorgung.
- Bioenergie wird vor allem dann eine sehr gute Ökobilanz zugesprochen, wenn organische Abfälle, Reststoffe und organisch belastete Abwässer verwertet werden, die man sonst mit unter Umständen großem Energieaufwand behandeln müsste [8] . Da solche Rest- und Abfallstoffe preiswert oder kostenlos verfügbar sind, können sie wirtschaftlich verwertet werden. Das findet beispielsweise in Klärwerken und Biogasanlagen mit Cofermentation statt. In Ländern wie China und Indien sind Kleinstbiogasanlagen verbreitet, die mit organischen Abfallstoffen betrieben werden und einzelne Haushalte mit Kochgas versorgen [9] . Die Verwertung von Güllen wird aus ökobilanzieller Sicht als problematischer bewertet.[10]
- Monokulturen von Energiepflanzen können durch Anbausysteme, wie Mischfruchtanbau (gleichzeitiger Anbau von Energiepflanzen wie Mais und Sonnenblumen) oder Zweikulturensysteme (Anbau von Winter- sowie Sommerkultur auf derselben Fläche, z.B. Wintertriticale und Zuckerhirse) vermieden und zugleich nachhaltige hohe Erträge gesichert werden. Einige Pflanzen, wie z. B. Raps, können nicht mehrfach auf einer Fläche angebaut werden, so dass auch dadurch das Ausmaß von Monokulturen begrenzt wird.[11]

Nachteile

- Die Umwandlung ökologisch wertvoller Flächen wie Regenwald, Moore oder Grünland in Ackerland führt ebenfalls zu einer Gefährdung und Verringerung der Biodiversität. Zudem können diese Flächen in ihrem ursprünglichen Zustand große Mengen CO_2 gespeichert haben, welches bei der Umwandlung in Ackerland (Brandrodung, Trockenlegung) freigesetzt wird.[12] Die Nachhaltigkeitsverordnung stellt jedoch in Deutschland sicher, dass die hierzulande für Biokraftstoffe verwendete Biomasse nicht aus Raubbau von Regenwäldern stammt.
- Ein Teil der Biomasse muss auf landwirtschaftlichen Flächen verbleiben, um die Bodenqualität zu erhalten. Durch die vollständige Nutzung der Pflanzen verschlechtert sich die Humusbilanz. Bei forstlicher Biomasse führt eine intensive Nutzung zu Nährstoffentzug aus dem Wald. Zudem bietet Totholz einen Lebensraum für viele verschiedene Arten.



Silageproduktion aus Energiemais

Sicherstellung der Nachhaltigkeit von Bioenergien

Um die Nachhaltigkeit der Herstellung und Nutzung von Bioenergieträgern sicherzustellen, werden verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen[13]:

- Bioenergie sollte, statt zur Treibstofferzeugung, zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung) verwendet werden.
- Die Bemühungen zur Senkung der Primärenergienachfrage (durch Effizienz und Suffizienz) sollte intensiviert werden, statt auf einen massiven Ausbau ambivalenter erneuerbarer Energien zu setzen.
- Die im Juni 2009 in Kraft getretene EU-Erneuerbare-Energien-Richtlinie[14] stellt Kriterien für die nachhaltige Produktion von Bioenergien auf. Verschiedene Kritikpunkte werden geäußert, wie (a) Vollzugsprobleme speziell in den Entwicklungsländern, (b) Unvollständigkeit, (c) Probleme wie Nutzungskonkurrenzen mit der Nahrungsmittelproduktion lassen sich nicht als Kriterien formulieren; (d) es drohen Verlagerungseffekte, die die Kriterien leerlaufen lassen (ein Verbot der Biomasseproduktion im Regenwald könnte z. B. eine vermehrte Futtermittelproduktion im Regenwald zur Folge haben).[15]

Eine Umsetzung der Richtlinie in deutsches Recht erfolgte mit der seit August 2009 gültigen Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV) und der seit September 2009 gültigen Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV).

Perspektive der Bioenergien

Zukünftig ist mit einem weiteren massiven Ausbau der Bioenergien zu rechnen. In Deutschland erfolgt die Förderung durch verschiedene Maßnahmen. Durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wird unter anderem eine erhöhte Vergütung für Strom aus Biomasse sichergestellt, aber auch die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gefördert. Nach dem Energiesteuergesetz sind zudem reine Biokraftstoffe steuerbegünstigt. Auch in anderen Staaten (Österreich, Schweden, USA, etc.) werden Bioenergien gefördert und decken teilweise einen großen Anteil des Energiebedarfs. Da Bioenergie, anders als Wind- und Solarstrom, einfach speicherbar ist, wird sie als wichtige Regelenergie für die künftige Stromversorgung gesehen (virtuelles Kraftwerk).

Literatur

- Agentur für Erneuerbare Energien: *Globale Bioenergienutzung – Potenziale und Nutzungspfade.* [17] Berlin 2009, Kurzstudie über die globalen Potenziale von Biomasse
- Agentur für Erneuerbare Energien: *Der volle Durchblick in Sachen Bioenergie.* [18] Berlin 2008, Broschüre über Vorurteile und Fakten hinsichtlich Bioenergie
- Grit Ludwig: *Nachhaltigkeitsanforderungen beim Anbau nachwachsender Rohstoffe im europäischen Recht*. Zeitschrift für Umweltrecht 2009, S. 317-321
- Felix Ekardt, Andrea Schmeichel, Mareike Heering: *Europäische und nationale Regulierung der Bioenergie und ihrer ökologisch-sozialen Ambivalenzen*. Natur und Recht 2009, S. 222-232 (2009)
- Umweltdaten.de: *Nachhaltige Bioenergie: Stand und Ausblick.* [19] Zusammenfassung bisheriger Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Entwicklung von Strategien und Nachhaltigkeitsstandards zur Zertifizierung von Biomasse für den internationalen Handel“, Darmstadt/Heidelberg 2009, i.A. des Umweltbundesamts (PDF 350 kB)
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): *Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung.* [20] Jahresgutachten 2008, Berlin (PDF 17 MB), ISBN 978-3-936191-21-9
- Agentur für Erneuerbare Energien: *Viel Ertrag auf wenig Fläche – Erster Potenzialatlas Erneuerbare Energien erschienen* [21], 14. Januar 2010
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): *Factsheet Bioenergie.* [22] 1/2009 (PDF 1,7MB)
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): Uwe R. Fritsche, Kirsten Wiegmann: *Treibhausgasbilanzen und kumulierter Primärenergieverbrauch von Bioenergie-Konversionspfaden unter Berücksichtigung möglicher Landnutzungsänderungen.* [23] Expertise des Öko-Instituts zum WBGU-Gutachten 2008, Berlin 2008 (PDF 1,6 MB)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): *The State of Agriculture 2008 - Biofuels: prospects, risks and opportunities.* [24] Rom (PDF 1,4MB)
- Bernd Geisen: *Energieversorgung der Zukunft - Strom, Wärme und Kraftstoffe aus Biomasse*. Müll und Abfall 37(11) 2005, S. 548-551, ISSN 0027-2957 [7]
- Daniela Thrän, Alexander Vogel, Michael Weber: *Biogene Kraftstoffe in Deutschland, Techniken und Potenziale*. Müll und Abfall 37(11) 2005, S. 552-559, ISSN 0027-2957 [7]
- Forschungs- und Dokumentationszentrum Chile-Lateinamerika e.V.: Thomas Fritz: *Das Grüne Gold. Welthandel mit Bioenergie - Märkte, Macht und Monopole.* [25] Berlin 2007, ISBN 978-3-923020-37-9 (PDF 1MB)
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: *Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen.* [26] zweite, überarbeitete Auflage, Gülzow 2005, ISBN 3-00-015389-6
- Hausmann, Stefan; Pohl, Daniel; Jonas, Patrick: *Bioenergie - CleanTech Treiber im Fokus* [27] Deutsches CleanTech Institut (DCTI), Bonn 2010. Kostenlose Studie im Download, PDF 11.3 MB.

Weblinks

- Praxisbeispiele für Bioenergieanlagen [28] auf der Internetseite der *Niedersachsen Netzwerks Nachwachsende Rohstoffe* (3N), abgerufen am 20. Januar 2010
- Bioenergie auf der Website "Erneuerbare Energien" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [29]
- Bundesverband Bioenergie e.V. (BBE) [30]
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) [31]
- Bundesverband Pflanzenöle [32]
- Fördergesellschaft nachhaltige Biogas- und Bioenergienutzung [33]
- Fachverband Biogas [34]

- Portal "Biomasse" bei der Agentur für Erneuerbare Energien [35]
- Verband der deutschen Biokraftstoffindustrie [36]
- Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen [37]
- Der volle Durchblick in Sachen Bioenergie [38], Broschüre (PDF, 1,9 MB)
- Bioenergie - aber natürlich! Nachwachsende Rohstoffe aus Sicht des Umwelt- und Naturschutzes (Broschüre NABU/DVL) [39] (PDF-Datei; 5,33 MB)
- Blog zur aktuellen Biomasse-Nutzung [40]
- Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ) [41], Einrichtung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) zur Forschung im Bereich der energetischen Biomassenutzung
- Deutsches CleanTech Institut, Bonn [42]

Referenzen

[1] J. O. Metzger, A. Hüttermann: *Sustainable global energy supply based on lignocellulosic biomass from afforestation of degraded areas.* In: *Naturwissenschaften.* Vol. 96, Nr. 2, Februar 2009

[2] Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): *Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung.* Berlin 31. Oktober 2008.

[3] Agentur für Erneuerbare Energien: *Globale Bioenergienutzung – Potenziale und Nutzungspfade.* (http://www.unendlich-viel-energie.de/de/bioenergie/detailansicht/article/102/globale-bioenergienutzung-potenziale-und-nutzungspfade.html), Berlin 2009, hier: S. 9

[4] Agentur für Erneuerbare Energien: *Der volle Durchblick in Sachen Bioenergie.* (http://www.unendlich-viel-energie.de/de/detailansicht/browse/2/article/254/der-volle-durchblick-in-sachen-erneuerbare-energien.html), Berlin 2008, hier: S. 10

[5] Agentur für Erneuerbare Energien: *Viel Ertrag auf wenig Fläche – Erster Potenzialatlas Erneuerbare Energien erschienen* (http://www.unendlich-viel-energie.de/de/wirtschaft/detailansicht/article/201/viel-ertrag-auf-wenig-flaeche-erster-potenzialatlas-erneuerbare-energien-erschienen.html), 14. Januar 2010

[6] FAO/Töpfer zitiert nach Agentur für Erneuerbare Energien: Der volle Durchblick in Sachen Bioenergie. Berlin 2008, S. 6

[7] EU Cereal Management Committee 2008

[8] Walter Edelmann et al.: *Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe.* Februar 2001, (online (PDF 3,3MB)) (http://www.naturemade.ch/Dokumente/oekobilanzen/Ã kobilanz FeststoffvergÃ¤rung.pdf) teilweise anders SRU (2007), *Klimaschutz durch Biomasse.* Sondergutachten

[9] Deublein, Steinhauser: *Biogas from Waste and Renewable Resources.* Wiley-VCH, Weinheim 2008

[10] Edelmann et al.: *Oekobilanz der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas.* 2001, (online (PDF 3,6MB)) (http://www.naturemade.ch/Dokumente/oekobilanzen/Ã kobilanz landw.Biogas.pdf)

[11] Carmen e.V.: Kathrin Deiglmayr: *Biogas-Fruchtfolgen –ökologisch nachhaltig und wirtschaftlich erfolgreich.* (http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/vortraege/fg_biomasse09/08_Deiglmayr.pdf) Straubing 2009, (PDF 1,9MB)

[12] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: *Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik.* (http://www.bmelv.de/cln_173/SharedDocs/Standardartikel/Ministerium/Organisation/Beiraete/Veroeffentlichungen/NutzungBiomasseEnergiegewinnungVorwort.html) Gutachten des Beirats für Agrarpolitik, November 2007

[13] F. Ekardt et al.: *Europäische und nationale Regulierung der Bioenergie und ihrer ökologisch-sozialen Ambivalenzen, Natur und Recht.* 2009, S. 222-232; SRU, *Klimaschutz durch Biomasse.* Sondergutachten 2007

[14] F. Ekardt et al.: *Europäische und nationale Regulierung der Bioenergie und ihrer ökologisch-sozialen Ambivalenzen, Natur und Recht.* 2009, S. 222-232

[15] G. Ludwig: *Nachhaltigkeitsanforderungen beim Anbau nachwachsender Rohstoffe im europäischen Recht.* Zeitschrift für Umweltrecht 2009, S. 317 ff.

Bioenergiedorf

Ein **Bioenergiedorf** ist ein Dorf, das einen großen Teil seines Strom- und Wärmebedarfs unter Nutzung von überwiegend regional bereitgestellter Biomasse selbst deckt. Es gibt keine klare Vorgaben, aber gängig ist diese Definition:[1] [2]

- Es wird soviel Strom erzeugt, wie vom Dorf benötigt wird.
- Mindestens die Hälfte der Wärme wird bereitgestellt, am besten durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).
- Über 50 % der Anlagen sind im Besitz von Wärmeabnehmern und Landwirten.

Ein Bioenergiedorf dient unter anderem dem Klimaschutz und kann die regionale Wirtschaft stärken. Das erste Bioenergiedorf war Jühnde bei Göttingen und wurde in 2006 eingerichtet. Zahlreiche weitere Projekte wurden inzwischen umgesetzt.

Basis der Energieversorgung ist häufig eine Biogasanlage oder eine Biomasseheizkraftwerk, die per KWK Strom und Wärme bereitstellen. Auch Erneuerbare Energien, die nicht zur Bioenergie gehören, können zum Einsatz kommen, wie z. B. Photovoltaik, Solarthermie und anderes.



Biogasanlage in Neuhaus (Oste)



Holzheizkraftwerk in Oerlinghausen



Hausverteiler eines Nahwärmenetzes

Das Konzept eines Bioenergiedorfes hängt stark von den örtlichen Rahmenbedingungen ab. In landwirtschaftlich geprägten Regionen bietet sich beispielsweise eine Biogasanlage als zentrale Anlage des Energieversorgungskonzepts an. Landwirtschaftliche Betriebe können die benötigte Biomasse (Substrat) in Form von Silage, Mist, Gülle und anderem in ausreichender Menge bereitstellen. In forstwirtschaftlich geprägten Regionen kann ein Biomasseheizkraftwerk als zentrale Anlage geeigneter sein, da Biomasse in Form z. B. von Holzhackschnitzeln bereitgestellt werden kann. Diese Anlage mit KWK laufen kontinuierlich und stellen somit immer eine bestimmte Menge Strom und Wärme bereit. Der Strombedarf eines Dorfes schwankt jedoch stark, abhängig von Tageszeit, Jahreszeit und anderem (Lastprofil). Da eine Speicherung von Strom im kleinen Rahmen sehr aufwendig ist, wird der Strom in das Stromnetz eingespeist. Die Regelleistung wird somit von den Stromnetzbetreibern erbracht. Für Strom aus Biomasse wird durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) eine erhöhte Vergütung für 20 Jahre garantiert. Je nach Anlagenkonzept kann sich diese Vergütung durch bestimmte Boni noch erhöhen. Der Wärmebedarf eines Dorfes schwankt noch stärker als der Strombedarf. Im Sommer wird über das Nahwärmenetz nur wenig Wärme für die Erwärmung von Brauchwasser abgesetzt, während der Bedarf durch Gebäudebeheizung im Winter auf ein Vielfaches steigt. Würde die zentrale KWK-Anlage entsprechend dimensioniert, würde ein großer Teil der zwangsläufig anfallenden Wärme im Sommer ungenutzt bleiben. Daher werden in der Regel Heizkessel wie z. B. Holzhackschnitzelheizungen installiert, die nur im Winter in Betrieb sind.

Für die extremsten Lastspitzen an kalten Wintertagen kann zudem zusätzlich ein preiswerter Heizöl- bzw. Rapsmethylesterkessel installiert sein, so dass die Wärmeabnehmer über keine eigene Heizung mehr verfügen müssen.[1] [3]

Projekte

Die ersten Bioenergiedörfer waren Jühnde zu Anfang 2006 bzw. Mauenheim zu Ende 2006. Eine Reihe weiterer Projekte wurden umgesetzt oder sind in der Planung.[2] Einige sind im Folgenden dargestellt.

Jühnde

Das erste Bioenergiedorf in Deutschland war Jühnde (1089 Einwohner) im Landkreis Göttingen. In einem Projekt des Interdisziplinären Zentrums für Nachhaltige Entwicklung (IZNE) der Universität Göttingen konnte das Ziel, den kompletten Energiebedarf durch regenerative Energieträger zu decken, im Januar 2006 erfolgreich umgesetzt werden. Neben der Deckung des Wärmebedarfs der Haushalte erzeugt der Ort deutlich mehr Strom, als er selbst verbraucht.[4]



Jühnde bei Göttingen in 2005, links die im Bau befindliche Biogasanlage

Eine Biogasanlage mit 700 kW_{el} erzeugt jährlich etwa 5 Mio. kWh Strom und damit mehr als das doppelte des Bedarfs in Jühnde. Ein mit Holzhackschnitzeln betriebenes Holzheizwerk kann 550 kW_{th} und ein Spitzenlast-Ölkessel 1,6 MW_{th} bereitstellen. Insgesamt werden etwa 3,2 Mio kWh Wärme pro Jahr abgesetzt. Die Biogasanlage benötigt als Substrat jährlich 9.000 m^3 Gülle und 15.000 t Biomasse, die auf 320 ha Fläche erzeugt werden. Etwa 1000 Schüttraummeter Holzhackschnitzel werden jährlich verbrannt.[1] [5]

Es wird geschätzt, dass die teilnehmenden Haushalte in Jühnde nach Abzug der Kosten 750 € pro Jahr an Energiekosten einsparen und das Dorf mit der Energiegewinnung aus Biomasse Einnahmen von über 680.000 Euro pro Jahr erzielt.[6]

Freiamt

Die 4300-Einwohner-Gemeinde Freiamt im Schwarzwald nutzt nahezu das gesamte Spektrum der erneuerbaren Energien zur Selbstversorgung mit Strom und Wärme. Solaranlagen, Wind- und Wassermühlen sowie eine Biogasanlage produzieren im Jahr 14,3 Mio. kWh Strom, wovon 1,5 Mio. kWh nicht benötigt und ins Netz eingespeist werden. Rund 160 Sonnenkollektoren werden zur Warmwasserbereitung genutzt. Geheizt wird auch mit Holzhackschnitzel- und -pelletheizungen sowie dem Biogas.[7]

Güssing

Die 3.764 Einwohner zählende Stadt Güssing gilt als Biomassezentrum Österreichs. Ein Fünftel des Holzaufwuchses im Bezirk Güssing von 100.000 Tonnen pro Jahr wird zur Wärme- und Stromerzeugung verwendet. Der 1990 vom Gemeinderat der Stadt beschlossene 100-prozentige Ausstieg aus der fossilen Energieversorgung wurde in weniger als 15 Jahren umgesetzt. Die Zahl der durch die Biomassenutzung entstandenen Arbeitsplätze wird auf über 1.000 geschätzt.[6]



Holzvergaser in Güssing

Mauenheim

Mauenheim, ein Ortsteil von Immendingen im Landkreis Tuttlingen mit rund 400 Einwohnern und 148 Gebäuden, ist als Bioenergiedorf seit 1. November 2006 am Netz. Die Biogasanlage, das BHKW und die Hackschnitzelheizung werden durch eine Photovoltaikanlage ergänzt. Für die Finanzierung und den Betrieb des Projekts wurde eine Bürgerbeteiligungs-Gesellschaft gegründet. Nach Berechnungen der Betreiber soll durch das Projekt die Emission von etwa 1900 t CO_2 pro Jahr vermeiden.[3]

Mertingen

In bayerischen Mertingen (3900 Einwohner) versorgt unter anderem eine Holzhackschnitzel-Heizung (450 kW_{th}) die öffentlichen Einrichtungen.

Ostritz

Die Wärmeversorgung der sächsischen Kleinstadt Ostritz mit 3.000 Einwohnern erfolgt durch ein Biomasseheizkraftwerk, aus dem die Wärme durch Fernwärmeleitungen in die Haushalte geleitet wird. Forstbetriebe, Schreinereien und Sägewerke aus der Umgebung liefern den Rohstoff Holz. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) unterstützte den Ausbau mit knapp zwölf Millionen Euro. Neben der Biomasse liefern Windkraft-, Wasserkraft und Solaranlagen Energie. Der Ausbau zur ökologischen Modellstadt hat einige Dauer-Arbeitsplätze geschaffen.

Rai-Breitenbach

Im Breuberger Stadtteil Rai-Breitenbach (rund 900 Einwohner) im Odenwald versorgt eine Betreiber-Genossenschaft seit August 2008 über ein Nahwärmenetz Abnehmer im Dorf mit biogen erzeugter Wärme. Das Wärmekonzept umfasst ein Biomasse-Heizkraftwerk mit Holzhackschnitzelkessel in Kombination mit einem Holzvergasungs-Blockheizkraftwerk. Die Spitzenlast soll über einen Ölheizkessel mit Pflanzenöl abgedeckt werden.[8]

Sauerlach

Über ein 19 Kilometer langes Wärmenetz deckt ein gemeindeeigenes Hackschnitzel-Heizkraftwerk etwa 60% des Wärmebedarfs im bayerischen Ort Sauerlach (Stand: Januar 2007, 6767 Einwohner). Neben fast allen öffentlichen Gebäuden sind etwa 300 Privatkunden an das Wärmenetz angeschlossen. Die Stromerzeugung des Heizkraftwerks nutzt ORC-Technik (Organic Rankine Cycle), die Stromerzeugung auch bei relativ niedrigen Prozesstemperaturen erlaubt.[9]

Wolpertshausen

Wolpertshausen bei Schwäbisch Hall (Baden-Württemberg) mit 1800 Einwohnern wird zu 50 Prozent aus erneuerbaren Energien versorgt (2006). Das *Ökologische Wohngebiet Wolpertshausen* wird komplett über Nahwärme bzw. eine Biogas-Gemeinschaftsanlage versorgt (Inbetriebnahme: 1996).[10]

Oberrosphe

Oberrosphe ist ein Ortsteil von Wetter (Hessen) mit ca. 800 Einwohnern. Im Oktober 2008 hat die Bioenergiedorf Oberrosphe eG. eine Heizwerk mit Holzhackschnitzelofen in Betrieb genommen. Die Hälfte der Haushalte wird seit dem über das 7,0 km lange Netz mit Wärme versorgt. Zusätzlich wird Solarstrom erzeugt und in das Stromnetz eingespeist. .[11]

Renquishausen

In Renquishausen (ca. 750 Einwohner, Landkreis Tuttlingen, Baden-Württemberg) werden ab Sommer 2009 mehr als 75% der Einwohner mit Wärme aus Bioenergie versorgt, Die Stromproduktion der Gemeinde mit Bioenergie und anderen erneuerbaren Energien liegt über dem Eigenverbrauch. Eine landwirtschaftliche Biogasanlage liefert Strom und versorgt über ein Nahwärmenetz ab Sommer 2009 rund 120 Häuser mit Wärme. Betreiber des Wärmenetzes ist die Nahwärme Renquishausen GmbH, welcher der Betreiber der Biogasanlage, die Gemeinde und eine Baugenossenschaft angehören. Zudem bestehen zahlreiche private Holzheizungen und Photovoltaikanlagen, seit 1993 betreiben private Eigentümer vier Windenergieanlagen.[12]

Geplante Projekte

Effelter

Unterstützt durch das Projekt "Energievision Frankenwald" hat sich Effelter vorgenommen das erste Bioenergiedorf in Oberfranken zu werden. Mit seinen knapp 300 Einwohnern erfüllt es neben dem örtlichen Traditionshandwerk der Forstwirtschaft optimale Bedingungen für ein Bioenergiedorf.[13]

Landkreis Göttingen

Nach dem Vorbild des erstem deutschen Bioenergiedorfs Jühnde sollen im Raum Göttingen weitere Bioenergiedörfer entstehen. Seit Mitte 2007 werden für sieben Dörfer im Landkreis Göttingen Machbarkeitsstudien erarbeitet. Die Projekte Bioenergiedorf Reiffenhausen [14] und Bioenergiedorf Wollbrandshausen-Krebeck [15] befinden sich seit Juni bzw. August 2009 in der Umsetzung.[14]

Martinshöhe

Die Ortsgemeinde Martinshöhe (etwa 1700 Einwohner) in der Verbandsgemeinde Bruchmühlbach-Miesau, in der Westpfalz gelegen, plant, Bioenergiedorf zu werden. Die im Februar vorgelegte Machbarkeitsstudie wies die Wirtschaftlichkeit des Projektes bei einem Anschluss von 70 v.H. aller Gebäude nach. Vorgesehen ist der Bau einer Biogasanlage (250 KW) zur Abdeckung der Grundlast und der Bau einer Holzhackschnitzelfeuerungsanlage mit Spitzenlastkessel. Der Gesamtwärmebedarf beträgt 5 MW.

Grimburg

Die Ortsgemeinde Grimburg wird das erste Bioenergiedorf in Rheinland-Pfalz. Mit Hilfe des Investors Pfalzwerke AG wird im Rahmen des 4 Millionen Euro Projekts den 180 Haushalten in Grimburg die Möglichkeit gegeben, ihre Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz zu decken, das durch das Blockheizkraftwerk einer Biogasanlage versorgt wird. Zum Einsatz kommen ausschließlich Nachwachsende Rohstoffe.

Neckargemünd (Weststadt)

Im Neckargemünder Stadtteil Weststadt laufen Planungen zur Errichtung eines Heizwerkes auf der Basis von Holzhackschnitzeln. Das Projekt BEST - Bioenergiestadtteil Neckargemünd Weststadt [17] soll genossenschaftlich organisiert werden und Privathaushalte wie örtliche Großverbraucher mit Heizwärme versorgen.

Abwägung

(siehe Artikel Bioenergie)

Neben den Vor- und Nachteilen von Bioenergien haben Bioenergiedörfer spezielle Vor- und Nachteile:

Vorteile

- Die Energie ist für die Verbraucher unter Umständen günstiger als konventionelle Energie.
- Es werden lokale Ressourcen ohne lange Transportwege genutzt.
- Die Energiekosten werden lokal ausgegeben, dadurch wird die lokale Wirtschaft gestärkt und Arbeitsplätze geschaffen.

Nachteile

- Es sind zunächst hohe Investitionen notwendig, die sich erst nach mehreren Jahren amortisieren.
- Das Konzept funktioniert nur, wenn ein nennenswerter Anteil der Einwohner teilnimmt und sich an das Nahwärmenetz anschließen lässt.[15]

Literatur

- Hans Ruppert u. a.: Wege zum Bioenergiedorf – Leitfaden für eigenständige Wärme- und Stromversorgung auf Basis von Biomasse im ländlichen Raum [19]. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow 2008, ISBN 978-3-9803927-3-0.

Weblinks

- www.izne.de [20] - Interdisziplinäres Zentrum der Universität Göttingen, Entstehungsort der Projektidee "Das Bioenergiedorf"
- www.bioenergiedorf.info [21] - Aktionsforschungsprojekt *Das Bioenergiedorf* der Universität Göttingen
- wege-zum-bioenergiedorf.de: Vernetzungsportal zu Bioenergiedörfern aus Deutschland [22], einschließlich einer Übersichtkarte mit Bioenergiedörfern [23]

Referenzen

[1] *Wege zum Bioenergiedorf – Leitfaden für eigenständige Wärme- und Stromversorgung auf Basis von Biomasse im ländlichen Raum* (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_318brosch_bioenergiedorf.pdf), Hans Ruppert u. a.,Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow 2008, als pdf oder kostenlose Broschüre, ISBN 978-3-9803927-3-0, 122-seitig

[2] *Wege zum Bioenergiedorf* (http://www.wege-zum-bioenergiedorf.de/bioenergiedoerfer.html), Informationsseite des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), abgerufen am 11.01.2010

[3] - Bioenergiedorf in Baden-Württemberg startet - Modellprojekt liefert beispielhaften Beitrag zum Klimaschutz (http://www.innovations-report.de/html/berichte/umwelt_naturschutz/bericht-74378.html), Bericht auf *innovations-report.de* vom 20.11.2006, abgerufen am 08.01.2010

[4] *Projekt "Das Bioenergiedorf"* (http://www.bioenergiedorf.info/), Projektinformation des Interdisziplinären Zentrums für Nachhaltige Entwicklung der Universität Göttingen (IZNE) zum Bioenergiedorf Jühnde, abgerufen am 11.01.2010

[5] *Datenblatt Bioenergieanlage Jühnde* (http://www.bioenergiedorf.de/con/cms/upload/Wissenstransfer/Wissenswertes/2005-06-01Kenndaten.pdf), Information auf der Internetpräsenz des Bioenergiedorfs Jühnde, abgerufen am 12. Januar 2009

[6] Informationsportal "kommunal erneuerbar": *Modellkommunen im ländlichen Raum.* Abgerufen am 10.01.2008 (http://www.kommunal-erneuerbar.de/ke510.htm)

[7] Internetpräsenz der Gemeinde Freiamt (http://www.freiamt.de/erneuerbare_energien.php)]

[8] Homepage Bioenergiedorf Rai-Breitenbach (http://www.bioenergiedorf-odenwald.de), abgerufen am 04.03.2008 und 13.08.2008

[9] Wissenswertes über die Gemeinde Sauerlach. (http://www.sauerlach.de/index.php?page=1102) Homepage der Gemeinde Sauerlach, abgerufen am 29.02.2008.

[10] *Ökologische Siedlungen in Baden-Württemberg* (http://www.oekosiedlungen.de/baden-wuerttemberg/), Auflistung auf der Seite oekosiedlung.de, abgerufen am 11.01.2010

[11] Bioenergiedorf Oberrosphe. (http://www.Bioenergiedorf-Oberrosphe.de) Homepage der Bioenergiedorf Oberrosphe eG.

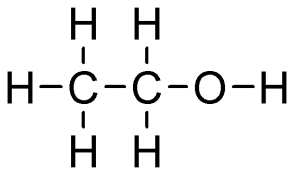
[12] Wege zum Bioenergiedorf: Bioenergiedorf Renquishausen (http://www.wege-zum-bioenergiedorf.de/index.php?id=2117&GID=0&KID=24&OID=979&param=leer&kgrenze1=0&kgrenze2=0)

[13] Internetpräzenz der Initiatoren des Bioenergiedorfs Effelter (http://www.bioenergiedorf-effelter.de/), abgerufen am 11.01.2010

[14] www.goettingerland.de (http://www.goettingerland.de/lplus/index.php) LEADER+ Regionalmanagement

[15] Bioenergiedorf - Biogasanlage Martinshöhe (http://www.martinshoehe.de/rathaus/bioenergiedorf/index.html), Mitteilung des Rathauses Martinshöhe am 20. November 2008, abgerufen am 11. Januar 2010

Bioethanol

Bioethanol	
	
Andere Namen	Ethanol, Äthanol, Äthylalkohol, Ethylalkohol, Alkohol, Agraralkohol, Spiritus, Kartoffelsprit, Weingeist, E100
Kurzbeschreibung	Kraftstoff für angepasste Otto-Motoren
Herkunft	biosynthetisch (Bioethanol)[1] beziehungsweise biogen (Agraralkohol etc.)
Charakteristische Bestandteile	Ethanol (wasserhaltig)
Eigenschaften	
Aggregatzustand	flüssig
Oktanzahl	104 ROZ
Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.	

Als **Bioethanol** bezeichnet man Ethanol, das ausschließlich aus Biomasse (nachwachsende Kohlenstoffträger) oder den biologisch abbaubaren Anteilen von Abfällen hergestellt wurde und für die Verwendung als Biokraftstoff bestimmt ist.[2] Der Begriff Bioethanol ist ein aus den Begriffen biogen und Ethanol gebildetes Kofferwort. Wird das Ethanol aus pflanzlichen Abfällen, Holz, Stroh oder Ganzpflanzen hergestellt, bezeichnet man es auch als Cellulose-Ethanol. Ethanol kann als Kraftstoffbeimischung in Mineralölderivaten für Ottomotoren, als reines Ethanol (E100) oder zusammen mit anderen Alkoholen (z. B. Methanol) als Biokraftstoff verwendet werden.

Im Zusammenhang mit dem Kyoto-Protokoll wird heute häufig über die Herstellung und den Einsatz von Biokraftstoffen debattiert. Aus Biomasse gewonnenes Ethanol ist ein nachwachsender Energieträger, der zwar gegenüber fossilen Energieträgern Vorteile im Bereich CO_2-Ausstoß bietet, jedoch beim Anbau der Energiepflanzen mit hohen Belastungen an klimaschädlichen Gasen wie Distickstoffoxid einhergeht. Trotz einer positiven Energiebilanz wird diskutiert, wie umweltfreundlich die Herstellung von Ethanol angesichts des Bedarfs an Anbauflächen (Monokulturen) tatsächlich ist.

Einsatz

Ethanol-Kraftstoffe werden als Energieträger in Verbrennungsmotoren und Brennstoffzellen verwendet. Insbesondere der Einsatz als Benzin-Ersatz bzw. -Zusatz in Kraftfahrzeugen und neuerdings auch Flugzeugmotoren hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen.

Das Benzin-Alkohol-Gemisch wird in den Vereinigten Staaten als Gasohol und in Brasilien als *Gasolina Tipo C* bezeichnet. In den Vereinigten Staaten sind die Mischungen E10 und E85, die jeweils 10 % beziehungsweise 85 % Ethanol enthalten, verbreitet. In Brasilien wird an allen Tankstellen neben reinem Ethanol nur Benzin mit einen Ethanolanteil von 20 bis 25 % angeboten. Die Regierung ändert diesen Anteil entsprechend der Marktlage (Erntezeit) zur Preisregulierung zuweilen.

Neben der üblichen Verwendung von Ethanol als Ottokraftstoff-Zusatz gibt es auch erste Anwendungen mit Ethanol in Dieselkraftstoff in Form von Emulsionskraftstoffen.[3]

Mischungen von Ethanol-Kraftstoff

Ethanol-Kraftstoffgemisch E85	
Andere Namen	Ethanol-Kraftstoff E85, E85, Ethanol-Benzin-Gemisch
Kurzbeschreibung	Ottokraftstoff mit hohem biogenen Anteil für angepasste Motoren
Herkunft	hauptsächlich biosynthetisch,[1] teilweise fossil
Charakteristische Bestandteile	Ethanol (ca. 85 %), Superbenzin[4] (ca. 15 %)
Eigenschaften	
Aggregatzustand	flüssig
Dichte	0,785 kg/L (15 °C)
Heizwert	6,3 kWh/L = 8,0 kWh/kg
Brennwert	25,4 MJ/L = 32,3 MJ/kg
Oktanzahl	ca. 102 ROZ
Siedebereich	55–180 °C[4]
Flammpunkt	< −21 °C[4]
Zündtemperatur	385 °C[4]

Explosionsgrenze	2,2–25,5 Vol.-%[4]
Temperaturklasse	T3[4]
Explosionsklasse	AII[4]
Sicherheitshinweise	
Gefahrstoffkennzeichnung [4]  Hoch-entzündlich (F+)	
R- und S-Sätze	R: 11-37/38
	S: (2)-7/9-16-33
UN-Nummer	1993[4]
Gefahrnummer	33
Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.	

Gängige Mischungen werden mit *E2*, *E5*, *E10*, *E15*, *E25*, *E50*, *E85* und *E100* bezeichnet. Die dem „E“ angefügte Zahl gibt an, wieviel Volumenprozent Ethanol dem Benzin beigemischt wurden. E85 besteht zu 85 % aus wasserfreiem Bioethanol und zu 15 % aus herkömmlichem Benzin. Bedingt durch die höhere Klopffestigkeit kann die Motorleistung mit E85 gegenüber herkömmlichem Benzin zum Teil deutlich gesteigert werden. Im Sommer 2002 erließ das Bundesministerium der Finanzen ein Gesetz zur Steuerbefreiung u. a. von Ethanol als Biokraftstoff zur Beimischung zu fossilen Kraftstoffen (ermächtigt durch EG Richtlinie 92/81/EWG Art. 8, Abs. 4).

Die europäische Norm DIN EN 228 lässt es zu, dem herkömmlichen Benzin bis zu 5 % Ethanol beizumischen (E5). Dies wird auch heute schon praktiziert, allerdings liegt der Ethanolanteil in Deutschland erst bei etwa 2 %. Kraftstoffe mit über 5 % Bioethanolbeimischung müssen in Europa entsprechend gekennzeichnet werden.[2] Normale Benzinmotoren können bis auf wenige Ausnahmen ohne Modifikation mit E5 betrieben werden, während vor allem ältere oder ausländische Fahrzeuge im Bestand nur durch Umrüstungen E10-verträglich gemacht werden müssten. In einigen EU-Ländern (z. B. Polen, Tschechien, Deutschland) wird eine Zwangsbeimischung von Bioethanol geprüft.[5]

In den Vereinigten Staaten wird bereits größtenteils E10 eingesetzt. Viele Fahrzeuge mit Ottomotor und voll geregeltem Kraftstoffsystem verkraften rein funktionell auch E25. Hierbei wird die großzügig dimensionierte Einspritzmengen-Korrekturregelung via Lambdasonde ausgenutzt. Problematisch sind Kraftstoffschläuche (v. a. Naturgummi), die nicht vom Hersteller für den Ethanolbetrieb freigegeben sind. In Brasilien werden 25 % Ethanol in das Normalbenzin gemischt. Mehr als 80 % aller dort verkauften PKW können wahlweise auch mit E100 oder einer beliebigen Mischung beider Sorten fahren. Motoren, die nur mit reinem Alkohol betrieben werden können, werden dort in der Automobilindustrie seit 1979 und seit 2005 für Kleinflugzeuge verkauft, die Flexible Fuel Vehicles werden seit 2003 angeboten. Japan will zukünftig bis zu 10 % beimischen und verhandelt derzeit mit Brasilien über Alkohollieferungen.

In Bad Homburg eröffnete am 2. Dezember 2005 die erste öffentliche Bioethanol-Tankstelle für E85 Deutschlands. Der Preis pro Liter ist jedoch in konventionellen Benzinfahrzeugen durch den bis zu 30-prozentigen Mehrverbrauch

für den Verbraucher nicht wirtschaftlicher als Eurosuper. Ein Mehrverbrauch an Ethanol ist vor allem durch den geringeren Heizwert des Kraftstoffs gegenüber Eurosuper bedingt. Ein Liter E85 hat einen Heizwert von etwa 22,7 MJ/L (Superbenzin ca. 32,5 MJ/L), woraus ein theoretischer Mehrverbrauch von ungefähr 43 % resultiert. In der Praxis kann der Mehrverbrauch jedoch deutlich geringer ausfallen, je nach Motor und Fahrprofil. Ein nicht speziell modifizierter Ottomotor erreicht durch den Einsatz von Ethanol keine Steigerung des Wirkungsgrades. Leistungssteigerungen oder eine Reduktion des Mehrverbrauchs durch höhere Verdichtungen werden durch die höhere Klopffestigkeit des Ethanols ermöglicht. Derzeit gibt es in Deutschland über 190 Tankstellen, die Ethanol-Gemische anbieten, Tendenz steigend.[6] [7]

Modifikation der Verbrennungsmotoren

Je höher der Anteil von Ethanol in einer Benzin-Ethanol-Mischung ist, umso weniger ist er für unmodifizierte benzinbetriebene Motoren geeignet. Reines Ethanol reagiert mit oder löst Gummi sowie Kunststoffe (z. B. PVC) und darf daher nicht in unveränderten Fahrzeugen verwendet werden. Außerdem hat reines Ethanol eine höhere Oktanzahl als übliches Benzin, was eine Änderung des Zündzeitpunkts ermöglicht. Wegen des geringeren Heizwertes muss der Durchsatz der Einspritzdüsen angepasst werden. Reine Ethanolmotoren benötigen auch ein Kaltstart-System, um bei Temperaturen unterhalb von 13 °C eine vollständige Verdampfung des Kraftstoffs in der Kaltlaufphase sicherzustellen. Bei 10 bis 30 % Ethanol-Anteil im Benzin sind gewöhnlich kaum Umbaumaßnahmen notwendig. Nicht alle großen Autohersteller garantieren eine störungsfreie Funktion des Motors bis zu einem Anteil von 10 % Ethanol, weil zum Beispiel unbeschichtete Aluminiumkomponenten angegriffen werden können. Seit 1999 werden eine zunehmende Anzahl von Fahrzeugen in der Welt mit Motoren ausgerüstet, die mit jedem möglichen Gemisch aus Benzin und Ethanol von 0 % Ethanol bis zu 100 % Ethanol ohne Änderung betrieben werden können.

In Europa ist Schweden bei der Beimischung von Ethanol Vorreiter. Ford verkaufte in Schweden bereits 15.000 Flexible Fuel Vehicle (FFV) (Stand: Dezember 2005). In Brasilien wurde im Dezember 2005 das dreimillionste FFV verkauft. Diese Fahrzeuge sind speziell für den Betrieb mit E85 konzipiert, das in Schweden bereits an 220 Tankstellen und in Brasilien flächendeckend verfügbar ist. Die FFV verbrauchen bei Betrieb mit E85 rund 35 vol% mehr Kraftstoff gegenüber dem Standardbenzinmodell bei Leistungssteigerungen bis etwa 20 % (Herstellerangaben). FFV können mit jeglicher Ethanol-Benzin-Mischung von 0 bis 85 % Ethanol betrieben werden. Bedingt durch die vom Benzin abweichenden (Verbrennungs-)Eigenschaften des Ethanols werden diese Motoren jedoch mit veränderten Werkstoffen hergestellt. Ein FFV kostet am Beispiel Saab 9-5 etwa 1000 Euro Aufpreis gegenüber dem Benzinmodell (Stand Februar 2007). Ein spezieller Sensor stellt im Betrieb fortlaufend das Mischungsverhältnis fest und regelt den Verbrennungsvorgang.

In Brasilien bieten beinahe alle Hersteller ethanol-taugliche Fahrzeuge an. Sie haben bei Volkswagen den Zusatz Totalflex oder bei Chevrolet (Opel/GM) Flexpower und haben teilweise sehr ökonomische Motoren (1.0 City Totalflex oder 1.0 VHC Flexpower). Der Zusammenschluss unabhängiger Mineralölimpoteure AVIA International hat eine Übersicht zur E10-Verträglichkeit der Motoren verschiedener Kraftfahrzeughersteller zusammengestellt.[8]



Vier typische brasilianische full-flex-fuel Modelle von verschiedenen Herstellern, umgangssprachlich als Flex-Auto bekannt. Diese Fahrzeuge laufen in beliebigem Gemisch mit Ethanol und Benzin.

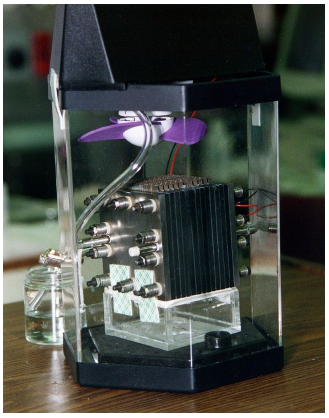
Additiv ETBE

(Bio-)Ethanol ist Rohstoff für die Herstellung von Ethyl-tert-butylether (ETBE). ETBE kann zu einem Anteil von 15 % normalem Benzin beigemischt werden und erhöht die Klopffestigkeit des Treibstoffs. Bei einem Bioethanolanteil von über 47 % wird das Additiv in Europa als Bio-ETBE eingestuft.[2]

Brennstoffzellen

Hauptartikel: Brennstoffzelle, Wasserstoff, Biowasserstoff, Wasserstoffantrieb

Wasserstoff wird ebenfalls als ein alternativer Treibstoff für Verbrennungsmotoren und Brennstoffzellen betrachtet. Wasserstoff ist jedoch schwer zu transportieren und zu speichern. Eine mögliche Lösung besteht darin, Ethanol für den Transport zu benutzen, dann katalytisch in Wasserstoff und Kohlendioxid zu trennen und den Wasserstoff in eine Brennstoffzelle zu übertragen. Alternativ dazu können einige Brennstoffzellen direkt mit Ethanol oder Methanol betrieben werden.


Mit Alkohol betriebene Brennstoffzelle

Anfang des Jahres 2004 zeigten Forscher der University of Minnesota einen einfachen Ethanol-Reaktor, der Ethanol in Wasserstoff mit Hilfe von Katalysatoren umwandelt. Das Gerät benutzt einen Rhodium-Cer-Katalysator für die erste Reaktion, die bei einer Temperatur von etwa 700 °C stattfindet. In dieser Reaktion werden Ethanol, Wasserdampf und Sauerstoff vermischt und große Mengen Wasserstoff produziert. Dabei entsteht jedoch auch giftiges Kohlenmonoxid, das für die meisten Brennstoffzellen störend ist und durch einen weiteren Katalysator zu Kohlendioxid oxidiert werden muss.

Geschichte

Nikolaus August Otto verwendete 1860 Äthylalkohol (Ethanol) als Kraftstoff in den Prototypen seines Verbrennungsmotors. Der Automobilhersteller Henry Ford konzipierte sein ab 1908 gebautes T-Modell, mit dem er die Serienproduktion von Autos revolutionierte, auf der Grundlage, dass Agraralkohol (Bioethanol) der eigentliche Kraftstoff für dieses „Volks-Auto“ sei. Ford glaubte, dass Ethanol der Treibstoff der Zukunft sei, der zugleich der Landwirtschaft neue Wachstumsimpulse bringen würde: „*The fuel of the future is going to come from fruit like that*

sumach out by the road, or from apples, weeds, sawdust – almost anything.“[9]

Aufgrund der Versorgungslage bei Benzin gab es in Deutschland mit der 1925 gegründeten Reichskraftsprit (RKS) einen Hersteller von *Spiritus* (Kartoffelschnaps) zur Verwendung als Ottokraftstoff. Allerdings diente der Einsatz weniger als Mittel zur Erhöhung der Klopffestigkeit, sondern vielmehr zur Unterstützung der anbauenden Landwirtschaft. Die RKS vertrieb ihr Benzin-Gemisch mit einem etwa 25-prozentigen Anteil Spiritus unter dem Markennamen *Monopolin*. 1930 trat in Deutschland die Bezugsverordnung von Spiritus zu Treibstoffzwecken für alle Treibstofffirmen in Kraft. Jeweils 2,5 Gewichtsprozente der produzierten oder eingeführten Treibstoffmenge waren von der Reichsmonopolverwaltung zu beziehen und dem Benzin beizumischen. Diese Quote erhöhte sich bis Oktober 1932 schrittweise auf 10 %.

In den folgenden Jahrzehnten wurde Erdöl zur vorrangigen Energiequelle. Erst mit den Ölkrisen der 1970er-Jahre fand Ethanol als Kraftstoff neues Interesse. Ausgehend von Brasilien und den Vereinigten Staaten wurde die Nutzung von Ethanol aus Zuckerrohr und Getreide als Treibstoff für Autos ebenso wie andere alternative Kraftstoffe auf der Basis Nachwachsender Rohstoffe zunehmend durch Regierungsprogramme unterstützt. Eine globale Ausweitung dieser Bestrebungen entstand infolge des Kyoto-Protokolls.

Herstellung

Hauptartikel: Ethanol

Wie herkömmlicher Alkohol wird Bioethanol durch Fermentation (alkoholische Gärung) aus Zucker (Glucose) mit Hilfe von Mikroorganismen gewonnen und anschließend durch thermische Trennverfahren aufgereinigt. Für den Einsatz als Treibstoffzusatz wird Bioethanol zusätzlich bis zu einer Reinheit von mehr als 99 % „getrocknet“.



Bioethanolanlage in Burlington, Iowa.

Rohstoffe

Stärke, Zucker



Bioethanolanlage in Zeitz, Sachsen-Anhalt.

Als herkömmliche Rohstoffe kommen meist die lokal verfügbaren Pflanzen mit hohen Gehalten an Zucker oder Stärke zum Einsatz: in Lateinamerika Zuckerrohr beziehungsweise die daraus gewonnene Zuckerrohr-Melasse, in Nordamerika Mais, in Europa Weizen und Zuckerrüben. Weitere Pflanzen, die für die Bioethanolproduktion eingesetzt werden können, sind zum Beispiel Triticale, Zuckerhirse (Sorghum), in Asien auch Cassava (Maniok).

Cellulose

Angestrebt wird zunehmend die Nutzung von kostengünstigen pflanzlichen Reststoffen wie Stroh, Holzresten und Landschaftspflegegut oder von Energiepflanzen wie Rutenhirse[10] (auch Switchgrass, *Panicum virgatum*) oder Chinaschilf (*Miscanthus sinensis*), die keiner intensiven landwirtschaftlichen Bewirtschaftung bedürfen und auch auf minderwertigen Böden wachsen. (siehe Cellulose-Ethanol)

Prozessschritte

Um die Glucose für die Ethanolproduktion zu gewinnen, muss der Rohstoff je nach Art aufbereitet werden:

- Stärkehaltige Rohstoffe wie Getreide werden vermahlen. Durch enzymatische Zerlegung wird in der Verflüssigung/Verzuckerung die Stärke in Zucker umgewandelt.
- Zuckerhaltige Rohstoffe wie Melasse können direkt fermentiert werden.
- Cellulosehaltige Rohstoffe wie Stroh müssen ebenfalls durch Säuren und Enzyme aufgespalten werden.

Das Produkt der Rohmaterialaufbereitung ist eine zuckerhaltige Maische, die in der Fermentation mit Hefe (*Saccharomyces cerevisiae*) versetzt wird. Es entsteht eine alkoholische Maische mit etwa 12 % Ethanolgehalt. Diese wird in der Destillation/Rektifikation bis zu einer Konzentration von 94,6 % zu so genanntem Rohalkohol gereinigt (ein Azeotrop, das sich nur aufwendig durch Schleppmitteldestillation trennen lässt). In der Entwässerung wird daher der verbliebene Wasseranteil von rund 5 % in einem Adsorptionsprozess mittels Molekularsieb entfernt. Das Endprodukt hat meist eine Reinheit von über 99,95 %. Je nach Anwendungsfall und energetischen Rahmenbedingungen werden aber auch andere Verfahrensschritte (Membranverfahren, Druckwechseladsorption, etc.) eingesetzt.

Diese hohe Reinheit ist für die Mischung mit Benzin erforderlich, da sich andernfalls das Wasser absetzt. In Fahrzeugen, die mit reinem Alkohol betrieben werden (wie in den Anfängen in Brasilien) kann auch wasserhaltiger, also nicht vollständig dehydrierter Rohalkohol eingesetzt werden.

Nebenprodukte

Als Nebenprodukt entsteht Schlempe, welche die Reststoffe der Maische abhängig vom Rohmaterial enthält. Getreideschlempe ist nährstoffreich und wird getrocknet als Futtermittel mit hohem Proteingehalt vermarktet (Trockenschlempe, auch DDGS = „dried distillers grains and solubles“). Vinasse, die bei der Melassevergärung zurückbleibt, wird agrartechnisch zum Beispiel ebenfalls als Tierfutterzusatz oder als Düngemittel genutzt.

Eine weitere Möglichkeit für die Verwendung der Schlempe ist die Energiegewinnung durch thermische Verwertung, d. h. die Verbrennung zwecks Dampferzeugung für die Ethanolanlage. Neben einer Senkung der Produktionskosten wird dadurch die Treibhausgasbilanz der Produktion verbessert.

Bagasse, die Faserstoffe aus der Zuckerrohrvergärung, wird aufgrund des geringen Nährwertes nicht direkt als Futtermittel für die Tierernährung eingesetzt. Die Restenergie der Bagasse wird stattdessen häufig über eine teils mehrstufige Methanvergärung in den Energiekreislauf der Destillerie zurückgeführt, wodurch die Kosten je Einheit produzierten Ethanols reduzierbar sind. Schwachpunkt dieses Ansatzes und auch der bisher sehr konkurrenzfähigen lateinamerikanischen, auf Zuckerrohr basierenden Biokraftstoffproduktion ist die alleinige Ausrichtung auf die produzierte Menge Ethanol. Trotz mangelnder Flexibilität liegt der große Vorteil der Zuckerrohrnutzung jedoch in der günstigeren Rohstoffbasis, dem deutlichen Standortvorteil und dem geringeren Kapitalaufwand durch den Verzicht auf großvolumige Trocknungsanlagen. Derzeit sind Unternehmungen dieser Art die günstigsten Anbieter von Ethanol auf dem Weltmarkt und stellen das Modell dar, das Neueinsteiger wie Indien und Thailand wählen.

Abhängig von der Prozessführung sind weitere Nebenprodukte möglich (z. B. Maiskeimöl, Kohlendioxid).

Cellulose-Ethanol

Hauptartikel: Cellulose-Ethanol

Die Produktion aus Stärke und Zuckerrohr wird potentiell den langfristig steigenden Bedarf an Bioethanol nicht decken können. Die nur begrenzt zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Anbauflächen, ökologische Probleme bei der notwendigen Intensivierung der Landwirtschaft und die Konkurrenz zum Lebensmittelmarkt begrenzen die Produktion von Bioethanol auf diesem herkömmlichen Wege. Eine Alternative besteht darin, für die menschliche Ernährung ungeeignete Nutzpflanzen oder Pflanzenabfälle zu nutzen. Diese hauptsächlich aus Cellulose, Hemicellulose und Lignin bestehenden Materialien fallen in hohen Mengen an und sind billiger als stärke-

oder zuckerreiche Agrarrohstoffe. Zudem sind die potentiell nutzbare Biomasse pro Flächeneinheit höher, die CO_2-Bilanz positiver und der Anbau teilweise deutlich umweltschonender.

Ethanol, der aus pflanzlichen Abfällen hergestellt wird, wird als Cellulose-Ethanol oder Lignocellulose-Ethanol bezeichnet. Im Gegensatz zum herkömmlichen Bioethanol besitzt Cellulose-Ethanol eine bessere CO_2-Bilanz und konkurriert nicht mit der Lebensmittelindustrie. Allerdings befinden sich die Verfahren zur Herstellung von Lignocellulose-Ethanol noch in der Entwicklung.

Angestrebt wird dabei, in so genannten Bioraffinerien die Cellulose und Hemicellulose in vergärbare Zucker umzuwandeln und von Hefen direkt in Ethanol zu vergären. Das Lignin könnte als Brennstoff zum Antreiben des Prozesses benutzt werden. Allerdings verhindern zur Zeit noch einige technische Schwierigkeiten den Einsatz dieses Verfahrens. Zum einen ist der Abbau von Cellulose und Hemicellulose zu vergärbaren Zuckern aufgrund der komplexen Struktur dieser Verbindungen im Gegensatz zur Verzuckerung von Stärke schwierig und langsam. Zum anderen können die meisten der zur Ethanolproduktion verwendeten Mikroorganismen nicht alle aus der Hemicellulose freigesetzten Zuckerarten vergären. Für einen wirtschaftlich ausgereiften Prozess ist dies jedoch eine wichtige Voraussetzung. Für Forschungszwecke werden weltweit etwa 15 Versuchsanlagen betrieben (2008). In den Vereinigten Staaten sind, gestützt durch massive staatliche Förderung, weitere rund 20 Pilotanlagen in Planung oder im Bau.

Verwendung in ausgewählten Ländern

Brasilien



Zuckerrohranbau in Brasilien zu Alkoholproduktion um die Abhängigkeit von Öl-Importen zu verringern.

In Brasilien wurde in den 1980er-Jahren als Alternative zu den devisenintensiven Ölimporten mit dem „Proàlcool“-Programm eine ausgeprägt einheimische Industrie für Ethanol-Kraftstoff aufgebaut, die auf Produktion und Raffination von Zuckerrohr basiert. Durch die hohen Weltmarktpreise für Zucker in den 1990er-Jahren kam die Ethanolproduktion der Zuckerindustrie in Brasilien fast zum Erliegen, doch in den letzten Jahren ist ein starker Aufschwung zu verzeichnen.

In den Anfängen wurde reines Ethanol verwendet, wofür eigene Motoren erforderlich sind. Mittlerweile werden überwiegend so genannte Flexible Fuel Vehicles eingesetzt, die in der Lage sind, jegliche Mischung von Benzin und Ethanol zu verbrennen. Deren Anteil am Pkw-Verkauf lag in 2007 bei 86 %.

An allen Tankstellen wird Benzin mit einen Anteil von 20 bis 25 % Ethanol angeboten. Der genaue Prozentsatz wird von der Regierung abhängig vom Zuckermarkt festgelegt.

Brasilien war bis 2005 der weltweit größte Hersteller und Verbraucher, wurde mittlerweile aber von den Vereinigten Staaten überholt. Die Produktion betrug 2007 knapp 19 Mrd. Liter. Der Inlandsverbrauch lag 2007 bei 16,7 Mrd. Liter, ein Anstieg um 3,7 Mrd. Liter gegenüber dem Vorjahr. Für 2008 wird eine weitere Zunahme um 2,9 Mrd. Liter vor allem aufgrund des stark wachsenden Automarktes prognostiziert. Für die Erntesaison 2007/2008 wurde ein starker Anstieg der Ethanolproduktion auf 21,3 Mrd. Liter erwartet (+22 % gegenüber dem Vorjahr). 2006 wurden 3,9 Mrd. Liter Ethanol exportiert (2005: 2,6 Mrd. Liter), davon 1,7 Mrd. Liter in die Vereinigten Staaten, 346 Mio. in die Niederlande, 225 Mio. nach Japan und 204 Mio. nach Schweden. Brasilien ist damit der mit Abstand größte Ethanolexporteur weltweit. 2007 fiel der Export entgegen den allgemeinen Erwartungen auf 3,8 Mrd. Liter zurück und auch für 2008 wird ein weiterer Rückgang aufgrund einer zurückhaltenden Biokraftstoffpolitik in vielen Ländern und der wachsenden inländischen Produktion in den Vereinigten Staaten nicht ausgeschlossen. Ein erheblicher Anteil der Exporte in die Vereinigten Staaten erfolgt nicht direkt, sondern wird aus steuerlichen Gründen über karibische Staaten (insbesondere Jamaika) abgewickelt. Dort wird der Ethanol dehydratiert und anschließend zu

Präferenzkonditionen in die Vereinigten Staaten weitergeliefert (Caribbean Basin Initiative).

Aufgrund der Verbrennung der zuckerlosen Rückstände des Zuckerrohrs (Bagasse) zur Gewinnung von Strom und Prozesswärme haben die Ethanol-Fabriken in Brasilien eine deutlich positive Energiebilanz.

2008 wurde in Brasilien sogar mehr Ethanol (15,8 Mrd. Liter) als Benzin (15,5 Mrd. Liter) gekauft (Stand: Oktober 2008).[11]

Vereinigte Staaten



Informationstafel zum Ethanolanteil an einer Tankstelle in Kalifornien

Auch in den Vereinigten Staaten führte der Ölschock Mitte der 1970er-Jahren zu einem nationalen Treibstoff-Ethanol-Programm, um die Abhängigkeit von Ölimporten zu verringern. Steuererleichterungen für Treibstoffmischungen mit Ethanol aus Getreide („Gasohol“ = E10) ermöglichten die Entwicklung einer Treibstoffethanol-Industrie.

Einige US-amerikanische Bundesstaaten aus dem „Grain Belt“ begannen nach der arabischen Ölkrise im Jahr 1973 damit, die Ethanolherstellung aus Mais finanziell zu unterstützen. Der „Energy Tax Act“ aus dem Jahr 1978 erlaubte eine Befreiung von der Verbrauchssteuer für Biokraftstoffe, hauptsächlich für Benzin. Allein die Einnahmeausfälle durch Befreiung von der Verbrauchssteuer wurden auf 1,4 Milliarden US-Dollar pro Jahr geschätzt. Ein anderes US-Bundesprogramm garantierte ein Darlehen für den Anbau von Pflanzen für die Ethanolproduktion und im Jahr 1986 gaben die Vereinigten Staaten den Ethanolherstellern sogar kostenloses Getreide.

Mit dem „Clean Air Act“ kam in den 1990er-Jahren ein weiterer Aspekt für den Einsatz von Ethanol: die Verbesserung der Luftqualität in den Großstädten durch Senkung von Emissionen aus dem Straßenverkehr. Im August 2005 unterschrieb der amerikanische Präsident George W. Bush ein umfassendes Energiegesetz, das unter anderem eine Steigerung der Produktion von Ethanol und Biodiesel von 14,8 auf 27,8 Milliarden Liter (bzw. von 4 auf 7,5 Milliarden US-Gallonen) innerhalb der nächsten zehn Jahre vorsieht.

Die Herstellung und Nachfrage von Ethanol wächst in den Vereinigten Staaten damit ständig an. Ungefähr 700 von insgesamt 165.000 Tankstellen besitzen Zapfsäulen mit E85. Ethanol ist vor allem im Mittleren Westen und in Kalifornien erhältlich, wo auch das meiste Ethanol raffiniert wird. Seit Juni 2006 liegt die Kapazität bei 18 Milliarden Liter (4,8 Milliarden Gallonen) Ethanol pro Jahr. Kapazitäten zur Produktion von weiteren 8 Milliarden Litern (2,2 Milliarden Gallonen) pro Jahr sind im Bau.[12] Im Jahr 2007 wurden 24,6 Mrd. Liter Ethanol produziert.

Kolumbien

Kolumbiens Programm für Ethanol-Kraftstoff begann 2002, als die Regierung ein Gesetz zur Anreicherung des Benzins mit sauerstoffhaltigen chemischen Verbindungen verabschiedete. Anfangs bestand vor allem die Absicht, die Emission von Kohlenmonoxid durch Autos zu reduzieren. Später wurde Bioethanol von der Mineralölsteuer befreit, wodurch Ethanol billiger wurde als Benzin. Dieser Trend wurde sogar noch verstärkt, da die Benzinpreise seit dem Jahr 2004 steigen und dadurch das Interesse für erneuerbare Treibstoffe (zumindest für Autos) stieg. In Kolumbien werden die Preise für Benzin und Ethanol von der Regierung gesteuert. Als Ergänzung dieses Ethanolprogramms ist ein Programm für Biodiesel vorgesehen, um Diesel-Treibstoff mit sauerstoffhaltigen Verbindungen anzureichern und erneuerbaren Treibstoff aus Pflanzen herzustellen.

Anfangs hatte vor allem die kolumbianische Zuckerindustrie Interesse an der Ethanolproduktion. Das Ziel der Regierung war es, den Autotreibstoff allmählich auf eine Mischung aus 10 % Ethanol und 90 % Benzin umzustellen. Anpflanzungen zur Ethanolgewinnung werden steuerlich gefördert.

Die erste Anlage für Ethanol-Treibstoff nahm ihre Produktion im Oktober 2005 in der kolumbianischen Provinz Valle del Cauca mit einem Ausstoß von 300.000 Litern pro Tag auf. Spätestens seit März 2006 sind fünf Anlagen in Betrieb mit einer Gesamtkapazität von 1.050.000 Litern pro Tag. Im Valle del Cauca wird Zucker das ganze Jahr über geerntet und die neuen Brennereien haben eine gleichmäßige Auslastung. Die Investitionen in diese Anlagen betragen insgesamt rund 100 Mio. Dollar. Spätestens 2007 soll die Produktion bei 2,5 Millionen Litern pro Tag liegen, um das Ziel von 10 % Ethanolanteil im Benzin zu erreichen. Der hergestellte Ethanol-Kraftstoff wird zur Zeit hauptsächlich in den wichtigen nahegelegenen Städten wie Bogotá, Cali und Pereira verwendet. Für den Rest des Landes reicht die Produktion noch nicht aus.

Bioethanol-Produktion (GWh)[13]

Nr.	Staat	2006	2005
1	Deutschland	2554	978
2	Spanien	2382	1796
3	Frankreich	1482	853
4	Schweden	830	907
5	Italien	759	47
6	Polen	711	379
7	Ungarn	201	207
8	Litauen	107	47
9	Niederlande	89	47
10	Tschechien	89	0
11	Lettland	71	71
12	Finnland	0	77
27	**EU Gesamt**	**9274**	**5411**

100 l Bioethanol = 79,62 kg,
1 t Bioethanol = 0,64 Öleinheiten

Bioethanol-Verbrauch (GWh)[13] [14]

Nr.	Staat	2005	2006	2007
1	Deutschland	1 682	3 544	3 408
2	Frankreich	871	1 719	3 174
3	Schweden	1 681	1 894	2 113
4	Spanien	1 314	1 332	1 310
5	Polen	329	611	991
6	Vereinigtes Königreich	502	563	907
7	Bulgarien	-	0	769
8	Österreich	0	0	254
9	Slowakei	0	4	154
10	Litauen	10	64	135
11	Ungarn	28	136	107
12	Niederlande	0	179	101

13	Dänemark	0	42	70
14	Irland	0	13	54
15	Lettland	5	12	20
16	Luxemburg	0	0	10
17	Slowenien	0	2	9
18	Tschechien	0	13	2
19	Portugal	0	0	0
20	Italien	59	0	0
21	Belgien	0	0	0
22	Griechenland	0	0	0
23	Finnland	0	10	n. v.
24	Rumänien	-	0	n. v.
25	Malta	0	0	n. v.
26	Estland	0	0	n. v.
27	Zypern	0	0	n. v.
27	**EU Gesamt**	**6481**	**10138**	**13563**
1 t Öleinheit = 11,63 MWh n. v. = nicht vorhanden				

Europa

Schon in den 1980er-Jahren gab es in Europa von der Öffentlichkeit weitgehend unbemerkt die Zumischung von 5 % Ethanol zu Benzin zur Oktanzahl-Erhöhung. Später begann die Produktion von ETBE aus Überschusswein in Frankreich und Spanien.

Seit 2003 fördert die Europäische Gemeinschaft die Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen als Ersatz für Otto- und Dieselkraftstoffe. Die Biokraftstoffrichtlinie EG-Richtlinie 2003/30/EG gab Richtwerte für den Anteil an Biokraftstoffen als Ersatz von herkömmlichen Kraftstoffen (bezogen auf den Energiegehalt) im Verkehr vor: 2% bis 2005, 5,75% bis 2010. (Die Werte stehen nicht für die Beimischung zu Benzin oder Diesel, sondern geben den gewünschten Gesamtanteil aller Erneuerbaren am Kraftstoffbedarf an.) Zusätzlich erlaubte es die Energiesteuer-Richtlinie (2003/96/EC) den Mitgliedstaaten, die Mineralölsteuer für Biokraftstoffe bis zu 100 % zu erlassen. Die nationale Umsetzung war freiwillig und in den meisten Mitgliedstaaten wurde das Ziel für 2005 nicht erreicht.

Mit der neuen EU-Richtlinie 2009/28/EG für Erneuerbare Energie[15] (kurz auch RED für Renewable Energy Directive) wurden verpflichtende Ziele eingeführt. Das neue EU-Ziel heißt nun

- 10 % erneuerbare Energie für den Verkehrssektor bis 2020

Dieser Prozentsatz schließt neben den Biokraftstoffen (flüssig, gasförmig) auch Elektro- und Wasserstoffantriebe ein. Biokraftstoffe aus Abfällen, Reststoffen und (ligno)zellulosehaltigem Material werden doppelt bewertet.

Nachhaltigkeitskriterien

Darüber hinaus führt die Richtlinie strenge Kriterien für die nachhaltige und sozial verträgliche Herstellung ein, die sowohl für europäische Erzeuger als auch für Importe gelten. Zentrale Themenbereiche sind die Mindesteinsparung von Treibhausgasemissionen, Bestimmungen für die landwirtschaftliche Flächennutzung und die Einhaltung von Umwelt- und Sozialstandards.

So dürfen keine Rohstoffe aus Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand (Primärwälder, Feuchtgebiete, Torfmoore, Naturschutzgebiete) eingesetzt werden und dergleichen mehr.

Biotreibstofferzeuger müssen eine Reduktion der Treibhausgasemissionen (CO2, Methan, Lachgas etc.) nachweisen. Das bedeutet, daß über den gesamten Lebenszyklus (vom Rohstoffanbau über die Kraftstoffproduktion bis zum Kfz) im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen weniger Treibhausgasemissionen entstehen dürfen, nämlich mindestens

- minus 35% ab 2011 für neue Produktionsanlagen, nach 2017 minus 60%
- für Anlagen, die 2008 bereits in Betrieb waren, gelten ab 2013 minus 35%, nach 2017 minus 50%

Im Jahr 2008 (2007) wurden in der Europäischen Union insgesamt rund 2,8 (1,8) Mrd Liter Ethanol produziert, jedoch rund 3,5 (2,6) Mrd. Liter verbraucht. Die Differenz wird größtenteils aus Brasilien importiert. Die Europäische Union liegt mit ihrer Produktion weltweit vor China auf dem dritten Platz, allerdings weit hinter den Vereinigte Staaten und Brasilien.

Deutschland

In Deutschland besteht ein Markt für Bioethanol erst seit 2004. In dem Jahr wurden nach Angaben der Industrie etwa 80.000 Tonnen Bioethanol abgesetzt, wobei der überwiegende Teil als ETBE-Kraftstoff verwendet wurde.[16] 2006 betrug der Absatz von Bioethanol bereits 478.000 t bzw 605.000 m^3 während die Produktionskapazitäten bei etwa 600.000 m^3 liegen.[17] Verglichen mit dem Gesamtverbrauch von fast 54 Mio. t beziehungsweise 68 Mrd. l an Kraftstoffen in Deutschland stellt das Bioethanol allerdings nur einen Anteil von 0,6 Prozent (in Energieäquivalenten) dar, Biodiesel liegt mit 2,5 Mio. t (2,9 Mrd. l) bei 4 Prozent (in Energieäquivalenten) des Gesamtkraftstoffverbrauchs.[17]

Bioethanol wird in Form von E85 zur Zeit noch nicht wie das fossile Mineralöl besteuert, sondern ist vollständig steuerentlastet. Für geringere Mischungsverhältnisse hat der Gesetzgeber mit dem Biokraftstoffquotengesetz[5] seit 2006 ein ordnungspolitisches Instrument geschaffen, um die Beimischung von Bioethanol zum Benzin zu fördern: Die Mineralölindustrie ist verpflichtet, dem Ottokraftstoff jährlich steigende Anteile (1,2 % im Jahr 2007 bis 3,6 % im Jahr 2010) Bioethanol beizumischen. Diese Anteile unterliegen dann in voller Höhe der Energiesteuer (Bioethanol 65,4 Cent). Mit dieser Kombinationsmaßnahme möchte die Bundesregierung die meist mittelständische Biokraftstoffwirtschaft über die Sicherung des Absatzmarktes stützen.

DIN	**DIN 51625**
Bereich	Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge
Titel	Ethanolkraftstoff - Anforderungen und Prüfverfahren
Kurzbeschreibung	
Letzte Ausgabe	8.2008
ISO	

Die derzeit größte europäische Anlage zur Bioethanolgewinnung steht in Zeitz (Sachsen-Anhalt). Hier werden von CropEnergies (früher Südzucker Bioethanol GmbH) aus Weizen, Gerste, Triticale und Mais 260.000 m³/a Bioethanol produziert. In der zweitgrößten deutschen Anlage wird von Verbio im brandenburgischen Schwedt aus 500.000 t Roggen jährlich 180.000 t Bioethanol hergestellt.

Im Frühjahr 2008 geriet die geplante Erhöhung des Ethanol-Anteils auf 10 % in die Kritik, da Politik, Automobilhersteller und der Verband der Automobilindustrie widersprüchliche Aussagen zur Verträglichkeit machten. Da damit offen blieb, ob die nicht explizit dafür konstruierten Modelle mit *SuperPlus* betankt werden müssten, das als einzige Sorte den 5 %-Ethanol-Anteil behalten soll, wurde die von der Bundesregierung geplante Verordnung zur Einführung von E10 ausgesetzt.[18] Bereits im Mai 2007 hatte der mittelständische Mineralölhändler AVIA Super E10 als erster Tankstellenbetreiber eingeführt.

Im August 2008 wurden mit der Erstausgabe der DIN 51625 Anforderungen und Prüfverfahren an Ethanolkraftstoff erstmalig in einer DIN-Norm definiert.

Österreich

Österreich hat sich bei der Umsetzung der Biokraftstoff-Richtlinie Ziele gesetzt, die über den EU-Vorgaben liegen (2,5 % bis 2005| 4,3 % bis 2007| 5,75 % bis 2008). Mit Änderungen der Kraftstoffverordnung und des Mineralölsteuergesetzes wurde sogar eine Substitutionspflicht eingeführt. Mit der Produktionsaufnahme der Bioethanolanlage der Agrana in Niederösterreich auf der Basis von Weizen, Mais und Zuckerrüben (2008) sollte der österreichische Markt für E5 gedeckt sein.

Weitere europäische Länder

In Schweden werden Flexible Fuel Vehicles (FFV) bereits seit 2001 vermarktet. Das Ethanol wird in Schweden aus Getreide, Zuckerrohr und auch aus Abfällen der heimischen Holzverarbeitung erzeugt. An mehr als 140 öffentlichen Tankstellen steht E85 zu Verfügung. Schweden verfolgt das Ziel, bis 2020 gänzlich unabhängig von Erdöl zu werden.

Großbritannien verfolgt eine Politik, die Nutzung von Biokraftstoffen einschließlich Ethanol zu stärken, obwohl die Besteuerung alternativer Treibstoffe wie Biodiesel fast genauso hoch ist wie auf konventionelle fossile Treibstoffe. Spanien ist der größte Produzent von Bioethanol in Europa. Hier werden vor allem Gerste und Weizen vergoren.

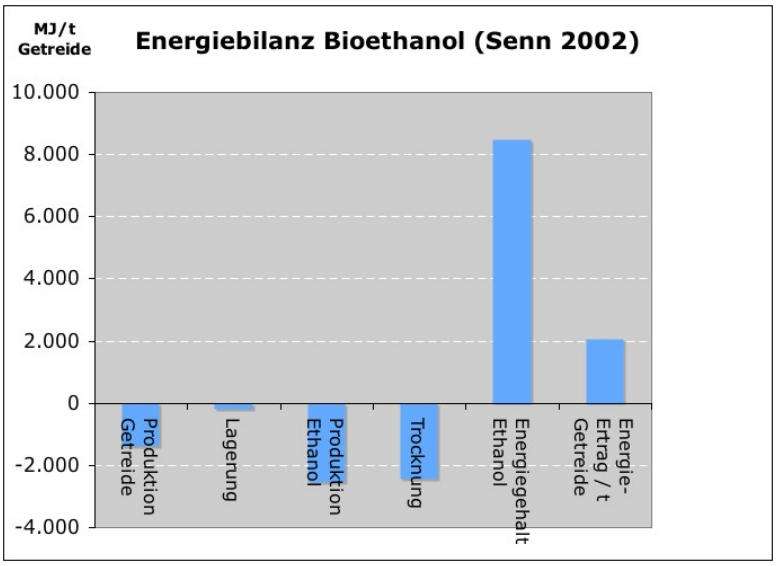
Auswirkungen auf die Umwelt

Energiebilanz

Damit Bioethanol-Kraftstoff einen sinnvollen Beitrag zur Energiewirtschaft leisten kann, muss die Herstellung eine positive Energiebilanz aufweisen. Im Auftrag des Bundesverband landwirtschaftliche Rohstoffe verarbeitende Brennereien wurde eine entsprechende Untersuchung der großtechnischen Herstellung von Bioethanol durch die Universität Hohenheim erstellt. Diese Studie kam zu dem Ergebnis, dass die Bioethanolproduktion nur eine schwach positive Energiebilanz mit einem Verhältnis des Energie-Gewinns zum Energie-Eintrag von 1,32 aufweist.[19]

Für die Bestimmung der Energiebilanz sind einige Faktoren entscheidend:

- die im Ethanol enthaltene Energie,
- die Energie der Nebenprodukte, die während der Ethanolherstellung erzeugt werden,
- die Energie, die bei der Ethanolgewinnung verloren geht,
- die Energie zum Anbau der Biomasse (z. B. Diesel für Traktoren, oder Stickstoff-Düngemittel),
- die Prozessenergie für die Destillation.



Energiebilanz für die großtechnische Herstellung von Bioethanol, Daten nach Senn 2002[19]

Verfahrensschritt	MJ/t Getreide
Getreideproduktion	−1.367
Getreidelagerung	−150
Ethanolproduktion	−2.500
Schlempetrocknung	−2.400
Gesamt Ethanolproduktion	−6.417
Energiegehalt Ethanol	8.480
Energie-Ertrag / t Getreide	**2.063**
Verhältnis Energie-Gewinn / Energie-Eintrag	**1,32**

Die Nettoenergiebilanz der Alkoholerzeugung war nicht immer eindeutig positiv, aber die Industrie konnte innerhalb der letzten 10 Jahre einige entscheidende Durchbrüche erzielen. Am „Institute For Brewing and Distilling“ in Lexington (Kentucky) gelang beispielsweise die natürliche Selektion einer extrem thermostabilen Hefe, die eine Gärung bei weit höheren Temperaturen als bisher üblich erlaubt und unter Laborbedingungen Alkoholgehalte bis zu 23 % in der Vergärung von Mais erreicht; ein deutlicher Schritt gegenüber den sonst üblichen 13 bis 14 %. Die hohe Gärungstemperatur bedeutet eine erhebliche Energieersparnis bei der Kühlung und hinsichtlich der Dauer des Gärvorgangs. Sie ermöglicht eine vollständigere Vergärung der Maische. Auch die Enzyme, die den Rohstoffen zugesetzt werden, um Stärke aufzuschließen und Glukose freizusetzen (Amylasen, Glucoamylasen), haben eine Revolution erlebt. Die Wiederentdeckung des jahrtausende alten Verfahrens der Trockenfermentation mit *Aspergillus oryzae* bringt leistungsfähigere und temperaturtolerante Enzymkomplexe hervor, die nicht nur Stärke und Zucker, sondern auch Cellulosen und Hemicellulosen aufschließen. Aber nicht nur die biologische Seite der Fermentation, sondern auch die Anlagentechnik hat bedeutende Fortschritte erfahren. Der Wasserverbrauch wurde deutlich reduziert, durch neues Hygienemanagement sind Infektionen des Systems vermeidbar und durch Wasserentziehung mittels Molekularsieben (Zeolithe) ist nahezu reines Ethanol nach der Destillation zu erzielen. Die Sorge um eine negative Energiebilanz ist begründet, kann aber durch neue Technologien überholt werden und die ökonomischen Herausforderungen sind durch die Betrachtungen des Gesamtkonzeptes einer „Fermentation von Getreide“ bezwingbar.

Auch Senn u. a. 2002 stellen klar, dass die nur geringfügige Positivbilanz der großtechnischen Bioethanolgewinnung über Veränderungen der Produktionsbedingungen deutlich verbessert werden können. So schlägt er als Alternative die Nutzung kleiner Anlagen vor, bei der die Schlempetrocknung als energieintensiver Prozess entfällt und diese in Form von Biogas weiter verwertet werden kann. Auf diese Weise entfällt der Energieverbrauch der Trocknung vollständig und die Energie des Nebenprodukts Schlempe wird positiv in Form von Biogas und Faulschlamm zur Düngung von landwirtschaftlichen Flächen genutzt. Der Gesamtenergiegewinn einer solchen nachhaltigen Nutzung könnte seiner Ansicht nach auf über 14.000 MJ/t Getreide gesteigert werden, was dem siebenfachen Energiegewinn gegenüber der großtechnischen Herstellung entspricht.[19]

Mit Blick auf die Bilanzen zu Energie, Treibhausgas und Wirtschaftlichkeit schneidet Getreide bei kalkulatorischer Berücksichtigung des Futterwertes der Nachprodukte am besten ab. Die vielfach aufgeworfene Frage, ob angesichts des ungelösten Hungerproblems in der Welt die Nutzung von Nahrungsmittelpflanzen zum Betrieb von Autos ethisch zu rechtfertigen ist, bleibt davon unberührt, ebenso die Frage, ob der hohe und wachsende Beschaffungsdruck sich auf die Ertragsfähigkeit der Böden nicht schon relativ schnell negativ auswirken könnte. Engpässe könnten in Deutschland durch nachhaltige Nutzung der stillgelegten landwirtschaftlichen Flächen für Energiepflanzen überwunden werden.

Thermischer Wirkungsgrad

Der thermische Wirkungsgrad bei der Kraftstoffherstellung ist stark abhängig von dem verwendeten Rohstoff. Bei Mais beträgt er lediglich bis zu 15 %, bei Herstellung aus Holz bis zu 20 % und bei Herstellung aus Zuckerrohr bis zu 35 %. Der deutlich bessere Wirkungsgrad bei Verwendung von Zuckerrohr (und das Verbot von Dieselkraftstoffen für Privatleute) erklärt auch die große Verbreitung von Ethanol als Kraftstoff in Brasilien.

Klimabilanz

Bei der Fermentation der Rohstoffe und der Verbrennung des Bioethanols wird zwar das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid freigesetzt; da jedoch beim Wachstum der Rohstoffpflanzen zuvor die gleiche Menge Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre durch die Photosynthese gebunden wurde, sind diese chemischen Vorgänge (Photosynthese, Fermentation, Verbrennung) in der Addition CO_2-neutral. Da bei der Produktion der Rohstoffe und bei der Ethanolherstellung zusätzliche Energie benötigt wird, ist der Herstellungsprozess insgesamt nicht CO_2-neutral oder gar klimaneutral.

Laut einer vorläufigen theoretischen Studie um den Chemie-Nobelpreisträger Paul Crutzen aus dem Jahr 2007 macht der klimaschädliche Effekt des beim Anbau, insbesondere beim Düngen, der Energiepflanzen entstehenden Distickstoffoxids (Lachgas) den „abkühlenden“ Effekt des eingesparten CO_2 zu einem großen Teil wieder zunichte und führt unter Umständen sogar zu einer im Vergleich zu fossilem Treibstoff stärkeren Erwärmung. Den Ergebnissen zufolge verursacht Raps-Sprit (Biodiesel) eine 1 bis 1,7-fache relative Erwärmung im Vergleich zu fossilem Treibstoff. Für die ebenfalls untersuchte Energiepflanze Mais betrug die relative Erwärmung 0,9–1,5, und allein für Zuckerrohr ergab sich ein klimafreundlicher Effekt mit einer relativen Erwärmung von 0,5–0,9.[20] [21] [22]

Allerdings wurde die Veröffentlichung der Studie von Crutzen von renommierten Wissenschaftsmagazinen abgelehnt. Zum einen basiert die Studie lediglich auf einer eigenen Modellrechnung zur Lachgas-Emission, das heißt die mathematisch ermittelten Werte sind nicht durch Versuche bestätigt worden. Zum anderen wird die Relevanz der Lachgas-Emission überzeichnet. Aus Kostengründen wird in der Landwirtschaft tatsächlich immer seltener mit Stickstoff gedüngt.[23] [24] Die endgültige Fassung der Crutzen-Studie, erschienen im Jahr 2008, enthält zusätzliche Daten mit neu berechneten Faktoren, die jeweils einem der von anderen Wissenschaftlern eingebrachten Einwände Rechnung tragen. Hiernach können durch eine hohe Effizienz des Stickstoffdüngers, durch einen hohen Anteil an Gülle im Dünger (20 %) oder durch eine effiziente Nutzung der Nebenprodukte bei der Treibstoffproduktion die Erwärmungsfaktoren bei Raps auf bis zu 0,5, bei Mais auf bis zu 0,4 und bei Zuckerrohr auf bis zu 0,3 gesenkt werden. Das entspräche einer um den Faktor 2, 2,5 bzw. 3 niedrigeren Erderwärmung als bei der Nutzung von

fossilem Treibstoff.[25]

Luftverschmutzung

Verglichen mit konventionellem bleifreiem Benzin verbrennt Ethanol sauberer zu Kohlendioxid und Wasser. In den Vereinigten Staaten fordert der Clean Air Act den Zusatz sauerstoffreicher Verbindungen, um den Ausstoß von Kohlenstoffmonoxid zu reduzieren. Die Verwendung des grundwassergefährdenden Zusatzes MTBE wird reduziert und durch ETBE ersetzt.

Durch die Verwendung von reinem Ethanol (E100) anstelle von Benzin wird der gemessene Kohlendioxidausstoß um etwa 13 % reduziert. Effektiv wird durch den Photosynthese-Kreislauf der Ausstoß jedoch sogar um über 80 % verringert. Den Vorteilen steht die Umweltbelastung durch die Produktion von Ethanol gegenüber, die in der CO_2-Bilanz berücksichtigt werden.

Wasserverschmutzung

Bei der Produktion von Biomasse für die Agrospritherstellung entstehen die gleichen Wasserverschmutzungen wie bei jedem anderen intensiven Anbau von Agrarprodukten. Nach einer Studie von Simon Donner von der Universität British Columbia und Chris Kucharik von der Universität Wisconsin wird sich die Verschmutzung an der Mündung des Mississippi von derzeit rund 20.000 Quadratkilometern auf eine noch viel größere Fläche ausweiten, wenn die Vereinigten Staaten ihre Pläne zur Produktion von Agrosprit aus Mais wie bisher geplant weiter ausweiten. In diesem Bereich wird der Studie entsprechend eine so starke Überdüngung entstehen, dass die daraus resultierende Algenblüte und die auf diese folgende Sauerstoffarmut nach dem Absterben der Algen den Bereich für andere Meereslebewesen nicht mehr bewohnbar machen wird.[26]

Auswirkungen auf die Landwirtschaft

Falls die Nachfrage nach Bioethanol weiter steigt, sind intensive Anbaumethoden notwendig. Die Nachteile von Monokulturen sind bekannt. In Europa könnten Anbauflächen, anstatt sie mit Subventionen stillzulegen, zur Produktion von Bioethanol oder -diesel genutzt werden. In Entwicklungs- und Schwellenländern könnte die Nachfrage nach Bioethanol auf dem Weltmarkt zu einer Verlagerung der angebauten Pflanzen führen. Der Anbau von Lebensmitteln könnte zugunsten von devisenbringenden Ethanolpflanzen vernachlässigt werden. „Das Getreide, das nötig ist, um den 120 Liter fassenden Tank eines Geländewagens mit Ethanol zu füllen, reicht aus, um einen Menschen ein Jahr lang zu ernähren.“[27]

Landwirtschaft und Ökonomie

Bio-Ethanol wird in Deutschland aus Getreide und Zuckerrüben gewonnen. Der Ertrag in l/ha ist abhängig von der jeweiligen Pflanze. Der Ertrag bei Zuckerrüben ist etwa deutlich höher als bei Weizen. Getreide wie Hafer, Roggen, Gerste, Weizen und Triticale liefern nach Durchlaufen der Fermentation je nach Verfahren weit höherwertige Futtermittel als Mais, Kartoffeln und Zuckerrüben es bisher ermöglichten. Mit Proteingehalten von 40 % und höher erreichen diese fermentierten Getreidefutter potenziell größere Märkte als nur der Einsatz im Kraftfutter für Milchvieh wie bisher. Im Ethanolpreis müssen die Brenner jedoch mit dem Weltmarkt konkurrieren, denn Kraftstoffalkohol fällt als frei handelbares Gut nicht unter die regulatorischen Maßnahmen des Branntweinmonopols. Die Vollkosten für die Erzeugung eines Kubikmeters Bioethanol aus Zuckerrohr liegen in Brasilien bei nur 200 bis 250 US-Dollar, in Deutschland bei 450 bis 500 Euro, das heißt die Kosten in Brasilien sind weniger als halb so hoch als in Deutschland.[28]

Prognosen für die europäische Produktion zeigen einen jährlichen Ausstoß von 7 Millionen Tonnen getrocknetem, fermentierten Futter, davon alleine eine Million Tonnen in Deutschland, wozu deutsche Destillerien bis zu 3 Millionen Tonnen Getreide aus der Landwirtschaft einkaufen. Aber neben wenigen Pilotprojekten in kleinem Rahmen existieren diese Anlagen in Deutschland bisher nur auf dem Papier und nun versucht man, die Fehler der

amerikanischen Ethanolbranche nicht zu wiederholen: Dort sind von über 250 Unternehmen, die vor 20 Jahren in dieses Geschäft einstiegen, nur zwei große übrig geblieben. Der Untergang dieser Projekte ist größtenteils auf mangelndes Verständnis für das Potential des erzeugten Nebenproduktes als Futtermittel zurückzuführen: Die anfallende Schlempe wurde meist gratis oder nur kostendeckend an die Landwirtschaft abgegeben. Dies wird heute von den deutschen Schnapsbrennern ähnlich praktiziert, jedoch verdienen diese Unternehmen am eigenen Markenprodukt oder am höherwertigen Neutralalkohol in Getränkequalität. Für Ethanol als Biokraftstoff jedoch steht der Preis fest. Ökonomische Beweglichkeit gibt es daher im Rohwareneinkauf und in der Vermarktung der Nebenerzeugnisse.

Aus Nordamerika wird bisher etwa ein Fünftel der dort anfallenden Maiskleberfutter nach Europa exportiert. Große Anstrengungen werden angesichts der neuen Entwicklung nun unternommen, weitere Anwendungen für „DDGS“ (*destillers dry grain solubles*) zu suchen. Die Entwicklung wird deutlich in der 2002 eröffneten Bioraffinerie in Springfield in Kentucky, der weltweit einzigen Anlage dieser Art. Dort entwickelt *Alltech* für die Ethanol- und Futtermittelbranche nachgelagerte Gärprozesse zur Erzeugung höherwertiger Futtermittel und neuer Lebensmittelzusätze, sowie neue Cellulosekomplexe als Futterzusatzstoffe.

Landwirtschaft und Ökologie

Durch eine Intensivierung der Landwirtschaft für die Bioethanolgewinnung treten die bei allen landwirtschaftlichen Nutzflächen bekannten ökologischen Probleme auf. Dazu gehören:

- Bodenverbrauch durch Ackerbau: Erosion, Verdichtung
- Beeinflussung von Grund- und Oberflächengewässer durch Ackerbau:
  - Nährstoffaustrag durch Düngemittel, zum Beispiel Stickstoff und Phosphor
  - Entnahme und Verbrauch im Falle des Bewässerungsackerbaues.
- Treibhausgase neben CO_2, zum Beispiel Lachgas als Folge ackerbaulicher Tätigkeit
- Einsatz von Pflanzenschutzmitteln
- Nutzungsdruck auf die „Landschaft“ im Allgemeinen (Intensiv-Ackerbau), zum Beispiel unter Biodiversitätsgesichtspunkten und der Flächenkonkurrenz

Eine Wahrnehmung der klassischen Kritikpunkte an der mit industriellen Methoden betriebenen Landwirtschaft wird auch unter dem Blickwinkel der nachwachsenden Rohstoffe eingefordert, um diese in die Abwägung der Güter mit einzubeziehen. Um diese Probleme zu minimieren werden Konzepte einer nachhaltigen Landwirtschaft gefordert und entwickelt.

Wirtschaftliche Aspekte

Biokraftstoff	Ertrag/ha	Kraftstoffäquivalenz [l][29] [30]	Kraftstoffäquivalent pro Fläche [l/ha][31]	Preis [cent]	Preis Kraftstoff-äquivalent [cent/l][32]		Fahrleistung [km/ha][29] [33]
Pflanzenöl (Rapsöl)	1590 l[29]	0,96	1526	98,1/l (11/2009)[34]	102,2		23300 + 17600[35]
Biodiesel (Rapsmethylester)	1550 l[36]	0,91	1411	107,9/l (KW 49/2009)[37]	118,6		23300 + 17600[35]
Bioethanol (Weizen)	2760 l[29]	0,65	1794	93,2/l (E85, 11/2009)[38]	133,1		22400 + 14400[35]
Biomethan	3540 kg[36]	1,4	4956	93/kg (06/2008)[39]	66,4		67600
BtL	4030 l[36]	0,97[40]	3909	nicht am Markt	k.a		64000

|+ Vergleich von Biokraftstoffen in Deutschland

[1] Definition *Biokraftstoff* bei motorlexikon.de (http://motorlexikon.de/?I=9391&R=E)

[2] Definition nach Richtlinie 2003/30/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor (http://ec.europa.eu/energy/res/legislation/doc/biofuels/de_final.pdf) (PDF)

[3] O2Diesel: *Next Generation Diesel Fuel* (http://www.o2diesel.com/)

[4] Sicherheitsdatenblatt e85fuel (http://www.e85.biz/media/archive3/sicherheitsdatenblatt_e85_e85fuel.pdf)

[5] Deutschland: Biokraftstoffquotengesetz vom 18. Dezember 2006 (http://www.bgblportal.de/BGBL/bgbl1f/bgbl106s3180.pdf) (PDF)

[6] Tankstellennetz (http://www.ethanol-tanken.com/index.php?dat=2&show=5&list=1&cat=1) bei ethanol-tanken.com

[7] [www.e85.biz/index.php?page=82 Tankstellennetz] bei e85.biz

[8] *E10 Freigaben und Stimmen zu E10.* (http://www.avia.de/cms/index.php?page=847) AVIA (Stand: 28. März 2008)

[9] Bill Kovarik: *Henry Ford, Charles Kettering and the „Fuel of the Future“.* (http://www.runet.edu/~wkovarik/papers/fuel.html) In: *Automotive History Review.* 32, 1998, Seiten 7–27

[10] M. R. Schmer, K. P. Vogel, R. B. Mitchell, R. K. Perrin: *Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass.* In: *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 105, Nr. 2, S. 464–469. Deutsche Zusammenfassung (http://www.wissenschaft.de/wissenschaft/news/287094.html)

[11] Brasilien verbraucht mehr Ethanol als Benzin (http://wirtschaft.t-online.de/c/17/25/95/02/17259502.html) auf wirtschaft.t-online.de, 31. Dezember 2008

[12] Liste US-amerikanischer Bioethanolanlagen (http://www.ethanolproducer.com/plant-list.jsp) in *Ethanol Producer Magazine.* (englisch, Stand 21. Mai 2008)

[13] *Biofuels barometer 2007.* (http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/erec/baro179_b.asp) In: *Systèmes solaires. Le journal des énergies renouvelables.* Nr. 179, Mai 2007, S. 63–75.

[14] *Biofuels Barometer 2008.* (http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/erec/baro185.asp) In: *Systèmes solaires. Le journal des énergies renouvelables.* Nr. 185, Mai 2008, S. 49–66.

[15] Amtsblatt der EU Richtlinie 2009/28/EG (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DE:PDF)

[16] Norbert Schmitz: *Treibstoffe, Bioethanol.* (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_254marktstudie_2006.pdf) In: *Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe.* Gülzow 2006 (erstellt durch meó consulting Team, Faserinstitut Bremen, Institut für Energetik und Umwelt gGmbH. Hrsg. FNR e. V).

[17] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.): *Daten und Fakten zu nachwachsenden Rohstoffen.* (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_303fg_dafa_071107.pdf) Gülzow 2006, Seite 57

[18] Tagesschau: *Falsche Zahlen als Grundlage* (http://www.tagesschau.de/wirtschaft/biosprit20.html) vom 4. April 2008.

[19] Thomas Senn, F. Lucá: *Studie zur Bioethanolproduktion aus Getreide in Anlagen mit einer Jahres-Produktionskapazität von 2, 5 und 9 Mio. Litern.* (https://www.uni-hohenheim.de/gaerung/dateien/Gesamtstudie 120503.pdf) Universität Hohenheim, 2002 (eine Energie- und Kostenbilanzierung, erstellt im Auftrag von Bundesverband landwirtschaftliche Rohstoffe verarbeitende Brennereien unter Beteiligung des Bundesverbandes Deutscher Kartoffelbrenner)

[20] Jeanne Rubner: *Klimakiller vom Acker.* (http://www.sueddeutsche.de/,ra16m3/wissen/artikel/39/134781/) In: *Süddeutsche Zeitung.* 26. September 2007

[21] Marlies Uken: *Biosprit. Ernüchternde Klimabilanz.* (http://www.zeit.de/online/2007/39/Biosprit) In: *Die Zeit.* 26. September 2007

[22] P. J. Crutzen, A. R. Mosier, K. A. Smith, W. Winiwarter: *N_2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels.* In: *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion.* 7, 2007, S. 11191–11205 (http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/7/11191/2007/Zusammenfassung).

[23] Ruth Weinkopf: *Die Politik garantiert das Geschäft.* (http://www.morgenweb.de/nachrichten/wirtschaft/wirtschaftsmorgen/spezial/20071121_srv0000001652028.html) In: *Mannheimer Morgen.* 21. November 2007

[24] Julia Langensiepen: *Sprit vom Acker hilft dem Klima nicht.* (http://www.taz.de/1/zukunft/umwelt/artikel/1/sprit-vom-acker-hilft-dem-klima-nicht/) Auf taz.de, 27. September 2007

[25] P. J. Crutzen, A. R. Mosier, K. A. Smith, W. Winiwarter: *N_2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels.* In: *Atmospheric Chemistry and Physics.* 8, 2008, S. 1389–1395 (http://www.atmos-chem-phys.net/8/389/2008/acp-8-389-2008.pdf PDF).

[26] Simon D. Donner, Christopher J. Kucharik: *Corn-based ethanol production compromises goal of reducing nitrogen export by the Mississippi River* In: *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 105, Nr. 11, 2008 Seiten 4513–4518 (doi: 10.1073/pnas.0708300105 (http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0708300105))

[27] spiegel.de: (http://www.spiegel.de/spiegelspecial/0,1518,474490,00.html) Sprit für die Welt: „Autos, nicht Menschen verbrauchen den größten Teil des Getreides, das 2006 im Vergleich zum Vorjahr zusätzlich verarbeitet wurde. (…)“

[28] Bioethanol als Kraftstoff – Stand und Perspektiven von Norbert Schmitz, (http://www.itas.fzk.de/tatup/061/schm06a.htm) April 2006, abgerufen am 31. Juli 2008.

[29] - Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland, Stand Oktober 2009 (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174-basisdaten_biokraftstoff.pdf) Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2009, 14-seitige Broschüre, als pdf verfügbar

[30] 1 l Biokraftstoff bzw. 1 kg Biomethan entspricht dieser Menge konventionellen Kraftstoffs

[31] ohne Nebenprodukte
[32] Preis für die Menge Biokraftstoff, die äquivalent zu 1 l konventionellem Kraftstoff ist
[33] separate Berechnung, nicht auf den anderen Daten basierend
[34] - Preisentwicklung von Rapsöl als Kraftstoff (http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/pflaoelpreise.html), CARMEN e.V., aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009
[35] mit Biomethan aus Nebenprodukten Rapskuchen/ Schlempe/ Stroh
[36] Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland, Stand Januar 2008 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2008, Broschüre, wegen aktualisierter Version nicht mehr als pdf verfügbar
[37] - Preisentwicklung von Biodiesel (http://www.ufop.de/1299.php), UFOP, aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009
[38] - Preisentwicklung von Bioethanol E85 (http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/biotreibstoffe/ethanol/preis/index.htm), CARMEN e.V., aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009
[39] Biogastankstelle Jameln
[40] auf Basis von FT-Kraftstoffen

Einige Wirtschaftswissenschaftler argumentieren, dass Bioethanol als Benzinersatz nur durch staatliche Subventionen für Landwirte und Industrie rentabel sei. Laut dem US-amerikanischen Energieministerium erhält man für jede Energieeinheit, die für die Herstellung von Ethanol aus Mais eingesetzt wird, 1,3 Einheiten zurück. Bei anderen Pflanzen (Zuckerrohr, Chinagras) ist die Effizienz besser.

Durch intensivere Landwirtschaft, höhere Erträge und eventuell gentechnisch veränderte Pflanzen könnte die Ethanolherstellung aus wirtschaftlicher Sicht rentabler werden. An speziellen Züchtungen und Genmanipulationen wird geforscht. Ein hoher Ölpreis lässt auch die Verwendung anderer Biomasse (z. B. Stroh) wirtschaftlich interessant werden.

Da der Bedarf an der limitierten Ressource Erdöl – auch durch die wirtschaftliche Entwicklung in China – weiter steigen wird, sind hohe Ölpreise zu erwarten. Politisches Ziel einiger Länder ist es, sich von Ölimporten weniger abhängig zu machen und einen Energiemix anzustreben. Da in Regionen wie den Vereinigten Staaten oder Europa nicht so viel Bioethanol produziert werden kann, wie für den Ersatz von Erdöl nötig wäre, könnte jedoch eine neue Abhängigkeit von Importen aus Ländern mit entsprechenden Anbau- und Produktionsmöglichkeiten entstehen.

Potential

In Brasilien wird auf 5,6 Millionen Hektar Zuckerrohr angepflanzt. Die Hälfte davon wird zu 15 Millionen m³ Bioethanol verarbeitet (2005). Laut Embrapa, der brasilianischen staatlichen landwirtschaftlichen Forschungsgesellschaft, gibt es ein Potenzial von 90 Millionen Hektar für die Bioethanolproduktion.[1] Bei gleichem Ethanolertrag würde diese Fläche 480 Millionen m^3 Bioethanol pro Jahr bringen. Dies entspricht bei einem Energieäquivalent von 6,4 Millionen Barrel Öl pro Tag nur 7,5 % der derzeitigen Weltölproduktion (85 Millionen Barrel pro Tag).

Die Bioethanolproduktion in Brasilien steigt jährlich um etwa 5 Millionen m³ (25 Millionen Barrel Erdöläquivalent). Allerdings steigt der weltweite Ölbedarf im gleichen Zeitraum um 776 Millionen Barrel (2,5 % jährlich). Angesichts dieser Tatsache wird Bioethanol in naher Zukunft keinen relevanten Beitrag leisten können. Die Produktion müsste weltweit massiv ausgebaut werden. Einen Anreiz dazu können nur Fördermaßnahmen bzw. sehr hohe Erdölpreise sein.

Der Weltjahresverbrauch an Erdöl lag 2008 bei 31,75 Mrd. Barrel, also 5,049 Billionen Litern. Unter Zugrundelegung einer Ertragungsmenge von 2500 l/ha und einem Energieäqivalent von 0,64 zu Benzin (vgl. für beide Daten die obige Tabelle) ergibt sich ein Flächenbedarf von 31 Mio. Quadratkilometern (zum Vergleich: Landfläche Afrika: 29,3 Mio. Quadratkilometer). Wenn man das oben angegebene Verhältnis von Energieeinsatz zu Ausbeute zugrunde legt und annimmt, dass die gesamte Energie für die Herstellung von Ethanol ebenfalls von Ethanol bereitgestellt werden soll ergäbe sich eine notwendige Anbaufläche von rund 120 Mio. Quadratkilometern oder 80 % der gesamten Landfläche des Planeten Erde, die für die Energieerzeugung auf derzeitigem Erdölniveau aufgewendet werden müsste.

Bioethanol als Konkurrent zur Lebensmittelproduktion

Im Rahmen der internationalen Preisanstiege für Rohstoffe und Lebensmittel und die darauf beruhenden Unruhen in einer Reihe von Ländern wurde auch die Rolle des Bioethanols als Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion beleuchtet. Dabei geriet vor allem die Nutzung von Mais in den Vereinigten Staaten in den Mittelpunkt der Kritik. Obwohl in einer Reihe differenzierter Analysen nachgewiesen werden konnte, dass Biokraftstoffe nur anteilig an der globalen Verteuerung der Nahrungsmittel beteiligt sind und statt dessen als Hauptfaktoren das uneingeschränkte Bevölkerungswachstum sowie eine Umstellung der Ernährungsgewohnheiten in bevölkerungsreichen Schwellenländern wie China und Indien und damit ein zunehmender Bedarf an Futtermitteln für die Fleischproduktion besteht, fokussierte sich das Interesse der Medien und damit auch der Bevölkerung in dieser Diskussion vor allem auf die Biokraftstoffe.[2]

Insbesondere in armen Herstellerländern soll die Nutzung von Lebensmitteln zu einem rapiden Anstieg der Nahrungsmittelpreise geführt haben, da einheimische Käufer in direkter Konkurrenz zu Bioethanolkäufern in den westlichen Industrienationen stehen. In Mexiko hat dies schon zu einer staatlichen Preisregulierung für Mais per Notverordnung geführt, da dieser im großen Stil zu Ethanol für nordamerikanische Fahrzeuge verarbeitet wird.[3] [4] Laut einer unveröffentlichten Studie des Weltbank-Ökonomen Don Mitchell soll die Herstellung von Treibstoff aus Pflanzen die Nahrungsmittel weltweit um 75 % verteuert haben,[5] von einem offiziellen Sprecher der Weltbank wird dies allerdings als Einzelmeinung eines Experten und nicht als Ergebnis einer offiziellen Auswertung durch die Weltbank betrachtet.[6]

Der UN-Sondergesandte für das Recht auf Nahrung, Jean Ziegler, bezeichnete die Herstellung von Bioethanol in einem Interview des Bayerischen Rundfunks als Verbrechen gegen die Menschheit (wörtlich: „*Die Bio-Treibstoff-Fabrikation heute ist ein Verbrechen gegen die Menschheit.*“) und hat den Anbau von Energiepflanzen als drohendes Massaker an den Menschen in Entwicklungsländern kritisiert. Gleichzeitig warnte er angesichts von rund 850 Millionen hungernden Menschen vor Unruhen und Aufständen. Der Anbau von Energiepflanzen wurde auch beim Frühjahrstreffen des Internationalen Währungsfonds als Gefahr für die Ernährung der Weltbevölkerung bezeichnet. Entwicklungshilfeministerin Heidemarie Wieczorek-Zeul erklärte am Rande der Konferenz, daß die Erhöhung des Lebensmittelpreises um einen Prozentpunkt ungefähr 16 Millionen Menschen zusätzlich der Gefahr des Hungers aussetze. Weiter forderte sie eine Aussetzung der Bioethanolbeimischung.[7]

Auch Greenpeace beteiligte sich an der Diskussion und warf ein, dass sich aus 100 kg Getreide ungefähr 100 kg Brot herstellen lassen, jedoch nur 25 Liter Bioethanol.[8] Mit der Ernte von einem Hektar Getreideanbaufläche ließen sich rund 18 Menschen ein Jahr lang ernähren oder Bioethanol für ein Fahrzeug mit einem durchschnittlichen Verbrauch und moderater Kilometerleistung für ein Jahr herstellen. Der Betrieb eines Fahrzeuges verbraucht also so viel Getreide wie zur Ernährung von 18 Menschen notwendig ist.[9]

Weblinks

Informationsseiten

- Basisinfos zu Bioethanol als Kraftstoff (http://www.bio-kraftstoffe.info/kraftstoffe/bioethanol.html) (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe)
- Informationssammlung des deutschen Bioethanolverband LAB (http://www.lab-biokraftstoffe.de/bioethanol.html)
- Informationen zu Bioethanol und Zellulose-Ethanol (http://www.pentalco.de) (Pentalco – Initiative zur Förderung der Produktion von Bioethanol und anderen Biochemikalien aus Lignozelluose)
- Datenbank von Ethanol-Tankstellen und Umrüstern in Deutschland (http://www.ethanol-tanken.com/)
- Datenbank von Ethanol-Tankstellen in Österreich (http://www.superethanol.at/frontend/view.php)

Studien

- Bioethanol als Kraftstoff – Stand und Perspektiven (http://www.itas.fzk.de/tatup/061/schm06a.htm) (Studie von Norbert Schmitz, Meó Consulting Team)

Presseartikel

- „Wir können und wir müssen“ (http://www.n-tv.de/politik/dossier/Wir-koennen-und-wir-muessen-article64808.html) Presseartikel von „ntv“
- Sugar powers a Revolution on Brazil's roads (http://business.guardian.co.uk/story/0,16781,1648504,00.html) (englisch)
- Informationen zu Bioethanol in Brasilien (http://www.ila-bonn.de/artikel/266mythosmonokultur.htm)
- The False Hope of Biofuels (http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2006/06/30/AR2006063001480.html) Artikel der „Washington Post“, 2. Juli 2006 (englisch)
- Bericht (http://www.regenwald.org/regenwaldreport.php?artid=242) von Rettet den Regenwald zu Schäden durch Bioethanolgewinnung
- Brasilien – bald das „Grüne Saudiarabien Lateinamerikas“? (http://www.quetzal-leipzig.de/lateinamerika/brasilien/brasilien-bald-das-â□□grune-saudiarabien-lateinamerikasâ□□-19093.html), Quetzal Online-Magazin, November 2009

Referenzen

[1] Lavinia Barros de Castro: *Ethanol and Renewable Fuels: The Brazilian Experience.* (http://socrates.berkeley.edu:7001/Events/spring2005/04-20-05-furlan/index.html) Vorlesungsankündigung am Center for Latin American Studies, University of California, Berkeley

[2] Florian Krebs: *UN-Konferenz zur Nahrungskrise: „Biokraftstoffe haben die Krise nicht ausgelöst“.* (http://www.idw-online.de/pages/de/news263158) Informationsdienst Wissenschaft, 2. Juni 2008

[3] Alexandre Peyrille, Isabelle Tourne: *Volle Tanks, leere Teller. Schattenseiten des Biospritbooms.* (http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,461621,00.html) In: *Der Spiegel.* 23. Januar 2007

[4] Hildegard Stausberg: *Ethanol-Durst der USA löst Tortilla-Krise aus.* (http://www.welt.de/print-welt/article716701/Ethanol-Durst_der_USA_loest_Tortilla-Krise_aus.html) In: *Die Welt Online.* 5. Februar 2007

[5] Aditya Chakrabortty: *Secret report: biofuel caused food crisis.* (http://www.guardian.co.uk/environment/2008/jul/03/biofuels.renewableenergy) In: *The Guardian.* 4. Juli 2008

[6] Silvia Liebrich: *Die Weltbank und der Streit um Biosprit.* (http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/artikel/746/184171/) In: *Süddeutsche Zeitung.* 4. Juli 2008

[7] *Hungerkrisen durch Lebensmittel-Verteuerung?* (http://www.br-online.de/bayerisches-fernsehen/rundschau/lebensmittelpreise-iwf-hungerkrise-ID1208076437373.xml) BR-Online, 13. April 2008

[8] Sigrid Totz: *Nein, Agrosprit ist nicht bio.* (http://www.greenpeace.de/ueber_uns/geschaeftsfuehrung/artikel/-b587cd3745/) Greenpeace, 10. März 2008

[9] Viktoria Thumann: *Agro-Sprit: Antriebsmittel für den Welthunger.* (http://www.greenpeace.de/themen/landwirtschaft/nachrichten/artikel/agro_sprit_antriebsmittel_fuer_den_welthunger/) Auf Greenpeace.de, 16. Oktober 2007

Biogas

Biogas ist ein brennbares Gas, das durch Vergärung von Biomasse in Biogasanlagen hergestellt und zur Gewinnung von Energie (Bioenergie) verwendet wird. Vor der Biogasaufbereitung ist es eine wassergesättigte Gasmischung mit den Hauptkomponenten Methan (CH_4) und Kohlenstoffdioxid (CO_2). In Spuren sind meist auch Stickstoff (N_2), Sauerstoff (O_2), Schwefelwasserstoff (H_2S), Wasserstoff (H_2) und Ammoniak (NH_3) enthalten. Für die Verwertung von Biogas ist der Methananteil am wichtigsten, da seine Verbrennung Energie freisetzt.

Ebenso wie Biogas entstehen Deponiegas und Klärgas bei der als Vergärung oder Faulung bezeichneten anaeroben Zersetzung von organischem Material. Daher werden diese Gase gelegentlich auch unter den Bezeichnungen Faulgas oder Biogas zusammengefasst.



Speicher der Biogasanlage Güssing Burgenland Österreich

Herstellung

Hauptartikel: Biogasanlage



Biogasanlage der Mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlage (MBA) Lübeck

Vergleich von Biogasrohstoffen

Material	Biogasertrag[1] (FM = Frischmasse)	Methangehalt[1]
Maissilage	202 m³/t FM	52 %
Grassilage	172 m³/t FM	54 %
Roggen-GPS	163 m³/t FM	52 %
Futterrübe	111 m³/t FM	51 %
Bioabfall	100 m³/t FM	61 %
Hühnermist	80 m³/t FM	60%
Zuckerrübenschnitzel	67 m³/t FM	72 %
Schweinemist	60 m³/t FM	60 %
Rindermist	45 m³/t FM	60 %
Getreideschlempe	40 m³/t FM	61 %
Schweinegülle	28 m³/t FM	65 %

Rindergülle	25 m³/t FM	60 %

Als Ausgangsstoffe für die technische Produktion von Biogas eignen sich:

- vergärbare, biomassehaltige Reststoffe wie Klärschlamm, Bioabfall oder Speisereste
- Wirtschaftsdünger (Gülle, Mist)
- bisher nicht genutzte Pflanzen bzw. Pflanzenteile (z. B. Zwischenfrüchte, Pflanzenreste, etc.)
- gezielt angebaute Energiepflanzen (Nachwachsende Rohstoffe).

Dabei stellt die Landwirtschaft mit den drei letztgenannten Möglichkeiten das größte Potenzial für die Produktion von Biogas. Bis auf die letzte Möglichkeit handelt es sich dabei um prinzipiell kostenlose Ausgangsstoffe (abgesehen von Transport- und sonstigen Nebenkosten).

Aufgrund der kontinuierlichen Verfügbarkeit (grundlastfähig) und der Speicherbarkeit (spitzenlastfähig) eignet sich die Bioenergie und damit auch der Bioenergieträger Biogas im Energiemix der erneuerbaren Energieträger zum Ausgleich kurzfristiger Schwankungen im Stromangebot der Wind- und Sonnenenergie. Bisher werden die meisten Biogasanlagen kontinuierlich, also als Grundlastkraftwerk, betrieben.

Zusammensetzung

Die Literaturangaben zur Zusammensetzung von Biogas sind sehr unterschiedlich. Die Gaszusammensetzung hängt von diversen Parametern, wie Substratzusammensetzung und Betriebsweise des Faulbehälters, ab.

	Schwankungsbreite	**Durchschnitt**
Methan	45–70 %	60 %
Kohlendioxid	25–55 %	35 %
Wasserdampf	0–10 %	3,1 %
Stickstoff	0,01–5 %	1 %
Sauerstoff	0,01–2 %	0,3 %
Wasserstoff	0–1 %	< 1 %
Ammoniak	0,01–2,5 mg/m³	0,7 mg/m³
Schwefelwasserstoff	10–30.000 mg/m³	500 mg/m³

|+ Zusammensetzung von Biogas[2] Wertvoll im Biogas ist das zu rund 60% enthaltene Methan. Je höher dessen Anteil ist, desto energiereicher ist das Gas. Nicht nutzbar sind das Kohlendioxid und der Wasserdampf. Im Rohbiogas störend sind vor allem Schwefelwasserstoff und Ammoniak. Sie werden bei der Biogasaufbereitung vor der Verbrennung entfernt, um Korrosion in Motoren, Turbinen und nachgeschalteten Komponenten (Wärmetauscher etc.) zu verhindern.

Nutzung

Blockheizkraftwerke

In Deutschland ist die Verbrennung in Blockheizkraftwerken (BHKW) am häufigsten. Der Motor oder die Turbine des BHKW treibt einen Generator an, der Elektrizität zur Einspeisung in das Stromnetz produziert. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sichert eine gegenüber konventionellem Strom erhöhte und auf 20 Jahre garantierte Einspeisevergütung.

Die Abwärme des BHKW kann zusätzlich genutzt werden und liefert Erträge durch den Verkauf der Wärme sowie einen ebenfalls im EEG festgelegten Bonus für die Kraftwärmekopplung (KWK-Bonus). Bisher wird bei den meisten landwirtschaftlichen Biogasanlagen mangels Wärmebedarf vor Ort nur ein geringer Teil der Wärme genutzt, beispielsweise zur Beheizung des Fermenters sowie von Wohn- und Wirtschaftsgebäuden. Unter anderem hohe Energiepreise und finanzielle Anreize durch die ab 2009 gültige Novelle des EEG fördern die Wärmenutzung. Das kann durch Nahwärmenetze geschehen, wie z. B. im Bioenergiedorf Jühnde. Eine Alternative ist der Transport von Biogas in Biogasleitungen über Mikrogasnetze direkt zum Wärmeabnehmer. Ein teures Wärmenetz mit Durchleitungsverlusten kann so vermieden werden. Da der größte Teil der Biogaserträge durch den Stromverkauf erzielt wird, befindet sich beim Wärmeabnehmer ein BHKW, welches als Hauptprodukt Strom zur Netzeinspeisung produziert und Wärme als Koppelprodukt bereitstellt.

Einspeisung in das Erdgasnetz

Hauptartikel: Biomethan, Biogasaufbereitung

Um Abwärme aus der Biogasverstromung umfassender nutzen zu können, kann nach einer umfassenden Biogasaufbereitung eine Einspeisung in das Erdgasnetz erfolgen. Neben dem Entfernen von Wasser, Schwefelwasserstoff (H_2S) und Kohlendioxid (CO_2) muss auch eine Anpassung an den Heizwert des Erdgases im jeweiligen Gasnetz (Konditionierung) stattfinden. Der für die Einspeisung notwendige Druck hängt von der Gasleitung ab, in die das als Bioerdgas oder Biomethan bezeichnete Gas eingespeist werden soll.

An anderer Stelle des Erdgasnetzes kann eine äquivalente Menge Gas wieder aus dem Netz entnommen und genutzt werden. So kann beispielsweise bei einem Schwimmbad mit hohem und ganzjährigem Wärmebedarf ein BHKW mit Biomethan betrieben werden. Ähnlich wie bei einem BHKW-Betrieb an der Biogasanlage gelten auch hier die durch das EEG festgelegten Vergütungen und Boni. Wegen des hohen technischen Aufwands lohnt sich die Aufbereitung und Einspeisung derzeit nur für überdurchschnittlich große Biogasanlagen. Erste Projekte dazu starteten 2007.[3]

Weitere Nutzungsarten

Hauptartikel: Biomethan

Biogas kann als nahezu CO_2-neutraler Treibstoff in Kraftfahrzeugmotoren genutzt werden. Da eine Aufbereitung auf Erdgasqualität notwendig ist, muss der CO_2-Anteil weitestgehend entfernt werden. Dieses sogenannte Biomethan oder Bioerdgas muss auf 200 bis 300 bar verdichtet werden, um in umgerüsteten Kraftfahrzeugen genutzt werden zu können. Bisher wird Biogas selten auf diesem Weg verwertet. 2006 wurde die erste deutsche Biogastankstelle in Jameln (Wendland) eröffnet[4] . Wegen der hohen elektrischen Wirkungsgrade könnte in Zukunft zudem die Verwertung von Biogas in Brennstoffzellen interessant sein. Der hohe Preis für die Brennstoffzellen, die aufwendige Gasaufreinigung und die in Praxisversuchen bisher noch geringe Standzeit verhindern eine breitere Anwendung dieser Technik.

Biogas in Europa

In der EU wurden im Jahr 2006 62.200 GWh Energie aus Biogas produziert. Zu Biogas wurde in dieser Erfassung auch Deponie- und Klärgas gezählt. Den größten Anteil machte Deponiegas mit 58 % aus. Klärgas trug 18 % und Andere trugen 24 % bei. Unter "Andere" fällt Biogas nach der in diesem Artikel gültigen Definition. Deutschland und Großbritannien machten mit fast 36 % bzw. fast 32 % den größten Anteil aus. Andere Länder folgen mit deutlichem Abstand. In Großbritannien ist Deponiegas am bedeutendsten (90%), während in Deutschland Biogas (Andere) mit über 50 % dominiert. Pro 1000 Einwohner führt Großbritannien mit 327 kWh vor Deutschland mit 271 kWh.

Biogas-Energie 2006 (GWh)[5]				
Staat	**Gesamt**	**Deponiegas**	**Klärgas**	**Andere**
Deutschland	22 370	6 670	4 300	11 400
UK	19 720	17 620	2 100	0
Italien	4 110	3 610	10	490
Spanien	3 890	2 930	660	300
Frankreich	2 640	1 720	870	50
Niederlande	1 380	450	590	340
Österreich	1 370	130	40	1 200
Dänemark	1 100	170	270	660
Polen	1 090	320	770	10
Belgien	970	590	290	90
Griechenland	810	630	180	0
Finnland	740	590	150	0
Tschechien	700	300	360	40
Irland	400	290	60	50
Schweden	390	130	250	10
Ungarn	120	0	90	40
Portugal	110	0	0	110
Luxemburg	100	0	0	100
Slowenien	100	80	10	10
Slowakei	60	0	50	10
Estland	10	10	0	0
Malta	0	0	0	0
EU (GWh)	**62 200**	**36 250**	**11 050**	**14 900**

Biogas 2006 (MWh/1000 Bewohner)[5]	
Staat	**MWh/1000 Bw.**
UK	327
Deutschland	271
Luxemburg	226
Dänemark	202
Österreich	166
Finnland	141

Deutschland

Von 1999 bis 2007 wuchs die Zahl der Biogasanlagen von etwa 700 auf über 3700. Die installierte Leistung stieg durch die Tendenz zu größeren Anlagen überproportional und lag 2007 bei 1270 MW. Das entspricht der Leistung eines großen Atomkraftwerks. Die 2007 erzeugten rund 9 Milliarden kWh Elektrizität entsprachen 10 % des Stroms aus Erneuerbaren Energien bzw. rund 1,5 % des gesamten Strombedarfs der Bundesrepublik Deutschland. Der Ausstoß von 8,5 Millionen t CO_2 konnten so vermieden werden, was etwa 0,8 % der deutschen Treibhausgasemissionen entspricht. Für die Substratbereitstellung wurden 400.000 ha Anbaufläche benötigt, was 2 % der gesamten landwirtschaftlich genutzten Flächen entspricht. Es wird angenommen, dass die Erzeugung von Bioerdgas bis 2020 auf jährlich 12 Milliarden m³ Biomethan ausgebaut werden kann, ohne die Lebensmittelerzeugung zu beeinflussen. Das entspräche einer Verfünffachung der Kapazitäten des Jahres 2007.[6] [7] Ein wichtiger Faktor für den Ausbau ist das EEG, das eine erhöhte Vergütung für den eingespeisten Strom garantiert. Neben dieser Grundvergütung sind Zuschläge in Form verschiedener Boni möglich. Zweck des EEGs ist unter anderem der Klima-, Ressourcen- und Umweltschutz.[8]

Biogasbelieferung

In Deutschland etablieren sich seit dem Start von Lichtblick als Gaslieferant im Oktober 2007 zunehmend Anbieter, die eine bundesweite Belieferung von reinem Biogas oder Beimischungen zu fossilem Erdgas für Endkunden anbieten. Bundesweite Angebote bieten folgende Lieferanten an:

- LichtBlick AG (seit 10/2007) [9] - Biogas-Anteil: 5%
- Naturstrom AG (ab 03/2010) [10] - Biogas-Anteil: 10%, 20% oder 100% (je nach Tarifwahl)
- SE SAUBER ENERGIE GmbH & Co. KG (ab 02/2010) [11] - Biogas-Anteil: 5%

Schweiz

In der Schweiz wird Biogas häufig als Kompogas bezeichnet. An vielen Schweizer Gastankstellen wird unter der Bezeichnung „Naturgas“ ein Gemisch von Kompogas und Erdgas verkauft. Im Mai 2007 betrug der Anteil von Kompogas im Raum Zürich ungefähr 40 %, hingegen in der Romandie 0 %. Schweizweit soll der Anteil vom Biogas am „Naturgas“ mindestens 10 % betragen.



Ein mit Biogas betriebener Bus von Bernmobil

Seit dem 1. Januar 2009 ist auch in der Schweiz ein erhöhter Einspeisetarif (Einspeisevergütung für aus Biogas erzeugten Strom) für erneuerbare Energien in Kraft, welche auch Biogas einschließt. Dieser

wird als kostendeckende Einspeisevergütung bezeichnet, wobei über die Bezeichnung „kostendeckend“ debattiert wird und „kostenbasiert“ als Alternative vorgeschlagen wird. Hervorzuheben ist der sogenannte Landwirtschaftsbonus, der gewährt wird, wenn mindestens 80 % der Substrate aus Hofdünger bestehen. Das schweizerische Fördermodell soll so die nachhaltige Entwicklung im Energiesektor forcieren, da sie insbesondere die güllebasierten und damit nachhaltigsten Biogasanlagen fördert.

Schweden

In Schweden, wo die Stromerzeugung aus Biogas wegen niedrigerer Strompreise unrentabel ist, ist hingegen die Aufbereitung auf Erdgasqualität (Biomethan) und Einspeisung in das Gasnetz sowie die Nutzung als Treibstoff in Gasfahrzeugen die am weitesten verbreitete Nutzungsvariante.

Reinigung und Aufbereitung

Hauptartikel: Biogasaufbereitung

Abhängig von der Nutzungsweise des Biogases (siehe oben) sind verschiedene Reinigungs- und Aufbereitungsschritte notwendig.

Entschwefelung

Schwefel findet sich als Schwefelwasserstoff (H_2S) im Biogas. Meist ist der Anteil gering, kann aber bei proteinreichem Substrat (Getreide, Leguminosen, Schlachtabfälle etc.) stark ansteigen. Selbst geringe Mengen H_2S sind zu entfernen, da bei der Verbrennung Schwefelsäure (H_2SO_4)entsteht. Diese kann zu direktem Verschleiß durch Korrosion im Motor oder Brenner, sowie zu indirektem Verschleiß durch Ansäuerung und damit Veränderung der Schmiereigenschaften des Motoröls führen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Entschwefelung. Gegebenenfalls sind mehrere Stufen nötig wie Grob- bzw. Feinentschwefelung.

Zu beachten ist auch die Hemmwirkung des in der Gülle gelösten Schwefelwasserstoffes auf die Aktivität der Mikroorganismen. Durch begrenzte Schwefelzufuhr mittels entsprechender Substratmischungen kann eine Hemmung vermieden werden. Zudem ist eine sukzessive Gewöhnung der Mikroorganismen an hohe H_2S-Werte möglich.

Trocknung

Wasser muss aus dem Biogas entfernt werden, da es schädlich für Verbrennungsmotoren ist. Bei einer Einspeisung in das Erdgasnetz muss das Gas trocken sein, um die Bildung von Wassertaschen durch Kondensation zu vermeiden. Da Ammoniak gut wasserlöslich ist, kann es bei der Trocknung aus dem Gas entfernt und mit dem Kondensat abgeführt werden. Die Kondensation erfolgt meist über Kühlung durch im Erdreich verlegte Gasleitungen oder durch Kompressorkälte.

CO_2-Abtrennung

CO_2 ist nicht weiter oxidierbar und trägt daher nicht zum Heizwert des Biogases bei. Um in das Erdgasnetz einspeisen zu können oder um erdgasgeeignete Kraftfahrzeuge mit Biogas betreiben zu können, muss dessen Heizwert an das Erdgas angepasst werden. Da Methan die energieliefernde Komponente des Biogases ist, muss dessen Anteil durch Entfernung von CO_2 erhöht werden.

Die Aufbereitung des Biogases zu sogenanntem Biomethan oder Bioerdgas umfasst, neben den bereits geschilderten Verfahren zur Entschwefelung und Trocknung, vor allem die Reduzierung des CO_2- und O_2-Anteils. Die derzeit gängigen Verfahren der Methananreicherung durch CO_2-Abtrennung sind Gaswäschen wie z. B. die Druckwasserwäsche (Absorptionsverfahren mit Wasser oder speziellen Waschmitteln) und die Druckwechsel-Adsorption (Adsorptionsverfahren an Aktivkohle). Bereits in den 1980er Jahren wurden in zwei

Klärwerken in Deutschland eine Abtrennung des CO_2 im Klärgas durch Absorptionsmittel wie z. B. Monoethanolaminlösung (Aminwäsche) über Jahre erfolgreich betrieben, um sie dann ins Erdgasnetz einzuspeisen.[12] Daneben sind weitere Verfahren wie die kryogene Gastrennung (mittels tiefen Temperaturen) oder die Gastrennung durch Membranen in der Entwicklung.

Konditionierung

Je nach Herkunft hat Erdgas aus verschiedenen Netzen unterschiedliche Heizwerte. Bei einer Einspeisung von aufbereitetem Biogas muss dessen Heizwert an das jeweilige Netz angepasst werden. Der sogenannte Wobbeindex definiert diesen Wert. Durch Beimischen von Gasen (Propan, Butan) ist eine Erhöhung möglich. Zunächst lag die Konditionierung in der Verantwortung des Gaseinspeisers. Um den Netzzugang zu erleichtern, wurde diese Verantwortung zu 2008 durch die Gasnetzzugangsverordnung auf den Netzbetreiber übertragen.

Verdichtung

Die Verdichtung von Biogas ist notwendig, wenn aufbereitetes Biogas als Biomethan in das Erdgasnetz eingespeist oder als Biokraftstoff in dafür geeigneten Fahrzeugen verwendet werden soll. In diesem Fall sind, abhängig vom jeweiligen Netz, niedrige bis mittlere Drücke bis etwa 20 bar notwendig. Für die Nutzung als Treibstoff ist eine stärkere Komprimierung auf über 200 bar notwendig, um ausreichende Energiedichten zu erhalten. Solch hohe Drücke sind nur mit einer mehrstufigen Verdichtung realisierbar.

Weitere Reinigungs- und Aufbereitungsschritte

In Deponie- und Klärgasen können Siloxane sowie halogenierte und cyclische Kohlenwasserstoffe enthalten sein. Siloxane verursachen stark erhöhten Motorenverschleiß. Die Kohlenwasserstoffe führen zu Emissionen toxischer Verbindungen. Mit Aktivkohle können Siloxane und Kohlenwasserstoffe aus dem Biogas entfernt werden.

Literatur

- *Biogas: Strom aus Gülle und Biomasse. Planung, Technik, Förderung, Rendite.* Top agrar, Das Magazin für moderne Landwirtschaft. Landwirtschaftsverlag, o.O. 2000, ISBN 3-7843-3075-4
- Heinz Schulz, Barbara Eder: *Biogas-Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele.* Ökobuch, o.O. 2005, ISBN 3-922964-59-1
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV): *Biogas Handbuch Bayern*, Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt, München, Ausgabe 2008. [13]

  Die kostenlose Broschüre (50 Seiten) enthält Grundlagen und Techniken zur Biogasgewinnung sowie Informationen zu Genehmigungsverfahren. Der 500-seitige Materialband kann unter der Web-Adresse [14] heruntergeladen werden.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: Frank Hofmann, André Plättner, Sönke Lulies, Frank Scholwin, Stefan Klinski, Klaus Diesel: *Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz*; Leipzig 2006, ISBN 3-00-018346-9 [15]
- Bernward Janzing: *Nicht förderwürdig – Mit Biodiesel ist eine flächendeckende Energieversorgung nicht möglich.* – Biogas versus Biodiesel. In: *taz* 20. Mai 2006, S. 11 [16]
- Analyse und Bewertung der Nutzung von Biomasse. Eine Studie im Auftrag des BGW und DVGW (Wuppertal Institut, 2005). Die Studie ist im Netz verfügbar (siehe untenstehende Links).
- Lukas Berle: *Die Zukunft von Biogasanlagen mit besonderem Hinblick auf den Raum Hof*, Hof 2008 [17]
- European Biomass Association [18] (AEBIOM), Infos und Statistiken zu Biogas in Europa, z. B. "A Biogas Road Map for Europe" [19], 20-seitige Broschüre, 2007

Weblinks

- Fachverband Biogas in Deutschland [20]

Referenzen

[1] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): *Biogas Basisdaten Deutschland Stand: Januar 2008.*

[2] DVGW

[3] *Lichtblick verkauft auch Biogas*, die tageszeitung 12. Juni 2008 (http://www.taz.de/digitaz/2008/06/12/a0165.nf/text)

[4] Homepage des Betreibers der ersten Biogastankstelle (http://www.wendland-elbetal.de/index.php?id=57,91,0,0,1,0)

[5] Biogas barometer 2007 – EurObserv'ER (http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/erec/baro179_a.asp) Systèmes solaires – le journal des énergies renouvelables n° 179, S. 51–61, 5/2007 (Anm. 1 ktoe ~ 11 GWh)

[6] Broschüre des Fachverbands Biogas: *Multitalent Biogas*, Berlin 2008, 88 Seiten

[7] Entwicklung der Erneuerbaren Energien bis 2008, Statistiken und Graphiken, [[Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit|BMU (http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_in_deutschland_graf_tab_2008.pdf)] 2009]

[8] Volltext des EEG 2009 bei juris (http://bundesrecht.juris.de/eeg_2009/index.html)

[9] *Gastarife der LichtBlick AG* (http://www.lichtblick.de/h/lichtblick_gas_4.php).

[10] *Gastarife der Naturstrom AG* (http://www.naturstrom.de/unser-gasangebot/biogas.html).

[11] *Gastarife der SE SAUBER ENERGIE GmbH & Co. KG* (http://www.saubergas.de/informieren/).

[12] Biogasaufbereitung für Einspeisung ins Erdgasnetz (http://www.eon-ruhrgas.com/cps/rde/xchg/SID-3F57EEF5-A344DB75/er-corporate/hs.xsl/4372_313935303333.htm)

Biogasanlage

Eine **Biogasanlage** dient der Erzeugung von Biogas durch Vergärung von Biomasse. In landwirtschaftlichen Biogasanlagen werden meist tierische Exkremente (Gülle, Festmist) und Energiepflanzen als Substrat eingesetzt. Als Nebenprodukt wird ein als Gärrest bezeichneter Dünger produziert. Bei den meisten Biogasanlagen wird das entstandene Gas vor Ort in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt. Eine Biogasanlage dient der Erzeugung von Biogas durch Vergärung von Biomasse.



Biogasanlage in Neuhaus (Oste)

Prinzip einer Biogasanlage

Vergleich von Biogasrohstoffen

Material	Biogasertrag[1] (FM = Frischmasse)	Methangehalt[1]
Maissilage	202 m³/t FM	52 %
Grassilage	172 m³/t FM	54 %
Roggen-GPS	163 m³/t FM	52 %
Futterrübe	111 m³/t FM	51 %
Bioabfall	100 m³/t FM	61 %
Hühnermist	80 m³/t FM	60%
Zuckerrübenschnitzel	67 m³/t FM	72 %
Schweinemist	60 m³/t FM	60 %
Rindermist	45 m³/t FM	60 %
Getreideschlempe	40 m³/t FM	61 %
Schweinegülle	28 m³/t FM	65 %
Rindergülle	25 m³/t FM	60 %

In einer Biogasanlage erfolgt der anaerobe mikrobielle Abbau (Vergärung) des eingesetzten Substrats. Dieses besteht meist aus gut abbaubarer Biomasse wie Gülle, Energiepflanzen (vor allem Mais-, Getreide- und Grassilage), landwirtschaftliche Nebenprodukte oder Bioabfälle. Stroh und Holz, die vor allem Cellulose und Lignocellulose enthalten, sind unter anaeroben Bedingungen nur schwer bzw. nicht abbaubar und werden daher nicht eingesetzt.

Verschiedene Arten von Mikroorganismen nutzen die komplex zusammengesetzte Biomasse (vor allem Kohlenhydrate, Fette und Proteine) als Nährstoff- und Energielieferanten. Anders als beim aeroben Abbau (z.B. Kompostierung) können die Organismen bei der Vergärung nur einen geringen Teil der enthaltenen Energie erschließen. Sie müssen daher relativ große Mengen umsetzen, um ihren Energiebedarf decken zu können. Hauptprodukte des Abbaus sind das energiereiche Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2). Da sie gasförmig sind, trennen sie sich vom Gärsubstrat und bilden die Hauptkomponenten des Biogases. CO_2 ist nicht weiter oxidierbar, kann aber zusammen mit dem energiereichen CH_4 in geeigneten BHKWs der Verbrennung zugeführt werden.

Substrate zur Biogaserzeugung

Hauptartikel: Substrat (Biogasanlage)

Der zur Biogaserzeugung eingesetzte Rohstoff wird meistens als Substrat oder Einsatzstoff bezeichnet. Theoretisch eignet sich jede Art von Biomasse, die unter anaeroben Bedingungen (Vergärung) abgebaut wird. Bedingt durch die jeweilige chemische Zusammensetzung (Kohlenhydrate, Fette, Proteine, etc.) ergeben sich pro eingesetzter Masse unterschiedliche Mengen Biogas mit verschiedenen Methananteilen. Dies erklärt teilweise die in der Tabelle gezeigten unterschiedlichen Methangehalte beim Einsatz unterschiedlicher Substrate. Bei der Tabelle ist zu beachten, dass sich die Ausbeute auf eine Tonne Frischmasse bezieht. Werden Pflanzen zur Verwendung als Substrat angebaut, so ist der erwartete Ertrag an Frischmasse pro Hektar einzubeziehen. In der Praxis entscheiden die Einkaufs- und Anbaukosten, die durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) festgelegten Vergütungen und Boni und die Eignung der Biogasanlage über das verwendete Substrat.

Zur groben Abschätzung der Nutzung für die Leistungserzeugung bei durchschnittlichem Wirkungsgrad gilt:

- 1 ha Mais entspricht ca. 2 kW elektrischer Leistung

(dies gilt näherungsweise bei nur einer Ernte pro Jahr; in einem Treibhaus – bei optimalen Wachtumsbedingungen – lässt sich leicht ein 10- bis 20-facher Wert erzielen, sicherlich wird man dort andere Energiepflanzen einsetzen,

welche eine deutlich höhere Leistung erzeugen, man wird eine kontinuierliche Leistung von 20-50 Watt pro Quadratmeter anstreben)

- 1 ha sonstiges Getreide entspricht ca. 1,5 kW elektrischer Leistung
- 1 ha Gras entspricht ca. 1 kW elektrischer Leistung
- Gülle von 1 Kuh entspricht ca. 0,15 kW elektrischer Leistung

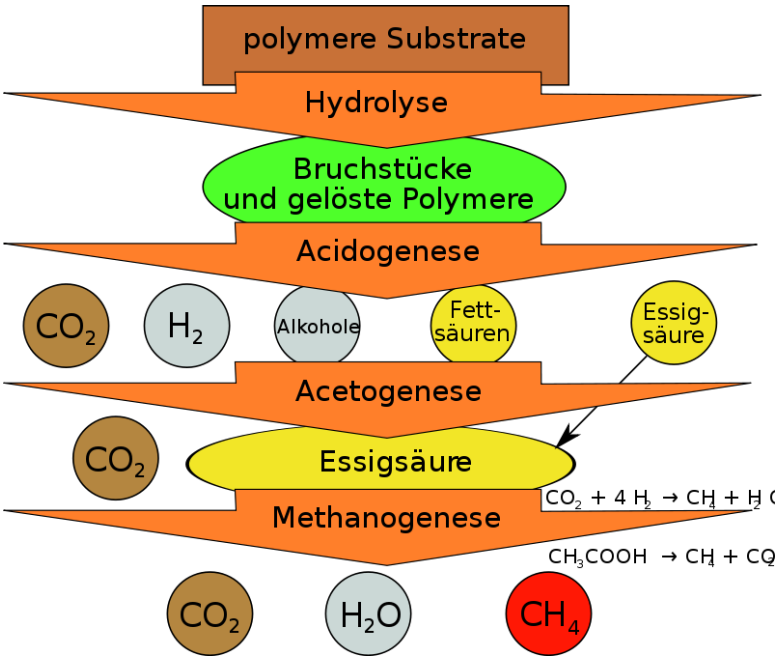
Mikrobielle Prozesse

Der anaerobe Abbau von Biomasse ist Grundlage der Entstehung von Faulgasen wie Deponie-, Klär-, Sumpf- und Biogas. Viele verschiedene Arten von Mikroorganismen sind beteiligt. Vorkommen und Mengenanteile der Arten sind von der Art des Substrats, dem pH-Wert, der Temperatur und dem Ablauf der Vergärung abhängig. Aufgrund der vielfältigen Stoffwechselfähigkeiten dieser Mikroorganismengemeinschaft können fast alle organischen Stoffe abgebaut werden. Lediglich faserartige Anteile aus Cellulose und verholzte Anteile aus Lignocellulose sind enzymatisch schwer abbaubar. Voraussetzung für die Methanbildung ist ein ausreichender Wasseranteil im Gärsubstrat.

Der Abbauprozess wird schematisch in vier aufeinander folgenden biochemische Einzelprozesse (Phasen) dargestellt. Bei den meisten gängigen Anlagenkonzepten findet laufend eine Substratzufuhr zum Fermenter statt, so dass die vier Phasen parallel stattfinden.

1. Phase: Hydrolyse

Mikroorganismen können die polymeren Makromoleküle (z. B. Kohlenhydrate, Proteine) nicht direkt in die Zelle aufnehmen. Daher werden zunächst verschiedene Arten von Exoenzymen, wie Amylasen, Proteasen und Lipasen ausgeschieden. Diese hydrolysieren die Makromoleküle in ihre löslichen Oligomere und Monomere. Kohlenhydrate wie Stärke und Hemicellulose werden so in Oligo- und Monosaccharide (Mehrfach- und Einfachzucker) zerlegt. Proteine werden zu Peptiden oder Aminosäuren abgebaut. Fette können in ihre Bestandteile, wie beispielsweise Fettsäuren und Glycerin, hydrolisiert werden.



Biogasprozess schematisch

2. Phase: Acidogenese oder Versäuerungsphase

Die Produkte aus der Hydrolyse werden durch säurebildende Mikroorganismen verstoffwechselt. Die Produkte der Acidogenese sind niedere Fett- und andere Carbonsäuren, wie Valerian-, Butter-, Propionsäure, Alkohole wie Ethanol und als ein Abbauprodukt der Proteine Schwefelwasserstoff (H_2S) und Ammoniak (NH_3). Dabei entstehen außerdem Essigsäure (Acetat), Wasserstoff und Kohlendioxid, welche als Ausgangsprodukte für die Methanbildung dienen.

3. Phase: Acetogenese oder essigbildende Phase

Während der Acetogenese werden die niederen Fett- und Carbonsäuren sowie die niederen Alkohole durch acetogene Mikroorganismen zu Essigsäure (Acetat) umgesetzt.

4. Phase: Methanogenese oder methanbildende Phase

In der letzten, obligat anaerob ablaufenden Phase – der Methanogenese – wird die Essigsäure durch entsprechend acetoklastische Methanbildner nach Gleichung 1 in Methan umgewandelt. Etwa 30 % des Methans entstehen nach Gleichung 2 aus Wasserstoff und CO_2, den Zwischenprodukten aus der Acetogenese.

Gleichung 1: $\mathrm{CH_3COOH \rightarrow CO_2 + CH_4}$

Gleichung 2: $\mathrm{CO_2 + 4\ H_2 \rightarrow CH_4 + 2\ H_2O}$

Die vier Phasen lassen sich nicht strikt trennen, da beispielsweise auch schon in der Acidogenese Essigsäure, Wasserstoff und Methan entstehen. Die Methanogenese hingegen erfordert spezielle Stoffwechselfähigkeiten, die sich nur bei den Methanogenen finden. Diese Mikroorganismen gehören zur Gruppe der Archaeen und sind nur entfernt mit den Bakterien verwandt, die die anderen Schritte des Abbaus durchführen.

Verbleib des Substrats

Ein Teil des Substrats dient den Mikroorganismen als Nährstoff zum Aufbau von Zellmasse zur Zellteilung (Anabolismus). Die dafür benötigte Energie wird aus der Vergärung des Substrats gewonnen. Da der Energiegewinn, verglichen mit der aeroben stattfindenden Atmung, gering ist, müssen pro erzeugter Zellmasse vergleichsweise große Massen Substrat umgesetzt werden.

Bei gut abbaubaren Substraten wird ein großer Teil der Trockensubstanz in das Biogas umgesetzt. Daher bleibt ein wässriges Gemisch aus schwer abbaubarem organischem Material, wie Lignin und Cellulose, sowie aus anorganischen Stoffen wie zum Beispiel Sand oder anderen mineralischen Stoffen, der sogenannte Gärrest zurück. Dieser wird meistens als landwirtschaftlicher Dünger verwendet werden, da er noch sämtliche im Substrat enthaltenen Spurenelemente, fast den gesamten Stickstoff, Phosphor und - abhängig von der Verfahrensart der Biogasanlage - auch fast den gesamten Schwefel enthält.

Funktionsweise und Betrieb

Verschiedene z. T. recht unterschiedliche Anlagenkonzepte werden in der Praxis angewendet. Vor allem die Zusammensetzung und Konsistenz des Substrats entscheiden, welches Konzept angewandt wird. Aber auch Rahmenbedingungen durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz, die die Vergütung für den eingespeisten Strom bestimmen, sind relevant. Ebenso können Vorschriften zur Hygienisierung und zur Vermeidung von Emissionen die Planung einer Biogasanlage beeinflussen.



Hier entsteht Biogas: Oberfläche des Gärssubstrats im Pfropfenstrom-Fermenter einer Biogasanlage.

Nass- und Trockenfermentation

Ein Unterscheidungsmerkmal bei Biogasanlagen ist die Betriebsweise als Nass- oder Trockenfermentation oder -vergärung. Bei der Nassfermentation macht ein hoher Wasseranteil im Gärsubstrat die Masse rühr- und fließfähig und wird während der Fermentation durchmischt. Die Trockenfermentation oder auch Feststoffvergärung erfolgt mit stapelbarer organischer Biomasse. Im Gegensatz zur Nassvergärung wird hier das Gärgut weder verflüssigt, noch erfolgt eine ständige Durchmischung während der Vergärung. Die Verfahrenswahl hängt im Wesentlichen von den Substraten ab.

Für die Güllenutzung kommt nur die Nassvergärung in Frage, während strukturreiche Biomasse oft die für die Nassvergärung nötigen Rührwerke blockiert. Bei der Nassvergärung muss daher die feste Biomasse gut zerkleinert und mit Flüssigkeit punpfähig gehalten werden. In Deutschland ist die Nassvergärung vorherrschend, weil die meisten Anlagen von Landwirten mit Viehzucht errichtet wurden, die häufig sowohl Energiepflanzen als auch Gülle einsetzen.

Domäne der Trockenfermentation ist die stapelbare Biomasse, wie sie im Garten- und Landschaftsbau anfällt sowie die Vergärung von Wiesen- oder Ackergras. Trockenfermentation wird auch als Ergänzung oder Ersatz zur Kompostierung eingesetzt. Jedoch ist Bezeichnung „Trockenvergärung“ irreführenden, da die für die Vergärung notwendigen Mikroorganismen für ihr Überleben und Stoffwechsel ein flüssiges Medium benötigen. Seit 2004 wurde im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) ein Technologiebonus von 2 Cent/kWh eingespeisten Strom für die Trockenfermentation bezahlt. In den folgenden Jahren nahm daher auch in der Landwirtschaft die Bedeutung der Trockenfermentation stark zu. Für neu errichtete Anlagen ab 2009 entfällt der Technologiebonus, da das Verfahren inzwischen als etablierte Technik gilt.

Batch- und kontinuierliche Vergärung

Die meisten Anlagen werden mit einer kontinuierlichen Vergärung betrieben, bei der dem Prozess laufend Substrat zugeführt wird und Biogas sowie Gärrest entnommen werden. Vorteilhaft sind die Automatisierbarkeit und die relativ gleichmäßige Gasproduktion, so dass nachfolgende Komponenten wie Gasreinigung, Blockheizkraftwerk (BHKW) und Gasaufbereitung ebenfalls kontinuierlich arbeiten. Neben der Nassvergärung (auch Nassfermentation) kann auch die Trockenvergärung (auch Trockenfermentation) einen kontinuierlichen Anlagenbetrieb erlauben. Wenn der Gehalt an Trockenmasse aber sehr hoch oder das Substrat sehr faserig ist, beispielsweise bei Biomüll, Hausmüll und Grünschnitt, wird häufig die Batch-Vergärung angewandt. Hierbei wird für jede Substratcharge die Biogaserzeugung abgeschlossen und der Fermenter entleert, bevor die nächste Charge eingebracht wird. Durch Staffelung mehrerer Fermenter wird auch hier eine quasi-kontinuierliche Gasproduktion möglich.

Ein- und mehrstufige Anlagen

Die einzelnen Schritte des mikrobiellen Abbaus haben bestimmte Optima. So läuft die Hydrolyse optimal bei einem niedrigen, leicht sauren pH-Wert, weshalb bei vielen Anlagen eine Hydrolysestufe mit nachgeschalteter Methanstufe vorhanden ist. Die Methanogenese läuft bevorzugt in leicht alkalischem Milieu ab. Häufig findet sich aber auch nur ein oder mehrere parallel geschaltete Fermenter ohne Trennung der Abbaustufen. In der Regel ist noch ein Lagerbehälter nachgeschaltet, der luftdicht abgeschlossen ist und daher als Nachgärer fungiert.

Anlagenbetrieb

Über das genaue Zusammenspiel der Mikroorganismen ist nur wenig bekannt. Daher ist es schwierig, die verschiedenen Parameter (Substratart, Substratmenge, Temperatur, Rührwerkseinstellungen, etc.) optimal einzustellen. Viele Maßnahmen beruhen auf Erfahrungen. In Forschungsprojekten werden Charakterisierungen der mikrobiologischen Populationen bzw. Gemeinschaften vorgenommen, um Zusammenhänge besser zu verstehen.

Zur Aufrechterhaltung des Fermentationsprozesses bei der Nassvergärung wird bei niedrigen Substratkonzentrationen ein nicht unerheblicher Teil der Abwärme aus der Biogasverstromung zur Aufrechterhaltung der Fermentertemperatur benötigt. Anlagen mit Trockenfermentation benötigen einen deutlich geringeren Anteil der produzierten Wärme. Für den Gesamtwirkungsgrad und die Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage ist die optimale Nutzung der Abwärme (Gebäudeheizung, Holz- und Getreidetrockung, etc.) ein wichtiger Faktor.

Verwendung der Produkte

Biogas

Hauptartikel: Biogas

Derzeit (2009) wird in Deutschland Biogas hauptsächlich direkt an der Biogasanlage zur dezentralen gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung) in Blockheizkraftwerken (BHKWs) genutzt. Dazu wird das Gasgemisch getrocknet, entschwefelt und dann einem Verbrennungsmotor zugeführt, der einen Generator antreibt. Der so produzierte Strom wird in das Netz eingespeist. Die in Abgas und Motorkühlwasser enthaltene Wärme wird in Wärmeaustauscher zurückgewonnen. Ein Teil der Wärme wird benötigt, um die Fermenter zu beheizen, da die Mikroorganismen, welche die Biomasse abbauen, am besten bei Temperaturen 37-43 °C (mesophil) oder 50-60 °C (thermophil) wachsen. Überschüssige Wärme des Motors kann beispielsweise zur Beheizung von Gebäuden, zum Trocknen der Ernte (Getreide) oder den Betrieb von Aquakulturanlagen verwendet werden. Besonders wirtschaftlich und energieeffizient arbeitet die Anlage, wenn die überschüssige Wärme ganzjährig genutzt oder verkauft werden kann.

Biomethan

Hauptartikel: Biomethan

In mehreren Projekten wird das Biogas inzwischen in Aufbereitungsanlagen auf Erdgasqualität gereinigt und als Biomethan (Bioerdgas) in das Erdgasnetz eingespeist. Damit kann die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen an Standorten ohne Wärmeabnehmer verbessert werden. Das Bioerdgas kann beispielsweise in BHKWs verstromt werden, die direkt bei kontinuierlichen Wärmeabnehmern, wie z. B. Schwimmhallen, errichtet werden. Dadurch ist die Abwärme fast vollständig absetzbar. Aufbereitetes Biogas kann ebenso als Treibstoff für erdgasbetriebene Fahrzeuge eingesetzt werden. Die Anlagentechnik zur Aufbereitung von Biogas zu Biomethan und Einspeisung in das Erdgasnetz ist derzeit allerdings noch recht kostenintenviv und ist daher nur für „große Anlagen“ (ab 1,5 MWel) wirtschaftlich rentabel.

Gärrest

Hauptartikel: Gärrest

Die Gärrückstände aus Biogasanlagen werden weitestgehend als landwirtschaftliche Düngemittel verwendet. Sie sind chemisch weit weniger aggressiv gegenüber den Pflanzen als Rohgülle, die Stickstoffverfügbarkeit ist höher und der Geruch weniger intensiv. Der Gärrest der Nassfermentation ("Biogasgülle") ist eine gülleähnliche Substanz. Bei der Trockenfermentation entsteht kein Kompost, sondern stabelbarer Gärrest der ebenfalls als Dünger eingesetzt werden kann und ungefähr die Hälfte der Ausgangsmenge ausmacht.

Entwicklung in Deutschland

Der Anbau Nachwachsender Rohstoffe zur Biogasnutzung in Deutschland ist von 400.000 ha im Jahr 2007 auf 530.000 ha im Jahr 2009 gestiegen.[2]

Auch die Zahl der Anlagen sowie der installierten elektrischen Leistung ist in den vergangenen Jahren stark gestiegen. Ein vergleichsweise hoher Anstieg lässt sich mit der seit 2004 gültigen ersten Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ausmachen. Betrug die Zahl der Anlagen im Jahr 2004 vor der Novelle noch 2010, so waren es 2005 schon 2690 Anlagen in Deutschland. Im Jahr 2007 ist diese Zahl auf 3711 weiter gestiegen. Diese Entwicklung lässt sich durch die Erhöhung der Vergütung der durch Biogasanlagen erzeugten kWh erklären. Die elektrische Leistung stieg von 247 MW im Jahr 2004 über 665 MW 2005 bis auf 1270 MW 2007. Da die Leistung neu installierter Anlagen zunimmt, steigt die Gesamtleistung schneller als die Anzahl der Anlagen. Weil viele Biogasanlagen einen großen Anteil der Abwärme ungenutzt an die Umwelt abgeben, besteht hier noch weiteres Potential, z.B. durch den Aufbau von Nahwärmenetzen oder die Aufbereitung zu Biomethan.[3]

Mit der seit 2009 gültigen 2. Novelle des EEG wurde ein Güllebonus eingeführt, der kleinere Anlagen mit hohem Gülleanteil fördern soll. In Deutschland werden schätzungsweise lediglich 15% der verfügbaren Gülle aus der Tierhaltung energetisch genutzt. Mit der Nutzung dieses Potenzials könnte die Biogastechnologie seinen Beitrag zum Klimaschutz weiter ausbauen.

Vergütung in Deutschland

In Deutschland wird das Einspeisen von regenerativ erzeugtem Strom in das Stromnetz durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) geregelt. Die Betreiber der Übertragungsnetze müssen den erzeugten Strom zu definierten Preisen abnehmen, können diese Kosten aber an den Endkunden weiterreichen. Zwischen den Übertragungsnetzbetreibern findet ein Ausgleich der Mehrkosten für die Pflichtabnahme des Stroms statt, so dass die Mehrbelastung des Endkunden bundesweit gleich ist. Die Vergütungshöhe gemäß EEG-Novelle 2009 ist in der unten stehenden Tabelle vereinfacht aufgeführt.[4] Wenn das Biogas nur thermisch verwertet wird, erhält der Biogasanlagenbetreiber keine EEG-Vergütung. Für Deponie- und Klärgas sind im EEG eigene Mindestvergütungssätze und Boni festgelegt.

€-ct/kWh$_{el}$	Grundvergütung (2009)	NaWaRo-Bonus	KWK-Bonus	Technologiebonus	Güllebonus	Formaldehydbonus
bis 150 kW$_{el}$	11,67	7	3	bis 2	4	1
bis 500 kW$_{el}$	9,18	7	3	bis 2	1	1
bis 5 MW$_{el}$	8,25	4	3	bis 2	0	0
bis 20 MW$_{el}$	7,79	0	3	0	0	0

Die Vergütungshöhe ist, ab dem Jahr der Inbetriebnahme, für 20 Jahre garantiert. Ein Inflationsausgleich findet nicht statt. Für Neuanlagen gilt eine Degression der Vergütung von 1 % pro Jahr. Für eine Anlage, die 2009 in Betrieb genommen wurde, gelten also für 20 Jahre die Vergütungssätze nach EEG 2009. Eine Anlage, die 2010 in Betrieb genommen wird, bekommt für 20 Jahre 99 % dieser Sätze usw.

Der Nawaro-Bonus wird gewährt, wenn in der Biogasanlage nur Pflanzen oder pflanzliche Bestandteile verwendet werden, die in der Landwirtschaft, Forstwirtschaft, im Gartenbau oder in der Landschaftspflege anfallen und keinen anderen Zweck als die Verwertung in der Biogasanlage haben. Darüber hinaus darf auch Gülle in einer Nawaro-Anlage verwendet werden. Bei mindestens 30 % Gülleanteil am Substrat (jederzeit) wird zudem ein Gülle-Bonus gewährt, der bei Anlagen bis 150 kW$_{el}$ 4 Cent, bei Anlagen bis 500 kW$_{el}$ 1 Cent/ kWh$_{el}$ beträgt.

Die Höhe des KWK-Bonus ist, je nach Anlagenkonzept, variabel. Er hängt zum einen von der Stromkennzahl (SKZ) ab, die sich durch Division des elektrischen durch den thermischen Wirkungsgrad des Blockheizkraftwerkes berechnet. Durch Multiplikation von SKZ und der Menge (kWh$_{th}$) der tatsächlich und sinnvoll genutzten BHKW-Abwärme ergibt sich die Strommenge (kWh$_{el}$), für die der Bonus tatsächlich gewährt wird. Ein hoher elektrischer Wirkungsgrad und eine große Menge tatsächlich genutzter Wärme sorgen also für einen hohen Bonus. Förderwürdige Wärmenutzungskonzepte sind durch das EEG 2009 definiert.

Der Technologiebonus wird bei Verwendung von neuartigen Technologien in der Biogasanlage gewährt, sofern eine Wärmenutzung stattfindet oder bestimmte elektrische Wirkungsgrade erreicht werden. Diese können z. B. die Verwendung eines Stirlingmotors, einer ORC-Turbine, eines Kalina-Prozesses, einer Brennstoffzelle oder einer Gasturbine sein. Zudem gilt der Bonus bei Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität zur Einspeisung in das Gasnetz, sowie bei bestimmten Verfahren zur Vergärung von Bioabfällen.

Bei Anlagen bis 500 kWel wird ein Emissionsminderungs-Bonus (Erhöhung der Grundvergütung um 1,0 c/kWh für Anlagen nach BImSchG bei Einhaltung der entsprechenden Formaldehydgrenzwerte nach Emissionsminimierungsgebot der TA Luft) von 1 Cent/ kWh gewährt, wenn bestimmte Grenzwerte eingehalten werden.

Wesentliche Neuerungen gegenüber dem EEG 2004 sind die Abschaffung des Technologiebonus für Trockenfermentation, die Erhöhung der Grundvergütung von Kleinanlagen und des Nawaro-Bonus, die Einführung eines Gülle- Landschaftspflegematerial-und Emissionsminderungs-Bonus und die strukturierte Förderung der Gaseinspeisung unterschiedlicher Kapazitäten sowie zahlreiche Detailregelungen.

Sicherheit

Da in Biogasanlagen große Mengen brennbarer Gase erzeugt und verarbeitet werden, ist die Betriebssicherheit von großer Bedeutung. Bei falscher Bedienung der Biogasanlage, bei Konstruktionsfehlern und Materialschäden besteht die Möglichkeit einer Verpuffung bzw. Explosion, wie u.a. bei drei Unfällen in Biogasanlagen im Jahr 2007 deutlich wurde (in Riedlingen, Walzbachtal und Deiderode)[5] . Folgenschwer können damit verbundene Umweltschäden sein, vor allem durch Eintrag von Gärsubstraten oder Gärrest in Gewässer, wie es bei Biogasunfällen in Barßel und in Bassum der Fall war[6] . In Einzelfällen können auch Schadgase in erheblichem Umfang emittiert werden, z.B. Schwefelwasserstoff bei einem Unfall bei Zeven im Jahr 2005, bei dem vier Menschen starben[7] .

Vor- und Nachteile

Biogasanlagen sind neben Wasserkraftwerken, Solaranlagen, Biomasseheiz(-kraft-)werken und Windkraftanlagen wichtige Erzeuger von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien. Je nach Substrattyp und Anlagenbauweise haben Biogasanlagen Vor- und Nachteile:

Vorteile

- Regenerative Energiequelle (nachwachsende, örtlich verfügbaren Rohstoffen) bzw. Einsparung fossiler Energieträger
- Verwendung bisher ungenutzter Pflanzen und Pflanzenteile (Zwischenfrüchte, Pflanzenreste, etc.)
- Hohe Energieausbeute pro Anbaufläche im Vergleich mit anderen Bioenergien (Biodiesel, BtL)
- CO_2-Ausstoß ist fast neutral, allerdings muss man den Anbau- und Erntevorgang, Düngung, etc. mit berücksichtigen
- Dezentrale Stromerzeugung kann Transportstrecke zum Endverbraucher verringern
- Durch kontinuierliche Stromerzeugung grundlastfähig, könnte alternativ aber auch Regelenergie bereitstellen, somit gute Ergänzung zu Strom aus Windkraft- und Solaranlagen
- Verbesserte Düngerqualität des Gärrests im Vergleich zu Rohgülle:
  - verringerte Geruchsintensität und Ätzwirkung bei der Ausbringung
  - bessere Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe
- Vergärung von Gülle verhindert die sonst bei der Lagerung entstehenden Methan- und Geruchsemissionen (Minimierung THG-Emissionen)
- Biogas kann zur Produktion von Strom, Wärme und kann als gereinigtes Methan als Treibstoff für umgerüstete Kraftfahrzeuge verwendet werden.
- Entgegen anderer erneuerbaren Energien wie Wind und Sonne ist Biogas ein wetterunabhängiger, speicherbarer Energieträger (Spiteznlastabdeckung)
- Aufbereitetes Biogas kann als Biomethan in das Erdgasnetz eingespeist und als Erdgasersatz verwendet werden (Minimierung THG-Emissionen)
- Wertschöpfungserhöhung / Einkommensalternative für den landwirtschaftlichen Raum
- Einsparung von Kunstdünger durch ackerbauliche Gärrestnutzung
- Nutzung von Bioanfällen, Reststoffen und Nebenprodukte möglich

Nachteile

- Negative Umwelteinflüsse durch intensive Landwirtschaft (Monokulturen, Boden- und Grundwasserbelastung, Artenrückgang).
- Regionale Flächenkonkurrenzen zwischen Anbauflächen für Nahrungsmittel-, Futtermittel und Energiepflanzenerzeugung möglich.
- In der Biogasanlage entstehende Gase können bei unsachgemäßem Umgang zur Explosion, Erstickung oder Vergiftung führen. Proteinreiche Substrate können zu relativ hohen Anteilen des hochgiftigen Schwefelwasserstoff im Biogas führen. Entsprechende Sicherheitsvorschriften sind einzuhalten.
- Methan hat pro Masse einen 25-fach höheren Treibhauseffekt als Kohlendioxid. Daher sind Emissionen an Biogasanlagen durch ein ordnungsgemäßen Betreib zu vermeiden.[8]



Biogasanlage mit 240 Kilowatt Leistung auf einem Bauernhof in Niederbrechen, Hessen, Baujahr 2004

Weitere Eigenschaften

- Für die Ausbringung des Gärrests müssen genügend Flächen zur Verfügung stehen. Jedoch sind die Flächen für den Substratanbau hierfür meist ausreichend.
- In den Wintermonaten darf keine Gülle und kein Gärrest ausgebracht werden. Während dieser Zeit muss der Gärrest – ebenso wie unvergorene Gülle aus der Tierhaltung – gelagert werden. Entsprechende Lagerkapazitäten sind nachzuweisen und werden daher in der Regel bereits beim Bau einer Biogasanlage eingerichtet.
- Es muss verhindert werden, dass Gülle von Tieren, die mit Antibiotika behandelt worden sind, in zu hoher Konzentration in den Faulbehälter gelangt.

Literatur

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): *Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung*, 4. Aufl. 2009. ISBN 3-00-014333-5 (pdf [9])

  Umfassendes, aktuelles 233-Seiten Literaturwerk zum Thema Biogas und (landwirtschaftliche) Biogasanlagen. Die Handreichung kann kostenlos von der FNR bezogen werden.

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): *Biogas-Messprogramm II - 61 Biogasanlagen im Vergleich,* 1. Aufl. 2010, ISBN 978-3-9803927-8-5

([10])

  Umfassendes, aktuelles 168-Seiten Literaturwerk zum Vergleich von 61 Biomasse-Biogasanlagen, die ausschließlich Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger einsetzen. Es kann kostenlos von der FNR bezogen werden.

- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV): *Biogas Handbuch Bayern*. München, 15. November 2004.

  Die kostenlose Broschüre (50 Seiten) enthält Grundlagen und Techniken zur Biogasgewinnung sowie Informationen zu Genehmigungsverfahren. Kurzfassung [11] Langfassung [14]

- B. Eder, H. Schulz: *Biogas Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagebau, Beispiele und Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen* ökobuch Verlag Staufen 2006, 3. Auflage, ISBN 978-3-936896-13-8
- M. Madigan, J. Martinko, J. Parker: *Brock - Mikrobiologie*, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, deutsche Übersetzung, Berlin 2001, ISBN 978-3-8274-0566-1
- Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften (Hrsg.): *Sicherheitsregeln für Biogasanlagen,* unter http://www.lsv.de/fob/66dokumente/info0095.pdf
- aid-Infodienst: *Broschüre Biogasanlagen in der Landwirtschaft,* 5. Aufl. 2009, ISBN 978-3-8308-0856-5
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL): *Faustzahlen Biogas,* 2. Aufl. 2009, ISBN 978-3-941583-28-3

Siehe auch

- Bioenergie
- Nachwachsender Rohstoff

Weblinks

- Schaubild einer Biogasanlage [12]
- www.fnr.de [13] – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), kostenloses Material/Literatur zu Biogas
- Fachverband Biogas e.V. [14]
- www.bioenergiedorf.info [21] – Anwendungsbeispiel einer Biogasanlage: Im Bioenergiedorf wird mit einer Biogasanlage ein ganzes Dorf mit Strom und Wärme versorgt.
- Biomasse-Verein Freiberg/Sachsen *Landwirtschaftliche Biogasanlagen – Anlagenbeispiele und ausgewählte Leistungskennzahlen* [15]
- www.biogas-netzeinspeisung.at [16] – Biogas-Netzeinspeisung: technische, rechtliche und wirtschaftliche Informationen
- www.aid.de [17] – aid infodienst e. V., Informationen zu Biogas

Referenzen

[1] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): *Biogas Basisdaten Deutschland Stand: Januar 2008.*

[2] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: *[day* (http://www.nachwachsenderohstoffe.de/presseservice/grafiken/medien-details/archive/2009/october/article/deutschland-setzt-weiter-auf-nachwachsende-rohstoffe.html?tx_ttnews)*=20&cHash=549 Deutschland setzt weiter auf nachwachsende Rohstoffe].*

[3] Fachverband Biogas: *Monitoring zur Wirkung des EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse (BMU, 2007)* Fachverband Biogas (2007)

[4] - Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2009), verfügbar bei juris.de (http://bundesrecht.juris.de/eeg_2009/BJNR207410008.html)

[5] Spiegel online: Biogasanlage explodiert (http://www.spiegel.de/panorama/0,1518,523620,00.html), 16. Dezember 2007;Schwäbische Zeitung: Havarie in der Biogasanlage: Gutachten macht Betreibern Hoffnung (http://www.szon.de/lokales/riedlingen/riedlingen/200808260116.html), 26. August 2008

[6] NWZ online: Schweißfunken entfachen Feuer 23. September 2008 (http://www.nwzonline.de/index_regionalausgaben_artikel.php?id=1789649)

[7] NWZ online: Biogas erhitzt die Gemüter, 24. September 2008 (http://www.nwzonline.de/index_regionalausgaben_artikel.php?id=1789187)

[8] *Klimabilanz von Biogasstrom* (http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_27453.pdf), Information der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), August 2007, 12 Seiten, als pdf

Biogasaufbereitung

	Schwankungsbreite	Durchschnitt
Methan	45–70 %	60 %
Kohlendioxid	25–55 %	35 %
Wasserdampf	0–10 %	3,1 %
Stickstoff	0,01–5 %	1 %
Sauerstoff	0,01–2 %	0,3 %
Wasserstoff	0–1 %	< 1 %
Ammoniak	0,01–2,5 mg/m³	0,7 mg/m³
Schwefelwasserstoff	10–30.000 mg/m³	500 mg/m³

|+ Zusammensetzung von Biogas[1] Unter **Biogasaufbereitung** werden Verfahren verstanden, mit denen Biogas so gereinigt wird, dass es anschließend einer energetischen oder stofflichen Nutzung zugeführt werden kann. Das Rohbiogas wird in Biogasanlagen erzeugt und enthält ein Gemisch verschiedener Gase. Auch Klärgas und Deponiegas müssen vor der Verwertung aufbereitet werden.

Ziele und Varianten

→ *Hauptartikel: Biomethan*



Biogas- und Erdgasleitungen.

Unterschieden werden kann zwischen der Grundaufbereitung des Rohbiogases, die zum Beispiel für Verwertung in einem Biogas-Blockheizkraftwerk notwendig ist, und der aufwendigeren Aufbereitung auf Erdgasqualität (Biomethan oder Bioerdgas). Die obenstehende Tabelle zeigt die Zusammensetzung von Rohbiogas nach der Grundaufbereitung und Biomethan. Die Anteile des Roh-Biogases können, je nach Substrat, Anlagenkonzept und anderen Faktoren, stark schwanken. Die Beschaffenheit des Biomethans wird den entsprechen Erdgasqualitäten angepasst.

Biogas wird meist direkt an der Biogasanlage in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) verwertet. Dazu ist im Zuge der Grundaufbereitung die Entschwefelung und Trocknung notwendig, um Korrosion im BHKW zu vermeiden. Um Biogas in das Erdgasnetz einzuspeisen oder als Kraftfahrzeugtreibstoff zu verwenden ist eine umfassendere Aufbereitung notwendig. Auch in diesem Fall findet eine Trocknung und Entschwefelung statt. Zusätzlich erfolgen die Abtrennung von Kohlendioxid sowie die Konditionierung des aufbereiteten Biogases zu Biomethan, das dann vergleichbare Erdgas-Eigenschaften aufweist. Die Biogasaufbereitung auf Erdgasqualität hat den Vorteil, dass das Biomethan über das Erdgasnetz geleitet z.B. dort in BHKW verstromt werden kann, wo auch die anfallende Wärme benötigt wird. So kann die Verstromung beispielsweise durch ein BHKW an einem Schwimmbad, das ganzjährig einen hohen Wärmebedarf hat, stattfinden. Außerdem besteht für private Gaskunden die Möglichkeit, Gaslieferverträge zu wählen die einen bestimmten Anteil Biomethan enthalten.

Verfahrensschritte

Die vollständige Aufbereitung von Rohbiogas zu Biomethan umfasst meist vier Verfahrensschritte: Die Biogasentschwefelung, die Gastrocknung, die Trennung von Methan und Kohlendioxid und vor einer Einspeisung in das Erdgasnetz die Konditionierung. Diese Schritte bauen häufig aufeinander auf, können aber teilweise auch kombiniert werden.

Entschwefelung

Bei geringen Schwefelwasserstoff-Belastungen (H_2S) des Rohgases, wie sie insbesondere bei Vergärung von Energiepflanzen zu erwarten sind, genügt in der Regel eine Sulfidfällung zur groben Entfernung des H_2S. Bei Biogas aus proteinreichen Substraten oder bei Klärgas können deutlich höhere H_2S-Konzentrationen auftreten. In solchen Fällen oder auch bei hohen Gasvolumenströmen werden Biogaswäscher eingesetzt. Teilweise wird die Entschwefelung auch parallel zur Trennung der im Rohbiogas enthaltenen Gase durchgeführt. Anschließend findet häufig eine Feinentschwefelung statt, wobei das Gas durch mehrere in Serie geschaltete Aktivkohlefilter geleitet wird.

Zu den praxisüblichen Methoden der Entschwefelung von Biogas zählen:

- Reinigung nach der Gasproduktion durch Entschwefelungsfilter: Hier wird das Gas durch eisenhaltiges Filtermaterial (Raseneisenstein, Stahlwolle) geleitet. Das Filtermaterial muss bei Sättigung ausgetauscht oder durch Erhitzen regeneriert werden.
- Reinigung durch Zugabe von Luftsauerstoff (biologische Entschwefelung, Gasraumentschwefelung): Das H_2S wird von Bakterien, die auf Oberflächen im Gasraum wachsen, mit dem in den Gärraum zugegebenen Sauerstoff zu elementarem Schwefel und Wasser umgesetzt. Der Schwefel lagert sich ab und kann in der Anlage akkumulieren. Dieses Verfahren wird in der Praxis häufig eingesetzt und reicht meist aus, um für BHKWs empfohlene Maximalkonzentrationen an H_2S nicht zu überschreiten. Bei anschließender Aufbereitung zu Biomethan können jedoch Stickstoffanteile und Sauerstoffreste der zugegebenen Luft problematisch sein. Ein Vorteil der Methode ist, dass der Schwefel sich überwiegend im Gärrest findet und somit dessen Düngewert erhöht. Statt in den Gasraum kann Luft oder eines anderen Oxidationsmittel auch direkt in die Reaktorflüssigkeit gegeben werden (Linde-Patent).
- Laugenwäsche: Das Biogas wird in einer Füllkörper-Kolonne im Gegenstrom mit Lauge gewaschen. Die Lauge muss anschließend entsorgt werden. Diese Methode verringert neben dem Schwefelgehalt auch die CO_2-Konzentration im Biogas. Bei Laugenwäsche mit biologischer Entschwefelung (Paques-Patent) wird die Lauge in einem zweiten, aeroben Reaktor zur Hälfte regeneriert. Neben einem im Vergleich zur normalen Laugenwäsche reduziertem, schwefelfreiem Abwasserstrom entsteht ein Elementarschwefelschlamm.
- Zugabe von Eisen-Ionen: Bei hohen Proteinanteilen im Ausgangssubtrat können die H_2S-Konzentrationen 20.000 ppm übersteigen. Das übersteigt die Kapazität verfügbarer Filtertypen. Die Zugabe von Eisen-Ionen hilft, die Bildung von Schwefelwasserstoff im Faulbehälter zu verhindern. Eisen besitzt eine hohe Affinität zu Schwefel und verbindet sich mit diesem zu unlöslichem Eisensulfid (FeS). Das Eisensulfid verbleibt als Feststoff im Gärrest.
- Irreversible Adsorption an Aktivkohle: Die Aktivkohle als Filtermedium wird teilweise iodiert, um ihre Beladungsfähigkeit zu erhöhen. Dieses Verfahren eignet sich nur bei sehr geringen H_2S-Konzentrationen, z.B. als Endreinigung.
- Rückführung von teilweise entschwefeltem Biogas in die Reaktorflüssigkeit: Dieses Verfahren verbessert das Austreiben des noch in der Flüssigkeit gelösten H_2S. Da Schwefelwasserstoff toxisch ist und bei zu hohen Konzentrationen die biologischen Prozesse im Fermenter einer Biogasanlage hemmt, dient dieses Verfahren auch der Prozessstabilität.

Trocknung

Bei der Trocknung wird dem Rohgas Wasserdampf entzogen. Es muss aus dem Biogas vor dessen Verwertung entfernt werden, damit Erdgasqualitäten eingehalten werden. Auch vor der Verwendung in Biogas-Blockheizkraftwerken wird das Brenngas getrocknet. So kann die Bildung von Wassertaschen durch Kondensation (Niederschlag) und die Korrosion an Verbrennungsmotoren und Leitungseinrichtungen vermieden werden.

Biogas wird durch die Kühlung des Gases im Erdreich oder durch Kompressorkälte entfeuchtet. Die Unterschreitung der Taupunkttemperatur des Wasserdampfes lässt das Wasser kondensieren. Das Kondensat wird an Tiefpunkten der meist erdverlegten Biogasleitung gesammelt und abgeleitet (Kondensatabscheider). Bei einer Kühlung durch Kältemaschinen fällt das Wasser (Kondensat) an den Kälteregistern an und kann dort gesammelt und abgeleitet werden. Da Ammoniak gut wasserlöslich ist, kann es bei der Trocknung aus dem Gas entfernt und mit dem Kondensat abgeführt werden.

Trennung der Gase

Zur Trennung von Kohlendioxid und Methan bieten sich folgende Verfahren an: Druckwasserwäsche, kryogene Verfahren, Membrantrennverfahren, aber auch Druckwechseladsorption und weitere Verfahren zur Abtrennung von Kohlendioxid durch Absorption (wie die Aminwäschen).

Die Waschlösung bindet unter Druck und bei geringer Temperatur Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff und Wasserdampf aus dem Biogas. Durch Entspannung und Erwärmung der Waschlösung werden die Gase wieder desorbiert. Zudem ist auch eine biologische Trennung von Schwefel durch Biowäscher oder Biotropfkörper möglich. Beispielsweise führen Aminwäschen zu einer sehr hohen Produktgasqualität, erfordern aber den Einsatz von Prozesswärme auf hohem Temperaturniveau. Bei den meisten Verfahren muss das Rohgas bereits grob von Schwebstoffen, Wassertropfen und Schwefelwasserstoff befreit sein.

Die Druckgaswäsche trennt das Methan vom Kohlendioxid und konzentriert das Methan nach Bedarf auf 95-99 Vol% auf. Danach wird es durch Abkühlung auf den Taupunkt bei dem jeweiligen Anwendungsdruck getrocknet.

Ein weiteres marktübliches Verfahren zur Kohlendioxid-Abtrennung mit integrierter Entschwefelung und Entfeuchtung ist das Verfahren BiogasVerstärker. Dieses organisch-physikalische Verfahren arbeitet mit einer organischen Waschlösung, die im Prozess regeneriert wird. Es fällt somit kein Prozesswasser zur Entsorgung an. Die Waschlösung bindet unter Druck und bei geringer Temperatur Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff und Wasserdampf aus dem Biogas. Durch Entspannung und Erwärmung der Waschlösung werden die Gase wieder desorbiert.

Konditionierung

Bei der Konditionierung wird das aufbereitete Biogas vor der Einleitung in das Gasnetz auf die Qualitätsparameter für Erdgas in Bezug auf Trockenheit, Druck und Brennwert Wobbeindex eingestellt. Die Qualität und Beschaffenheit des einzuspeisenden Methans hat die Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) geregelt[2] . Da es in Deutschland Gasnetze für Erdgas verschiedener Qualitäten gibt (H-Gas und L-Gas), können die Qualitätsansprüche an das Biomethan unterschiedlich sein. Zur Konditionierung zählt auch die Odorierung.

Verbreitung und Ökonomie

Wegen der erforderlichen Investitionen gilt die Biogasaufbereitung derzeit ab einer Kapazität von etwa 250 bis 500 m^3 Biomethan pro Stunde als wirtschaftlich sinnvoll. Dies entspräche einer Anlagenkapazität von etwa 1 bis 2 Megawatt elektrischer Leistung (MW_{el}) bei direkter Biogasverstromung im BHKW. Insbesondere Biogasanlagen, welche die Abwärme aus der Biogasverstromung nicht vor Ort absetzen können, eigenen sich für eine Gasaufbereitung und -einspeisung. Auch für Strom aus Biomethan wird die Grundvergütung nach dem

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gezahlt. Zudem gewährt das Gesetz einen Technologiebonus für die Gaseinspeisung und einen Kraft-Wärme-Kopplung-Bonus (KWK-Bonus).[3] Gemeinsam mit den Erträgen durch den vollständigeren Wärmeverkauf wird so die aufwendige Gasaufbereitung wirtschaftlich. In Deutschland sind derzeit (April 2010) etwa 33 Anlagen zur Biomethanerzeugung mit Kapazitäten zwischen 148 m^3 und 5000 m^3 pro Stunde in Betrieb. Zum Jahresende wird erwartet, dass rund 50 Anlagen insgesamt schätzungsweise 50.000 m^3 Biomethan stündlich in das Netz einspeisen.

Erklärtes Ziel der Bundesregierung ist es, dass in Deutschland bis zum Jahr 2020 etwa 6 Milliarden m^3 Biomethan pro Jahr erzeugt werden. Dies entspricht der Kapazität von rund 1200 bis 1800 Biomethananlagen.[4]

Als erste Kläranlage der Schweiz speist seit Januar 2005 die ARA Region Luzern ihr nach Erdgasparametern aufbereitetes Klärgas als Biokraftstoff in das Erdgasnetz ein. In der Schweiz werden weitere große Anlagen zur Biogasaufbereitungsanlagen in der Region Bern gebaut. Auch in Schweden wird die Aufbereitung und Einspeisung schon durchgeführt.

Literatur

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.), 2007: Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz. Studie, 3. Auflage, 199 Seiten. (pdf [5])
- Institut für Solare Energieversorgungstechnik Verein an der Universität Kassel e. V. (Hrsg.), 2008: Biogasaufbereitung zu Biomethan. 6. Hanauer Dialog, Tagungsband. (pdf [6])
- Fraunhofer UMSICHT Markterhebung zur Biogasaufbereitung und -einspeisung [7] (pdf; 1,96 MB)
- P. Hunziker et al (2005): Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz. Vorreiterrolle der ARA Region Luzern. GWA 4/2005:1-8.
- M. Faulstich et al. (2006): Energetische Nutzung von Biomasse: Potenziale – Entwicklungen – Chancen. Abfalltage Baden-Württemberg, Stuttgart, 26. und 27. September 2006
- A. Lühring/U. Walter (2007) Zentrale Biogas-Verstromung nach Durchleitung durch ein separates Gasnetz [8] (PDF-Datei; 1,23 MB)
- dena - Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrg.), (Berlin 6/2009): Biogaspartner - gemeinsam einspeisen. Biogaseinspeisung in Deutschland - Markt, Technik, Akteure

Weblinks

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) [9], kostenloses Material/Literatur zu Biogas
- Informationen und Studien der Fraunhofer UMSICHT [10]
- Biogas-Netzeinspeisung [11]: technische, rechtliche und wirtschaftliche Informationen
- Informationsplattform der dena [12]
- Agentur für Erneuerbare Energie [3]
- Fachverband Biogas e.V. [13]
- Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches [14]

Referenzen

[1] DVGW

[2] DVGW, 2008: DVGW-Arbeitsblatt G 260: Gasbeschaffenheit

[3] Volltext des EEG 2009 bei juris (http://bundesrecht.juris.de/eeg_2009/index.html)

[4] "Biogasnutzung im ländlichen Raum - Der Beitrag verschiedener Anlagenkonzepte zur regionalen Wertschöpfung und ihre Umweltleistung, Studie des Instituts für Internationale und Europäische Umweltpolitik", 42-seitig (pdf (http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/fileadmin/Elementbibliothek/Bibliothek_Politik_und_Verwaltung/Bibliothek_LLFG/dokumente/KoNaRo/Literatur/BMVBS_Biogasstudie_Ecologic_081117.pdf)).

Biogasmotor

Ein **Biogasmotor** ist ein Motor, der dauerhaft mit Biogas als Treibstoff betrieben werden kann. Er wird in der Regel als Teil eines Blockheizkraftwerks eingesetzt, um mit Bioenergie Strom und Wärme zu erzeugen. Motoren, die mit Biomethan (gereinigtem Biogas) betrieben werden, fallen nicht unter diese Bezeichnung, da diese technisch den Erdgasmotoren gleich sind.

Motortypen

Als Biogasmotoren kommen vor allem nach dem Prinzip eines Dieselmotors arbeitende Zündstrahlmotoren als auch umgerüstete Gas-Ottomotoren (Benzinmotoren) zum Einsatz.

Die zentrale Herausforderung für Biogasmotoren ist, dass der brennbare Anteil im Biogas, das Methan bei nur 50-75% liegt, dessen Gehalt teilweise deutlich schwankt und zudem erhebliche Mengen an potenziell motorschädigenden Inhaltsstoffen vorliegen können (Wasser, Schwefelwasserstoff). Während Gas-Otto-Motoren Biogas ab einer Methankonzentration von 45% direkt verbrennen können, benötigen Zündstrahlmotoren hierfür erhebliche Mengen an Zündöl. In Deutschland dürfen Biogasmotoren maximal 10% Zündöl einsetzen. Bei seit 2007 in Betrieb gegangenen Anlagen muss auch das Zündöl aus Nachwachsenden Rohstoffen hergestellt sein, damit der erzeugte Strom nach dem Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) vergütet wird.

Neben diesen am weitesten verbreiteten Technologien eignen sich weitere Motortypen zur Erzeugung von Kraft und Wärme aus Biogas. Die Mikrogasturbine, bei der Strom über einen schnell laufenden Generator erzeugt wird, der direkt mit einer Turbine gekoppelt ist, benötigt weniger Wartung als die klassischen Verbrennungsmotoren und erzeugt ein höheres Temperaturniveau der Abwärme, erreicht jedoch vergleichsweise geringe elektrische Wirkungsgrade bei hohem Investititonsaufwand[1] [2] . In der Praxis bisher nicht verbreitet ist der Kurbelschlaufenmotor, eine Variation des Zweitaktmotors nach dem Prinzip des Scotch-Yoke-Kurbeltriebs.

Einsatzbereiche

in der Regel werden Biogasmotoren im Rahmen der kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung in Blockheizkraftwerken in direkter Nähe zu Biogasanlagen betrieben. Der erzeugte Strom wird im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) direkt in das öffentliche Netz eingespeist. Ein Teil der Wärme wird als Prozesswärme für den Betrieb der Biogasanlage benötigt, der Großteil steht jedoch als nutzbare Wärmeenergie zur Erzeugung von Warmwasser, Heizungswärme, Prozesswärme oder zur Klimatisierung zur Verfügung. Befinden sich die Wärmeabnehmer nicht in unmittelbarer Nähe der Biogasanlage, werden Biogasmotoren auch bis zu mehrere Kilometer entfernt von der Biogasanlage betrieben. In diesem Fall wird das Gas mit einer Biogasleitung (Mikrogasnetz) zum Biogasmotor transportiert.

Wird Biogas in Motoren zum Antrieb von Kraftfahrzeugen genutzt, so handelt es sich dabei um aufbereitetes Biogas (Biomethan). Dieses erfüllt die Qualitätsanforderungen für Erdgas, so dass es in herkömmlichen Erdgasmotoren eingesetzt werden kann.

Literatur

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (NR), 2008: *Biogas - Eine Einführung*. 5., überarbeitete Auflage. (6. Auflage 2009, Online [3])

Referenzen

[1] BHKW-Anlage.de - Mikrogasturine. (http://www.bhkw-anlage.de/mikrogasturbine.htm) Abgerufen am 17. Juni 2009

[2] Greenvironment - Mikrogasturbine (http://www.greenvironment.de/biogas/produkte/mikrogasturbine.html)

Biogen

Das Adjektiv **biogen** (Bildung zu griech. griechisch βίος, *bios*, „Leben“ und *-genese* aus griechisch γένεσις *genesis* „Geburt“, „Entstehung“), synonym auch **organogen** (zu *Organismus* und *-genese*) bedeutet ‚biologischen oder organischen Ursprungs‘, ‚durch Leben‘ bzw. ‚Lebewesen entstanden‘.

In der Chemie bedeutet biogen, nicht durch *chemische Syntheseverfahren* gewonnen zu sein. Unter Gesichtspunkt der Biologie, Medizin und anderen und anderen Lebenwissenschaft bezeichnet man damit ein *Stoffwechselprodukt* – Stoffwechsel ist ein Kennzeichnende Eigenschaft von Leben. In der Geologie und anderen Geowissenschaften bezeichnet es die Vorgänge und Vorkommen, die nur durch die Existenz von Leben möglich sind.

Typische Begriffe in speziellerem Kontext sind:

- *Biogene Rohstoffe* und *Biogene Brennstoffe* werden den – eigentlich ebenfalls biogenen – fossilen Rohstoffen und Energieträgern auf petrochemischer Grundlage (Mineralölprodukte) als nachwachsende, umweltschonende Alternative gegenübergestellt. Im Unterschied zu dem häufig auf pflanzliche Stoffe eingeschränkten Begriff Nachwachsende Rohstoffe wird mit *biogene Rohstoffe* Material pflanzlicher ebenso wie tierischer Herkunft bezeichnet[1] .
- In Bodenkunde bezeichnet man als ‚biogen‘ oder ‚organogen‘ die *organische Bodensubstanz* des Bodens (SOM).
- In der Geologie spricht man speziell von *organogen* in Bezug auf die mineralischen Relikte des Lebens: Organische und anorganische Anteile der Überreste zu Gestein verfestigen sich zu *organogenem Ablagerungsgestein* – damit grenzt man gegen *biogen* in dem Sinne ab, was zwar unter Einfluss des Lebens entstanden ist, aber keine Spuren von Organismen trägt (etwa Tropfsteine, die durch vorherige Säurelösung von Kalken in Wasser unter Einfluss von Mikroorganismen im Oberflächenwasser im Einzugsbereich der Höhle entstanden sind, oder Erdöl)
- In der Wasserwirtschaft kennt man die *biogene Belüftung* durch die Produktion von Sauerstoff während der Assimilation in grünen Wasserpflanzen.
- *Biogene Abfälle* werden in der Abfallwirtschaft definiert als Abfälle tierischer oder pflanzlicher Herkunft zur Verwertung, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können.[2]
- In der Pharmazie gibt es zahlreiche *biogene Arzneistoffe*. Seit Jahrtausenden dienen Pflanzen als Arzneimittel und noch heute enthält etwa die Hälfte aller Arzneimittel Arzneistoffe pflanzlichen Ursprung. Zu diesen pflanzlichen biogenen Arzneistoffen zählen nicht nur Phytopharmaka wie Kamillentee oder Echinacea-Tropfen, sondern auch hoch wirksame Arzneistoffe wie Morphin, Herzglykoside oder verschiedene Krebsmedikamente (Bsp. Paclitaxel, besser bekannt unter dem Warennamen Taxol). Pilze und Bakterien sind insbesondere als Antibiotika-Produzenten unverzichtbare Produzenten biogener Arzneistoffe, waren aber auch die ersten Lieferanten von Cholesterin-Senkern (Statine). Auch aus Tier (Bsp. Insulin) und Mensch (Bsp. Gerinnungsfaktoren) können biogene Arzneistoffe gewonnen werden. Solche menschlichen und tierischen Arzneistoffe, die meist Proteine darstellen, werden mittlerweile zunehmend gentechnologisch in Bakterien oder Pilzen hergestellt. Diese gentechnologisch hergestellten Arzneistoffe stellen somit die neueste Gruppe biogener Arzneistoffe dar.

- *Biogene Amine* (z. B. Histamin, Putrescin, Cadaverin, Spermin) in eiweißhaltigen Produkten sind bei zu hoher Konzentration - zum Beispiel durch fermentationsbedingte Anreicherung - potentielle Allergene oder können sogar giftig wirken (verdorbene Wurst!).

Referenzen

[1] Universität Rostock: Internetseite "Forschungsschwerpunkt biogene Rohstoffe" (http://www.biogene-rohstoffe.de/)
[2] Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden – BioAbfV, §2 (http://www.bundesrecht.juris.de/bioabfv/index.html) (abgerufen am 4. Juni 2008)

Biogener Arzneistoff

Biogene Arzneistoffe sind Wirkstoffe, die aus Pflanzen, Pilzen, Bakterien oder auch aus tierischen und menschlichen Bestandteilen stammen. In der Regel handelt es sich um hochwirksame Reinstoffe, die zu Arzneimitteln verarbeitet werden können. Biogene Arzneistoffe sowie ihre chemisch synthetisierten Imitate und Derivate machen weit über die Hälfte aller in den letzten Jahren zugelassenen Arzneimittel aus. Mit Arzneistoffgruppen wie Antibiotika, Cholesterinsenkern (z. B. Statine), Zytostatika (z. B. Taxol) oder Schmerzmitteln (z. B. Morphin) spielen sie bei allen wichtigen Indikationsgebieten eine zentrale Rolle.

Die Wissenschaft, die sich innerhalb der Pharmazie mit biogenen Arzneistoffen befasst, ist die Pharmazeutische Biologie, früher auch Pharmakognosie.



Die Droge Opium dient auch als Rohstoff zur Herstellung des starken Schmerzmittels Morphin und wird aus der Samenkapsel des Schlafmohns gewonnen.

Herkunft

Historisch und aktuell bedeutend ist die Verwendung von Heilpflanzen. Die jeweiligen Wirkstoffe sind meist Sekundärmetabolite, die in geringer Konzentration vorkommen, so dass die Gewinnung häufig aufwendig ist. Durch die Entwicklung von Verfahren zur chemischen Synthese kann eine einfachere und billigere Gewinnung möglich sein. Ein bekanntest Beispiel ist Acetylsalicylsäure (Aspirin), das zuvor aus Weidenrinde gewonnen wurde.

Pilze und Bakterien sind insbesondere als Antibiotika-Produzenten sehr bedeutende Lieferanten biogener Arzneistoffe, waren aber auch die ersten Lieferanten von Cholesterinsenkern (Statine).

Auch aus Tier (z. B. Insulin aus Bauchspeicheldrüsen) und Mensch (z. B. Gerinnungsfaktoren aus Blut) können biogene Arzneistoffe gewonnen werden. Solche menschlichen und tierischen Arzneistoffe, stellen meist Proteine dar. Diese werden mittlerweile zunehmend in der Weißen Biotechnologie mit gentechnisch veränderten Bakterien oder Pilzen hergestellt. Diese relativ neue Methode zur Bereitstellung von biogenen Arzneistoffen erweitert die Möglichkeiten medizinischer Therapien.

Literatur

- M. Melzig, E. Teuschner und U. Lindequist: *Biogene Arzneimittel: Ein Lehrbuch der Pharmazeutischen Biologie*, 6. Auflage, Juli 2004, 846 Seiten

Siehe auch

- Phytopharmakon
- Pflanzenheilkunde
- Biogene Droge

Biogener Brennstoff



Brennholz, *der* klassische Biobrennstoff

Biogene Brennstoffe (oft kurz als *Biobrennstoff* bezeichnet) sind Brennstoffe biogener, d. h. biologisch-organischer Herkunft. Sie sind Teil der Biomasse und enthalten in ihren chemischen Bindungen solare Strahlungsenergie, die von den Pflanzen als Primärproduzenten durch Photosynthese fixiert wurde. Durch Oxidation dieser Brennstoffe, meist durch Verbrennung, kann diese Energie (Bioenergie) wieder freigesetzt werden.

Biogene Brennstoffe sind in Herkunft, Aufbereitung und Nutzung vielfältig. Sie können z. B. als Brennholz in naturnahen Wäldern gesammelt oder gezielt, z. B. als sogenannte Energiepflanzen, auf landwirtschaftlichen Flächen im Intensivanbau erzeugt werden.

Einige Biobrennstoffe können ohne oder mit nur geringem Aufwand (z. B. Trocknung) genutzt werden. Andere benötigen eine umfassende Verarbeitung (z. B. Zerkleinerung, Pressen, Extraktion, Umesterung, Vergärung, Destillation, etc.). Eine Nutzung als Brennstoff (Heizstoff) zur Wärmebereitstellung (z. B. Kamin, Ofen, Heizung) und/ oder Stromerzeugung (z. B., je nach Brennstoff, im Biomasseheizwerk oder Biomasseheizkraftwerk bzw. im Blockheizkraftwerk (BHKW) einer Biogasanlage) ist möglich. Flüssige biogene Brennstoffe (Pflanzenöl, Biodiesel, Bioethanol, etc.) werden vorwiegend als Biokraftstoff in Fahrzeugen eingesetzt. Biogene Brenngase (z. B. Biogas) werden meist für die Strom- und Wärmeerzeugung genutzt.

Herkunft

Fast alle Arten von Biomasse können für die Nutzung als biogener Brennstoff erschlossen werden. Dabei kann der Brennstoff das Haupt- oder ein Nebenprodukt darstellen oder ein Kuppelprodukt sein.



Holzpellets

- **"ungezielte" forstliche Erzeugung**: Eine der bedeutendsten Nutzungsformen für biogene Brennstoffe ist die Verwendung von Feuerholz zum Kochen und Heizen. Dieses wird meist nicht gezielt erzeugt, sondern in Primär- oder Sekundärwäldern oder anderweitig gesammelt.
- **forstwirtschaftliche Erzeugung**: In Nutzwäldern wird primär Nutzholz (Bauholz, Funierholz, etc.) erzeugt. Dabei fällt auch Tot- und Schwachholz sowie minderwertiges Holz an, das als Brennholz oder zur Herstellung von Holzpellets oder Holzhackschnitzeln genutzt werden kann.
- **intensiver landwirtschaftlicher Anbau**:
  - **landwirtschaftliche Produktion von einjährigen Pflanzen**: Die biogene Brennstoffe bzw. die für ihre Herstellung notwendigen Rohstoffe können die Hauptprodukte darstellen:
    - Ölpflanzen, z. B. zur Herstellung von Pflanzenöl und Biodiesel
    - Stärkepflanzen, z. B. zur Herstellung von Bioethanol
    - Zuckerpflanzen, z. B. zur Herstellung von Bioethanol
    - Energiepflanzen, z. B. als Substrat für Biogasanlagen zur Erzeugung von Biogas

      Landwirtschaftliche Nebenprodukte, die energetisch verwendet werden können, sind z. B. Getreidestroh, Zuckerrübenblatt, etc.. Ebenfalls interessant werden könnte zukünftig das bisher meist nicht genutzte Stroh von Körnermais, Raps und anderen Kulturpflanzen.



Ernte von Energieholz in einer Kurzumtriebsplantage



Rapsfelder, Raps ist in Deutschland eine bedeutende Ölpflanze

  - **landwirtschaftliche Produktion von mehrjährigen Pflanzen**:
    - In Plantagen können, z. B. mit der Ölpalme, Ölfrüchte erzeugt werden.
    - Schnellwüchsige Pflanzen, wie z. B. Miscanthus, können mehrjährig angebaut werden. Die Ernte erfolgt dabei jährlich.
    - Schnellwüchsige Baumarten, wie bestimmte Weiden- und Pappelarten, können über viele Jahre auf der selben Fläche angebaut werden. Sie werden im mehrjährigen Turnus geerntet. Die Fähigkeit zum Stockausschlag erspart das erneute Setzen der Pflanzen.
- **Nebenprodukte aus der Verarbeitung**:
  - In der Holzindustrie fallen große Mengen an Sägemehl und Restholz an, die direkt thermisch genutzt oder z. B. zu Pellets verarbeitet werden.

- In der Papierindustrie fallen bei der Gewinnung von Zellstoff (Cellulose) aus Holz (vor allem aus Lignocellulose bestehend) große Mengen an Lignin an. Dieses kann z. B. verfeuert werden.
- Bei der Gewinnung von Zucker aus Zuckerrohr fällt Bagasse an, die energetisch genutzt werden kann.
- Bei vielen anderen Verarbeitungsprozessen fallen organische Reststoffe an, die durch Verbrennung oder durch Vergärung zu Biogas genutzt werden können.

- **Organische Abfälle** fallen in Industrie und Haushalten an. Die energetische Nutzung kann z. B. die Entsorgungskosten verringern oder kompensieren:
  - Bioabfälle werden meist durch Kompostierung behandelt. Aber auch eine energetische Nutzung durch Vergärung zur Erzeugung von Biogas ist möglich.



Faulturm für Klärgaserzeugung

  - Klärschlamm enthält meist einen hohen Anteil organischer Verbindungen, die durch Verbrennung energetisch genutzt werden, unter anderem um das Volumen des zu deponierenden Klärschlamms reduzieren.
  - Hausmüll enthält neben Bestandteilen fossiler Herkunft auch einen Anteil organischer Substanzen, die bei der Verbrennung genutzt werden können. Findet eine Deponierung des Hausmülls statt, kann durch anaeroben Abbau aus den organischen Anteilen energiereiches Deponiegas entstehen.
  - Landschaftspflegematerial (Baum- und Grasschnitt) können durch Verbrennung oder Vergärung zu Biogas (hier meist per Trockenfermentation) genutzt bzw. entsorgt werden.

Kategorien

Wie bei den konventionellen Brennstoffen kann auch bei den biogenen Brennstoffen eine Einteilung in die drei klassischen Aggregatzustände (fest, flüssig, gasförmig) erfolgen. Mit dem jeweiligen Zustand korreliert meist auch die Art der Nutzung.

Biogene Festbrennstoffe



Biomasseheizkraftwerk Zolling (BRD)

Viele biogene Festbrennstoff können ohne aufwendige Aufbereitung (z. B. nur Trocknung, Zerkleinerung) genutzt werden, wie z. B. Holz (Scheitholz, Holzhackschnitzel, etc.), Stroh oder Bagasse. Teilweise erfolgt aber auch eine aufwendige Verarbeitung dieser Rohstoffe, um Produkte mit exakter definierten Eigenschaften (Abmessung, Energiegehalt, Aschegehalt, etc.) zu erhalten, wie z. B. Holz- und Strohpellets. In vielen Ländern sind Festbrennstoffe für die Bereitstellung von Wärme zum Kochen bedeutend. In Deutschland dienen sie vor allem der Wärmebereitstellung (Kamine, Öfen, Holzheizungen, Biomasseheizwerke) und/oder der Stromerzeugung (Biomasseheizkraftwerk).

Mit der Umwandlung von biogenen Festbrennstoffen in Biomass to Liquid (BtL), Biopyrolyseöl, Synthetic Natural Gas (SNG), Bioethanol, Biogas und andere Produkte besteht die Möglichkeit zur

Überführung in andere Aggregatzustände. Thermische, biochemische oder andere Verfahren kommen dabei zum Einsatz. Durch Pressen oder Extrahieren können aus Pflanzensamen (Raps, Soja, Sonnenblume, etc.) Pflanzenöle gewonnen werden.



Bioethanolfabrik in West Burlington, Iowa

Biogene Flüssigbrennstoffe

Die bedeutendsten biogenen Flüssigbrennstoffe sind Biokraftstoffe wie Bioethanol, Pflanzenöl und Biodiesel. Diese werden meist in Fahrzeugmotoren eingesetzt und müssen bestimmte, normierte Eigenschaften erfüllen. Daneben gibt es weitere, weniger exakt definierte biogene Flüssigbrennstoffe wie z. B. Pyrolyseöl. Die Gewinnung erfolgt aus fester Biomasse bzw. aus biogenen Festbrennstoffen.

Biogene Brenngase

Zu den biogenen Brenngasen, auch als biogene Brenngase bezeichnet, gehören z. B. Faulgase (Biogas, Klärgas, Deponiegas), Biomethan, SNG und Biowasserstoff. Die beiden letztgenannten haben in Deutschland bisher keine wirtschaftliche Bedeutung. Biogene Brenngase werden vor allem zur gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung in Blockheizkraftwerken (BHKW) eingesetzt (meist am Ort der Herstellung: Biogasanlagen, Deponien, Klärwerke). Bei entsprechender Aufbereitung (insbesondere der Erhöhung des Methangehalts) kann auch eine Einspeisung in das Erdgasnetz erfolgen. Eine Nutzung zur Wärmebereitstellung ist möglich. Die Gewinnung von Faulgas erfolgt durch Vergärung von organischer Substanz (z. B. Gülle, Silage, organische Anteile in Abwasser und Hausmüll). SNG und Biowasserstoff können z. B. durch Vergasung von Biomasse zu Synthesegas und anschließende Verfahren zur Erhöhung der Methanausbeute (CH_4 - bei der SNG-Erzeugung) bzw. der Wasserstoffausbeute (H_2 - bei der Biowasserstofferzeugung) produziert werden.

Bedeutung in der BRD

Anteil an der Energieversorgung

Rund 70 % der 2008 in der BRD genutzten erneuerbaren Energien wurden von den Bioenergien und damit von biogenen Brennstoffen gestellt. Sie macht damit rund 6,7 % (15,6 TWh) des deutschen Endenergiebedarfs (233 TWh) aus. Die Wärmebereitstellung machte rund 60 % der Bioenergie, die Kraftstoff- und Strombereitstellung rund 23 bzw. 17 % aus.[1]

Förderung der Biogenen Brennstoffe

Die Nutzung von biogenen Brennstoffen wird aus mehreren Gründen gefördert. So soll z. B. das Klima durch geringeren Treibhausgasausstoß geschützt , fossile Ressourcen geschont und die Abhängigkeit von Staaten mit großen Rohstoffvorkommen (z. B. Erdöl, Erdgas) verringert werden. Mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wird die Stromerzeugung aus erneuerbare Energien, wie u. a. biogenen Brennstoffen, gefördert. Das Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG) legt eine Mindestbeimischungsmenge von Biokraftstoffen zu den konventionellen Treibstoffen fest. Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) fördert die Wärmebereitstellung unter anderem durch Bioenergien. Ähnliche Gesetze auf Basis der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EG) (EU-Richtlinie) gelten auch in den anderen EU-Staaten.

Vorteile, Nachteile, Nachhaltigkeit

(siehe Artikel Bioenergie)

Bei der Nutzung von Bioenergien treten Vor- und Nachteile auf, wie z. B. die Flächen- und Nutzungskonkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung und andere. Durch die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EG) bzw. entsprechende Umsetzungen in deutsches Recht, wie durch die Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV) und die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV), soll die Nachhaltigkeit sichergestellt werden.

Literatur

- Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer (Hrsg.): *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren.* Springer Verlag, Berlin und Heidelberg 2009; ISBN 978-3-540-85094-6.
- Martin Kaltschmitt et al., *Erneuerbare Energien - Grundlagen, Techniken und Verfahren*, Springer Berlin, 2009, 2. Auflage, 1032 Seiten, ISBN 3540850945
- *Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen* - Schwerpunkt biogene Festbrennstoffe, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow 2005, 2. überarbeitete Auflage, ISBN 3000153896, als pdf [2] erhältlich

Referenzen

[1] *Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland* (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174-basisdaten_biokraftstoff.pdf), Stand Oktober 2009 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2009, 14-seitige Broschüre, als pdf verfügbar

Biogener Schmierstoff

Ein **Bioschmierstoff** (auch **Bioöl** genannt) ist ein umweltverträglicher Schmierstoff. Als Kriterium für die Umweltverträglichkeit wird meistens die biologische Abbaubarkeit herangezogen. Das gängigste Prüfverfahren dafür ist der Test nach OECD 301[1] Dieser Test wird auch für die in diesem Bereich relevanten Umweltzeichen (Euromargerite, Blauer Engel) gefordert.



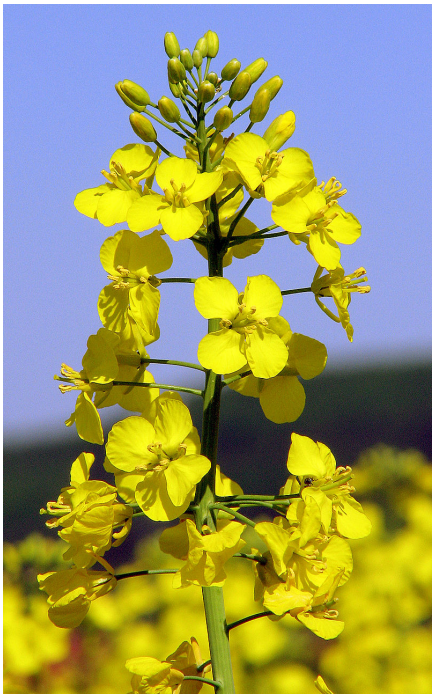
Nachfüllen des Tanks für Sägekettenöl

Hergestellt werden Bioschmierstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen oder aus Mineralöl mit schwermetallfreien Zusatzstoffen. Auch Mischungen aus beiden Rohstoffquellen sind möglich, die meisten am Markt vertretenen Produkte bestehen aus solchen Mischungen. Vor der breiten Anwendung von Kohle und Erdöl zur Herstellung von Schmierstoffen ab dem 19. Jahrhundert wurden ausschließlich Pflanzenöle zur Schmierung genutzt, beispielsweise in der Lagerung von Rädern an Pferdekarren oder an anderen mechanischen Reibungspunkten. Belegt ist auch die Verwendung von pflanzlichen Schmierstoffen in Ägypten, um die Reibung der Transportschlitten beim Transport großer Steine zu verringern.[2]

Es gibt auch engere Definitionen, die nur die Produkte als Bioschmierstoffe bezeichnen, die zu mindestens 50 Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen. In diesem Zusammenhang wird auch von biogenen Schmierstoffen gesprochen. Bioschmierstoffe können in allen Anwendungsbereichen von Schmierstoffen

Verwendung finden und entsprechende Produkte auf Erdölbasis ersetzen, haben jedoch aufgrund des häufig höheren Preises und des geringeren Bekanntheitsgrades nur einen relativ geringen Marktanteil.

Herstellung und Zusammensetzung



Raps ist der Hauptrohstoff zur Herstellung von biogenen Schmierstoffen in Europa

Biogene Schmierstoffe können aus verschiedenen pflanzlichen Ölen und tierischen Fetten (bsp. Rindertalg) hergestellt werden. In Deutschland kommt dabei vor allem Rapsöl zum Einsatz. In Deutschland können pro Tag zwischen 500 und 4.000 Tonnen Ölsaaten verarbeitet, das entspricht einer maximalen Jahresproduktion von etwa 6,5 bis 8,8 Millionen Tonnen Pflanzenöl pro Jahr. Im Jahr 2007 wurden nach Angaben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 10,3 Mio. Tonnen Ölsaaten verarbeitet, die Gesamtproduktion an Pflanzenöl betrug 3,5 Mio Tonnen.[3] Die Ölausbeute der Saaten liegt bei durchschnittlich 40 Prozent, der Energiebedarf bei etwa 1,7 GigaJ pro Tonne. Neben dieser Menge werden größere Mengen Palm-, Rizinus-, Soja- importiert. Die Öle können durch Umesterung sowie durch Beimischung von verschiedenen Mineralölbestandteilen und Additiven entsprechend ihres späteren Verwendungszwecks modifiziert werden.

Die biogenen Schmierstoffe machen an dieser Menge einen Anteil von 46.500 Tonnen aus. Dabei wurden nach Angaben der Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP) im Jahr 2005 etwa 90.000 ha der Rapsfläche zur Herstellung von Schmierstoffen und chemischen Produkten wie Tensiden für die Waschmittelindustrie genutzt.[4] Weitere häufig eingesetzte Öle sind Palm-, Soja-, Rizinus- und Sonnenblumenöl.[5] Die Öle werden auf konventionelle Art in Ölmühlen gewonnen und in entsprechenden Raffinerien aufbereitet, wobei aus Kosten- und Qualitätsgründen Großanlagen genutzt werden, in denen auch Öle für die Biokraftstoffproduktion hergestellt werden.

Mineralölbeimischungen können bei Schmierstoffen sowohl aus Kostengründen wie aufgrund spezieller Eigenschaften stattfinden. Pflanzenöle sind heute nur in sehr wenigen Eigenschaften nicht in der Lage, Mineralöle zu substituieren. Die technische Notwendigkeit der Beimischung ist entsprechend nur in Spezialfällen gegeben, bei denen auch unter Zuhilfenahme anderer Additive Anwendungsprobleme nicht gelöst werden können. Ein Beispiel für einen solchen Sonderfall stellen Schmiermittel dar, die in Flugzeugmotoren genutzt werden, bei denen Mineralölester beigemischt werden müssen. Diese müssen Betriebstemperaturen von über 400 °C aushalten und zugleich kompatibel mit verschiedenen Materialien wie Gummi, Kunststoffen und verschiedenen Metallen sein. Weitere Eigenschaften dieser Spezialmischungen sind niedrige Viskositäten bei niedrigen Temperaturen, hohe Scherstabilität sowie geringe Oxidationsanfälligkeit.

Additive sind Zusätze, die physikalische oder chemische Eigenschaften der Öle verbessern bzw. dem Anwendungszweck anpassen. Dazu gehören Antioxidantien, Korrosionsinhibitoren, Mittel zur Leistungssteigerung unter Hochdruckbedingungen, Chelatliganden um Metallionen zu binden, Viskositätsverbesserer, Frostschutzmittel, Schaumbremser und eine Reihe weiterer chemischer Mittel. Schmierfette enthalten zudem Dickungsmittel, damit sie eine pastöse Konsistenz bekommen. Einige Additive enthalten Schwermetalle oder andere Giftstoffe und sind damit nicht umweltverträglich, weshalb sie in biogenen oder bioabbaubaren Schmiermitteln im Regelfall vermieden werden.

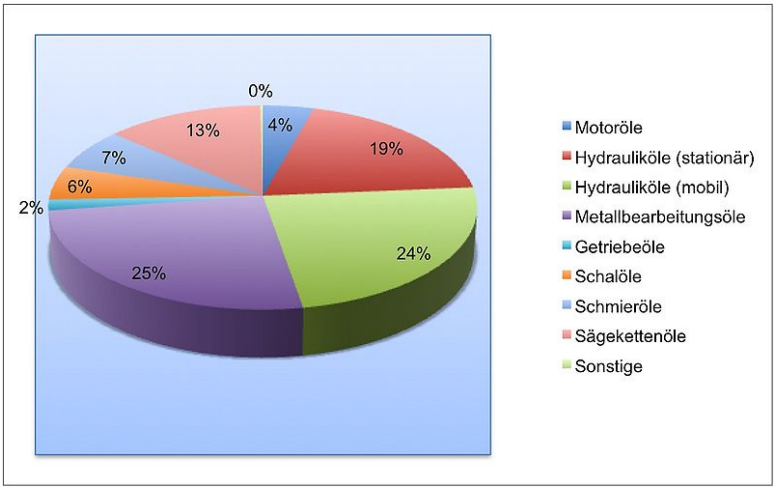
Vorteile von biogenen Schmiermitteln

Bioschmierstoffe können theoretisch in allen Anwendungsbereichen von Schmierstoffen Verwendung finden und entsprechende Produkte auf Erdölbasis ersetzen. Sie sind in ihren Eigenschaften je nach Zusammensetzung gleichwertig und den mineralischen Schmierstoffen nur bei Spezialanwendungen und bei extrem hohen Temperaturentwicklungen unterlegen.

Als Hauptnutzungsvorteil gegenüber mineralischen Ölen wird die Anwendbarkeit in umweltsensiblen Bereichen angesehen. Die hier eingesetzten Betriebsmittel sollen nach Möglichkeit biologisch abbaubar und nicht wassergefährdend sei, um Umweltverschmutzungen zu vermeiden. Nach Angaben von Heinrich Theissen vom Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen der RWTH Aachen gelangen in Deutschland jährlich etwa 500.000 Tonnen und damit etwa die Hälfte der eingesetzten Schmierstoffe über Verdunstung, Verbrennung und Leckagen in die Umwelt.[2]

Verwendung und Marktanteile

Den höchsten Marktanteil haben Bioschmieröle als Sägekettenöl (Sägegatteröle und Sägekettenhaftöle) in der Forstwirtschaft. Hier liegt der Anteil biogener Öle bei etwa 75 bis 80 %. Einen ebenfalls hohen Anteil haben Hydrauliköle mit 19 % im mobilen (Fahrzeug-) Bereich und 9 % in der stationären Anwendung. Kühlschmiermittel liegen bei 15 % und allgemeine Schmieröle bei 10 % während die Anteile bei den Getriebeölen und den Motorölen jeweils unter 1 % betragen. Die folgende Tabelle gibt die jährlich genutzten Mengen der 2005 in Deutschland eingesetzten Schmiermittel wieder:[6] [5]

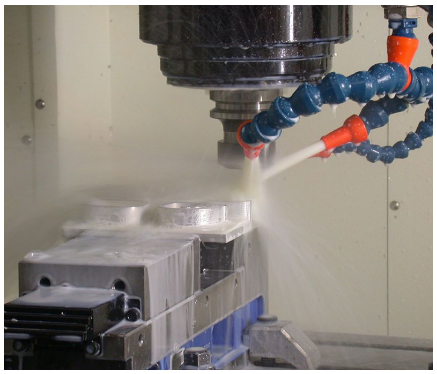


Prozentuale Anteile der biogenen Schmiermittel am Gesamtverbrauch in Deutschland

Bioschmierstoffe und -öle	Verbrauch (t)	Marktanteil
Kühlschmiermittel	11.800	15 %
Hydrauliköle (mobil)	11.000	19 %
Hydrauliköle (stationär)	9.000	9 %
Sägekettenöle	6.200	75 %
Verlustschmieröle und -fette	3.100	10 %
Schalöle	2.500	8 %
Motoröle	2.000	< 1 %
Getriebeöle	800	< 1 %

Sonstige Öle	100	

Kühlschmiermittel



Einsatz von Kühlschmiermittel beim Fräsen

Die größte Menge der Bioschmiermittel kommt als Kühlschmiermittel bzw. Metallbearbeitungsöl in der fertigenden Industrie zum Einsatz. Sie machen hier einen Anteil von 15 % an der Gesamtmenge aus. Angewendet werden sie bei spanenden Metallbearbeitungen wie dem Drehen, Fräsen, Bohren und Schleifen oder bei anderen Metallbearbeitungsformen wie Stanzen, Pressen, Tiefziehen und Drahtziehen. In diesen Prozessen sollen sie die Reibung und damit die Wärmeentstehung zwischen dem Werkstück und dem Werkzeug reduzieren und Werkzeug und Material abkühlen, gleichzeitig sorgen sie für den Abtransport der Späne. Bioschmiermittel haben gegenüber mineralischen Schmierstoffen keine Nachteile mit Ausnahme des höheren Preises; aus dem Grunde werden aktuell vor allem mineralische Schmiermittel verwendet.

In Deutschland werden jährlich etwa 70.000 t Kühlschmiermittel verwendet, wobei der Anteil der biogenen Mittel von 2003 mit etwa 1 bis 2 % auf etwa 15 % im Jahr 2005 gestiegen ist.

Hydrauliköle



Zweiwegebagger mit umfassender Hydraulikanlage

Bei den Hydraulikölen wird in Marktanalysen unterschieden in mobile und stationäre Anwendungsbereiche, wobei mobile Anwendungen die Nutzung in Fahrzeugen und stationäre die in fest installierten Anlagen meint. Biogene Hydrauliköle bestehen im Regelfall aus Rapsöl, dem natürliche Ester beigesetzt werden (Hydraulic Oil Environmental Triglyceride, HETG) und das durch Umesterung modifiziert wird (Hydraulic Oil Environmental Ester Synthetic, HEEG). Im Vergleich zu mineralischen Hydraulikölen ist HETG biologisch abbaubar und ist für normal belastete Arbeitsfahrzeuge wie Landmaschinen (Mähdrescher, Anbaugerät) oder Müllfahrzeuge gut geeignet, hat jedoch im Vergleich zu HEEG eine geringere Tanktemperatur- und Kältebeständigkeit. HEEG kann bei schwereren Maschinen zum Einsatz kommen, vor allem Forstfahrzeugen, Bagger, Planierraupen oder Bohrgerät.

Der Gesamtmarkt der Hydrauliköle stellt nach den Motorenölen den zweitgrößten Bereich der Schmiermittel dar. In Deutschland werden jährlich etwa 150.000 t verbraucht, davon etwa 60.000 bei mobilen Anwendungen. Der Anteil der Hydrauliköle konnte dabei in den letzten Jahren massiv gesteigert werden; er betrug im Jahr 2000 nur etwa 3 % und stieg bis 2005[5] auf fast 20 % des Gesamtmarktes.[6] Einen der zentralen Gründe hierfür stellte das Markteinführungsprogramm für biogene Schmiermittel in der Landwirtschaft des BMELV dar, bei dem die Umstellung auf biogene Schmiermittel gezielt gefördert wurde.

Sägekettenöle

Sägekettenöl oder Sägekettenhaftöl und Sägegatteröl dient dazu, die Reibung zwischen Sägekette und Schiene bei Motorkettensägen zu verringern und damit den Verschleiß zu reduzieren. Ferner dient das Öl als Trennmittel, um Anhaftungen von Baumharz und Sägemehl an der Sägekette zu verhindern. Moderne Sägekettenöle werden in der Regel auf Basis von umweltfreundlichen, biologisch leicht abbaubaren und nicht wassergefährdenden Pflanzenölen (z. B. Raps- oder Olivenöle) hergestellt. Diese Öle werden als „Bio-Kettenöl“ vermarktet. Auch der Kontakt solcher Öle mit der menschlichen Haut ist gesundheitlich unbedenklich. Bereits 2003 waren 80 % der auf dem Markt befindlichen Sägekettenhaftöle und Sägegatteröle biogenen Ursprungs und stellen damit den einzigen Bereich der Schmierstoffe dar, in dem biogene Schmierstoffe gegenüber mineralischen Schmiermitteln deutlich überwiegen.

Verlustschmieröle und -fette

Verlustschmieröle und -fette finden überall dort eine Verwendung, wo Reibungsreduzierungen an offenen Systemen im Vordergrund stehen. Dabei handelt es sich im Regelfall um bewegliche Elemente an Fahrzeugen wie Land- und Forstmaschinen, Bahnen und deren Gleisanlagen oder wasserbaulichen Anlagen wie Wehren und Schleusen. Alle diese Fette werden abgetragen und gelangen durch Abrieb in die Umwelt, entsprechend ist hier eine biologische Abbaubarkeit von Vorteil.

Pro Jahr werden etwa 36.000 t Schmieröle eingesetzt, wobei hier aufgrund der fehlenden Wiederaufbereitung besonders großes Augenmerk auf einen umweltgerechten Abbau gelegt werden sollte. Entsprechend stieg der Anteil biogener Schmiermittel von nur 0,9 % (327 t) im Jahr 2003 auf etwa 31.000 t und damit fast 10 % im Jahr 2005.

Schalöle

Schalöle oder Formtrennmittel werden überwiegend zur Behandlung von Schalung verwendet. Dort dient es als Trennmittel, um nach dem Erhärten des Frischbetons die Schalung mühelos und ohne Beschädigung der Betonoberfläche entfernen zu können. Ähnliche Fette dienen in der Metallgießerei beim Druckgießen der Trennung von Metall und Gußform. Bislang werden Formtrennmittel nur selten auf biogener Basis produziert, die Regel sind mineralische Öle, die auch organische Lösungsmittel enthalten können.

Auf deutschen Baustellen sowie bei der Herstellung von Betonfertigteilen werden jährlich etwa 25.000 t Schalöle verbraucht. Mit 2.500 t machen die biogenen Schmiermittel daran einen Anteil von 8 bis 10 % aus, aufgrund der Forderung nach umweltschutzgerechten Ölen kann dieser Anteil sich in Zukunft allerdings noch deutlich erhöhen.

Motoröle

Motoröle dienen der Schmierung der Zylinder von Fahrzeugmotoren. Hierbei existiert eine relativ große Palette von hochwertigen Ölen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe für 2- und 4-Takt-Motoren; diese bestehen im Regelfall aus synthetischen Estern auf Pflanzenölbasis. Durch den Verzicht von zink- oder phosphorreichen Additiven können sie zudem die Haltbarkeit von Katalysatoranlagen erhöhen. Für Dieselmotoren sind entsprechende Öle in der Entwicklung.

Der Gesamtanteil der Motoröle stellt mit etwa 50 % der Gesamtmenge in Europa und etwa 32 % in Deutschland die größte Einzelgruppe der Schmierstoffe dar; die Gesamtmenge stagniert seit etwa 2001 bei rund 344.000 Tonnen pro Jahr. Dabei werden sie in nahezu allen Personen- und Lastkraftwagen eingesetzt. Der Anteil der biogenen Motoröle lag 2003 bei nur 0,02 % und somit bei 61 t, obwohl die Öle vergleichbare Eigenschaften haben. Auch 2005 lag der Anteil noch weit unter einem Prozent des Gesamtmarktes, hatte mengenmäßig allerdings mittlerweile 2.000 t erreicht. Der Grund für den geringen Anteil dürfte im höheren Preis und der geringeren Bekanntheit der biogenen Öle liegen.

Getriebeöle

Getriebeöle schmieren die beweglichen Teile des Getriebes. Bio-Getriebeöle werden vor allem bei landwirtschaftlichen Fahrzeugen eingesetzt und sind in ihren Eigenschaften mit den Ölen auf Mineralölbasis vergleichbar und können diese aufgrund ihrer hohen Viskosität auch übertreffen.

In Deutschland werden jährlich etwa 89.000 t Getriebeöl verbraucht, wobei der Anteil biogener Öle mit etwa 800 t wie bei den Motorenölen weniger als 1 % beträgt.

Marktsituation und Rahmenbedingungen

Das EU-weites Marktpotential für biogene Schmierstoffe wird bei einem insgesamt weitgehende stagnierenden Gesamtmarkt der Schmierstoffe auf 1,5 Millionen Tonnen pro Jahr prognostiziert. Von diesen 1,5 Millionen Tonnen werden aktuell erst 0,1 % tatsächlich ausgeschöpft. Der aktuelle Marktwert des Bereichs Schmierstoffe liegt bei etwa 2,6 Milliarden Euro, von denen etwa 21 Millionen Euro auf den Bereich der Bioschmierstoffe entfallen. Ein zunehmender Marktanteil wird auf der Basis höherer Rohstoffpreise im Bereich der mineralischen Schmieröle sowie eine Weiterentwicklung biogener Ölprodukte prognostiziert.[5] Die Hauptprobleme liegen dabei im fehlenden Wissen über die Eigenschaften und das fehlende Bewusstsein über das Vorhandensein technisch ausgereifter biogener Schmierstoffe. Ein wesentlicher Aspekt ist das Vorurteil, Bioöle seien weniger leistungsfähig, sowie die Angst vor möglichen Schäden und Störungen an den Geräten. Unzureichende Beratung kann vor allem während der Umstellung und Erstbefüllung zu technischen Problemen wie Verunreinigung mit Mineralöl oder undichten Schlauchleitungen führen und das Image von Bioölen nachhaltig schädigen.[7]

Biogene Schmierstoffe haben am Gesamtmarkt der Schmierstoffindustrie nur einen relativ kleinen Anteil. So lag der deutsche Gesamtmarkt für Schmierstoffe im Jahr 2003 bei etwa 1,1 Millionen Tonnen (weitgehend stagnierend; 2007: 1.149.432 t[8]), von denen je nach Quelle nur 20.000 bis 46.000 Tonnen anteilig aus nachwachsenden Rohstoffen bestanden[9] . Diese Menge variiert in verschiedenen Studien aufgrund der schwierigen Erfassungsgrundlage, wobei Theissen 2006 nur von etwa 20.000 t biogener Schmierstoffe pro Jahr ausgeht und sich dabei auf die Daten aus dem Markteinführungsprogramm des BMELV beruft[10] .

Aufgrund zunehmender Bekanntheit sowie gesetzlicher Rahmenbedingungen wie das Markteinführungsprogramm des BMELV und Vorschriften für die Schmierölverwendung in umweltsensiblen Bereichen konnte der Anteil in den letzten Jahren gesteigert werden. In Österreich wurden im Jahr 2005 80.000 t Schmieröle verbraucht, von denen etwa zwei Drittel auf Hydraulik-, Motoren- und Getriebeöle entfielen. Biogene Schmierstoffe machen hierbei einen Anteil von etwa 5 % aus, das Potential liegt nach Schätzungen bei etwa 15 % der Gesamtmenge, wodurch eine Steigerung um etwa 8.000 Tonnen pro Jahr möglich wird.[7]

Aufgrund der hohen Kosten für die Entwicklung und Markteinführung sind vor allem größere Mittelstandsbetriebe wie die Fuchs Petrolub AG, die Panolin AG, die Kajo-Firmengruppe und die Carl Bechem GmbH am Markt der deutschen Bioschmiermittel führend und erweitern durch biogene Schmiermittel ihre bereits vorhandene Produktpalette. Die Rohstoffproduzenten sind im Regelfall unabhängige, landwirtschaftliche Betriebe, die das Pflanzenöl als Rohstoff sowohl für unterschiedliche Nutzungen (Nahrungsmittelindustrie, energetische und stoffliche Nutzungen) zur Verfügung stellen – hinzu kommen internationale Importe von Palm- und Sojaöl.

International liegen vor allem Erfahrungen aus Skandinavien und den Niederlanden vor. Positiven Einfluss auf die Marktentwicklung hatten in diesen Ländern die Einführung von Umweltlabeln wie dem „Milieukeur“ für Hydrauliköle und Verlustschmiermittel in den Niederlanden und dem „Goldenen Schwan“ für umweltfreundliche Produkte in den Ländern des Nordischen Rats. In Schweden wird zudem eine Positivliste umweltverträglicher Schmieröle geführt und das Label „Swedish Standard“ vergeben. Auch in der EU existiert mit dem Eco Label ein länderübergreifendes Umweltsiegel, dass bei Schmierölen mit biogenen Anteilen vergeben wird (>50 % bei Hydrauliköl, >45 % bei Getriebeölen, >70 % bei Sägekettenölen, Betontrennmitteln und Verlustschmierölen).

Literatur

- Volker Lenz, Michael Weber: *Schmier- und Verfahrensstoffe*. In: Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow 2006; Seiten 239–261 (PDF-Download [11])
- Klaus Menred, Thomas Decker, Andreas Gabriel, Sebastian Kilburg, Edmund Langer, Bettina Schmidt, Martin Zerhoch: *„Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Themenfeld 4: „Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen – Markt, makroökonomische Effekte und Verbraucherakzeptanz“.* Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestags Vorgelegt dem Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), 2006
- Stichwörter *Lubricants* und *Lubricating Grease* In: Hans Zoebelein (Hrsg.): *Dictionary of Renewable Ressources.* 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim und New York 1996; Seiten 176–178. ISBN 3-527-30114-3.

Weblinks

- Bioschmierstoffe.info [12]

Referenzen

[1] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD): *OECD Guidelines for Testing of Chemicals 301: Ready Biodegradability.*.

[2] Heinrich Theissen: *Pflanzliche Öle und Fette machen mobil.* In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe: *10 Jahre Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe - Von der Forschung zum Markt.* Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2004.

[3] S. Graser, N. Jack, S. Pantoulier (Hrsg.) *Agrarmärkte 2007.* Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 4/2008.

[4] Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP): *Marktinformationen Ölsaaten und Biokraftstoffe.* Ausgabe Mai 2005; zitiert nach Menred et al. 2006

[5] Nach Lenz & Weber 2006

[6] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hrsg.): *Daten und Fakten zu nachwachsenden Rohstoffen.* Gülzow 2006; Seite 57 (PDF-Download (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_303fg_dafa_071107.pdf))

[7] Christoph Sasser, Susanne Griesmayr, Manfred Wörgetter: *nawaro:aktiv: Studie zur Treibhausgasrelevanz der stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen. Endbericht.* Herausgegeben vom Austrian Bioenergy Centre, Graz 2006.

[8] Mineralölwirtschaftsverband e. V.: *Amtliche Mineralöldaten für Deutschland – Dezember 2007 inclusive Korrektur 2006* (Download (http://www.mwv.de/cms/front_content.php?idcat=10))

[9] Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP): *Nachwachsende Rohstoffe- Biokraftstoffe & Energie aus Biomasse, Auszüge aus dem Geschäftsbericht 2004/2005.*

[10] Heinrich Theissen: *Die Marktsituation biologisch abbaubarer und biogener Schmierstoffe in Deutschland 2006.* Herausgegeben durch: Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen (IFAS), Aachen 2006. (PDF (http://www.nova-institut.de/news-images/20060926-08/Marktanalyse-060911.pdf))

Biokatalyse

Als **Biokatalyse** wird eine Umsetzung und Beschleunigung oder Lenkung chemischer Reaktionen (Katalyse) bezeichnet, in der Enzyme als biologische Katalysatoren dienen. Enzyme bestehen vollständig oder überwiegend aus einem oder mehreren Proteinen (Eiweißen) und teilweise auch einem Kofaktor. Die meisten biochemischen Reaktionen in Lebewesen werden von spezifischen Enzymen katalysiert.

Beim Einsetzen der **Biokatalyse** in technischen Anwendungen (Biotechnologie) werden Enzyme, entweder isoliert oder in der lebenden Zelle, zur Katalyse von chemischen Reaktionen verwendet. Es ist ein junges Gebiet im Überschneidungsbereich von Biotechnologie und Chemie. [1] [2] [3]

Als Synonyme zum Begriff Biokatalyse werden gelegentlich die Begriffe Biokonversion und Biotransformation verwendet. Teilweise wird aber auch unterschieden in Biokatalyse als Überbegriff für *alle* enzymkatalysierten biochemischen Reaktionen, während die beiden anderen Begriffe für enzymkatalysierte Reaktionen *in technischen Anwendungen* (Biotechnologie) verwendet werden.



Bioreaktor (Fermenter) im Labormaßstab

Geschichte

Bei der Biokatalyse, zum Beispiel beim Bierbrauen, handelt es sich um eine der ältesten bekanntesten chemischen Prozesse der Menschheit. Seit Jahrhunderten sind biokatalytische Prozesse unter Einsatz von Bakterien, Hefen oder Pilze, besonders in der Herstellung von Wein, Bier. Käse und anderen Nahrungsmitteln bekannt. Auch in der Pharmazeutischen Industrie werden seit langen biokatalytische Prozesse eingesetzt.


Gärbehälter zur Weinherstellung

Dabei geht es zum Teil um die Verwirklichung von anders nicht durchführbaren Reaktionen und zum Teil um den Ersatz von bereits bestehenden Synthesen mit giftigen Reagenzien und Lösemitteln. Im Sinne der Nachhaltigkeit werden diese durch mildere Methoden ersetzt, denn Biokatalysatoren arbeiten häufig in Wasser und bei 20-40°C.

Beispiele für wirtschaftlich bedeutende biokatalysierte Prozesse sind die Herstellung von Vitamin C, die Aspartam-Herstellung, die Verzuckerung von Stärke zu Glukosesirup und die Antibiotika-Herstellung durch enzymatische Spaltung von Penicillin G.

Vorteile der Biokatalyse



Bioreaktor zur bakteriellen Herstellung von Vakzinen

Die Vorteile der Biokatalyse für die organische Synthese liegen vor allem in der Selektivität, die eine Voraussetzung für das Erzielen einer hohen Ausbeute ist. Enzyme bieten Vorteile bei der Chemoselektivität, der Regioselektivität, der Diastereoselektivität und der Enantioselektivität.

Enzyme reagieren oft unter milden Bedingungen, so dass bei gegebenen Reaktionsbedingungen nur eine funktionelle Gruppe reagiert. Das führt auch dazu, dass Produkte biokatalytischer Prozesse of reiner sind und die Abtrennung von Nebenprodukten unproblematischer ist.

Auf Grund der komplexen Struktur von Enzymen katalysieren diese oft regio- und diastereoselektive Reaktionen. Die oft vorhandene Chiralität des Enzymes kann bei verschiedenen Reaktionen auf das prochirale Substrat zur Herstellung enantiomerenreiner Komponenten übertragen werden. Besonders bei der Herstellung von Arzneimitteln und in der Agrochemie sind diese Komponenten als chirale Bausteine begehrt.

Auch die milden Reaktionsbedingungen, der Gebrauch von Wasser als Lösungsmittel in vielen Reaktionen und die biologische Abbaubarkeit sind Gründe für eine intensive Erforschung der Biokatalyse.

Erfolgreiche Methoden für die Verbesserung von Enzymen für die Biokatalyse sind die gerichtete Evolution und das rationale Proteindesign.

Asymmetrische Biokatalyse

Bei der asymmetrischen Biokatalyse können zwei prinzipielle Methoden unterschieden werden. Zum einen die kinetische Razematspaltung und die biokatalytische asymmetrische Synthese.

Bei der kinetischen Razematspaltung wird ein Razemat mit Hilfe von Enzymen umgewandelt. Auf Grund der Chiralität der Enzyme reagiert eine Komponente im Razematgemisch schneller unter Biokatalyse zum Zielprodukt, während die andere nicht reagiert.

Die biokatalytische asymmetrische Synthese ist eine Reaktion, bei der eine prochirale Komponente enantioselektiv in eine chirale umgewandelt wird, etwa bei der enantioselektiven Reduktion von Ketonen durch Hefe.

Weblinks

- The University of Exeter - Biocatalysis Centre [4]
- Applied Biocatalysis centre- Graz; [5]
- Center for Biocatalysis and Bioprocessing - The University of Iowa [6]
- TU Delft - Biocatalysis & Organic Chemistry (BOC) [7]

Literatur

- Klaus Roth: *Angewandte Biokatalyse: "Jäder nor einen wönzigen Schlock"*, in: *Chemie in unserer Zeit* 2006 (40), S. 136–145; doi:10.1002/ciuz.200600380 [8].
- A.S. Bommarius und B. R. Riebel: *Biocatalysis – Fundamentals and Applications*. Wiley-VCH, Weinheim 2004, ISBN 978-3527-30344-1
- Garabed Antranikian: *Angewandte Mikrobiologie*, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, ISBN 3-540-24083-7

Referenzen

[1] T. Anthonsen: *Reactions Catalyzed by Enzymes.* In P. Adlercreutz. P. und A. J. J. Straathof (Hrsg.): *Applied Biocatalysis*, 2. Auflage, Harwood Academic Publishers 1999, S. 18-53

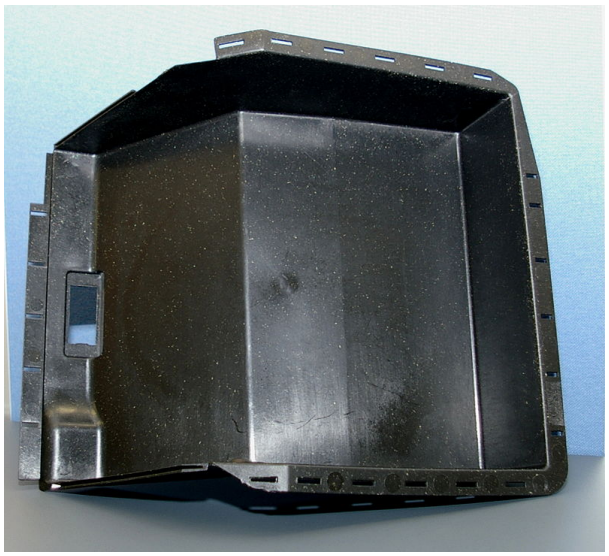
[2] K. Faber: *Biotransformations in Organic Chemistry*, 4. Auflage, Springer-Verlag Berlin 2000.

[3] Jayasinghe L. Y., Smallridge A. J., and Trewhella M. A.: *The yeast mediated reduction of ethyl acetoacetate in petroleum ether*. In: *Tetrahedron Letters*. 34, Nr. 24, 1993, S. 3949. doi: 10.1016/S0040-4039(00)79272-0 (http://dx.doi.org/10.1016/S0040-4039(00)79272-0).

Biokomposit

Biokomposite ***oder*** **'Bioverbundwerkstoffe** sind Verbundwerkstoffe mit einer biogenen Komponente. Drei Varianten kommen in Frage:

- Verbunde aus Naturfasern und traditionellen Polymeren und anderen Matrixmaterialien,
- Verbunde aus synthetischen Fasern und Biopolymeren und
- Verbunde aus Naturfasern und Biopolymern.



Handschuhfach aus hanffaserverstärktem Kunststoff (Matrix Polypropylen PP)

Biokomposite werden schon seit Jahrhunderten zum Beispiel in Form von strohverstärkten Lehmziegeln eingesetzt. Seit dem Ende des 20. Jahrhunderts werden sie auch verstärkt für industrielle Anwendungen verwendet. Hier kommen vor allem Naturfaserverbundwerkstoffe und die sogenannten Wood Plastic Composites zum Einsatz, die sich die Vorteile von Naturfasern im Vergleich zu traditionellen Verstärkungs- und Füllmaterialien zu Nutze machen. Dies sind, neben ihrer Nachhaltigkeit und der damit verbundenen Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen, ihre CO_2-Neutralität, aber auch ihre physikalischen Eigenschaften wie ihre geringe Dichte und eine hohe Festigkeit und Steifigkeit.

Neben erdölbasierten Polymeren, wie zum Beispiel Polypropylen und Polyethylen oder auch Epoxidharzen, werden in den letzten Jahren auch verstärkt Biopolymere als Matrixwerkstoff eingesetzt. Zu nennen sind vor allem das auf Maisstärke basierende PLA, aber auch aus Palmöl hergestellte Harze oder Stärke kommen zum Einsatz. Diese Werkstoffe besitzen einige weitere Vorteile im Vergleich zu naturfaserverstärkten erdölbasierten Polymeren. So sind sie in der Regel vollständig biologisch abbaubar und ihre Herstellungskosten, mit Ausnahme der im Herstellungsprozess eingesetzten Energiemengen, unabhängig vom Erdölpreis. Zudem weisen sie eine deutlich bessere CO_2-Bilanz auf. Diese Werkstoffe können auch in biomedizinischen Anwendungen oder in Kontakt mit Nahrungsmitteln eingesetzt werden.

Literatur

- Amar K. Mohanty, Manjusri Misra, Lawrence T. Drzal (Hrsg.): *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL 2005, ISBN 084931741X
- K. L. Pickering (Hrsg.): *Properties and performance of natural-fibre composites*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 2008, 1. Auflage, ISBN 9781845692674
- P.A. Fowler, J.M. Hughes & R.M Elias: *Review Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces*, Journal of the Science of the Food and Agriculture Ausgabe 86, 2006, S. 1781-1789

Biokonversion



Gärbehälter zur Weinherstellung

Als **Biokonversion** (altgr. βίος *bíos* „Leben“ und lat. *conversio* „Umwendung“, „Umkehr“) bezeichnet man die Umwandlung (Konversion), meist von organischen Verbindungen (Biomasse), in energetisch oder stofflich nutzbare Produkte. Die Umwandlung erfolgt durch Organismen, meist Mikroorganismen, oder durch isolierte Enzyme oder Enzymsysteme (Stoffwechselwege). Es werden vor allem biotechnologische Prozesse wie die Fermentation (Biogasherstellung, Industrielle Biotechnologie) sowie die enzymatische Umwandlung angewendet. Auch in Anwendungen, die nicht oder nicht eindeutig der Biotechnologie zuzuordnen sind, findet Biokonversation statt, wie z. B. beim Backen von Brot oder der Sauerkrautherstellung (Ethanol- und Milchsäuregärung).

Gelegentlich wird der Begriff Biokonversion als Synonym für Biokatalyse und Biotransformation verwendet. Teilweise erfolgt aber auch eine Unterscheidung, bei der die Biokonversion als Teilbereich der Biokatalyse eingeordnet wird.[1]

Biochemie



Grasschnitt für Futterzwecke wird durch Milchsäuregärung konserviert (Silierung)

Bei einer Biokonversation findet eine chemische Reaktion statt, die von den isolierten oder in den jeweils verwendeten Organismen vorhandenen Enzymen katalysiert wird. Es lassen sich verschiedene Typen der Biokonversation klassifizieren, die sich durch das Prinzip unterscheiden, nachdem das interessierende Produkt gebildet wird.

Stoffwechselabfälle

Die ersten Anwendungen von Biokonversionen durch den Mensch fanden bereits vor Jahrtausenden statt. So wurde bereits früh die Ethanolgärung zur Bier- und Weinherstellung und die Milchsäuregärung z. B. zur Konservierung von Milch durch Ansäuerung (Joghurt, Kefir) genutzt. Bei diesen Anwendungen werden Mikroorganismen (Hefen, Bakterien) verwendet, die organische Verbindungen (überwiegend Zucker) vor allem für die Energiebereitstellung (Katabolismus) umsetzen. Da diese Umsetzung

unter anaeroben (sauerstofffreien) Bedingungen oder durch anaerobe Organsimen stattfinden, erfolgt keine vollständige Umsetzung der organischen Verbindungen (vor allem zu CO_2 und H_2O), sondern zu organischen Verbindungen, wie Ethanol (Alkohol) und Milchsäure.[2]

Nicht nur in der Lebensmittelindustrie, sondern auch für die stoffliche und energetische Anwendung, wie z. B. als Rohstoff zur Biokunststoffherstellung (Polylactide aus Milchsäure) oder Biokraftstoff (z. B. sogenanntes Bioethanol als Benzinersatz oder -beimischung) findet eine Biokonversation sogenannter nachwachsender Rohstoffe statt.

Viele weitere Produkte werden nach diesem Prinzip gewonnen:

- Aceton
- Propandiole
- Carbonsäuren wie Essigsäure (Acetat), Bernsteinsäure(Succinat) und Milchsäure (Lactat)
- Biogas



Bioreaktor (Fermenter) im Labormaßstab

Stoffwechselprodukte

Aus organischen Verbindungen bzw. bestimmten anorganischen Verbindungen können heterotrophe bzw. autotrophe Lebewesen Verbindungen synthetisieren, die als Baustoff für die Zelle dienen (Anabolismus). Diese Syntheseleistung ist eine Form der Biokonversation, die für verschiedene Zwecke verwendet wird. Beispiele sind die Herstellung von Antibiotika wie z. B. Penicillin mit dem Pilz *Penicillium chrysogenum*, von Glutaminsäure (Aminosäuren) mit dem Bakterium *Corynebacterium glutamicum* oder des Peptids Insulin im Bakterium *Escherichia coli*.



Bioreaktor zur bakteriellen Herstellung von Vakzinen

Die Synthese von Verbindungen wie Penicillin ist energieaufwändig, weshalb sie von den Organismen nur in geringer Menge hergestellt werden. Durch Zucht und Selektion sowie die Wahl bestimmter Bedingungen bei der Kultivierung kann die Ausbeute deutlich erhöht werden. Weitere Möglichkeiten sind das Veränderung von Stoffwechselwegen (Metabolic Engineering) oder das Einbringen von neuen Stoffwechselwegen aus anderen Organismen mittels Gentechnik. Zur Herstellung von Insulin wurde beispielsweise das menschliche Gen in Bakterien übertragen.

Die Herstellung erfolgt meist unter sterilen Bedingungen in einem Fermenter, da Kontaminationen den Prozess stören könnten. Zudem erfordern pharmazeutische Produkte wie Insulin eine hohe Reinheit.

Stoffwechselleistung

Stoffwechselleistungen von Lebewesen können genutzt werden, um z. B. toxische oder geruchsintensive Verbindungen abzubauen oder Abwasser belastende Stoffe, wie z. B. Stickstoffverbindungen, zu binden. Anwendung findet dies z. B. bei verseuchten Böden, bei der Behandlung von Abluft in Biofiltern oder dem Fixieren von im Wasser gelösten Stickstoff- und Phosphorverbindungen während der Behandlung in einem Klärwerk.

Produkte isolierter Enzyme

Isolierte Enzyme und Enzymsysteme können bestimmte Reaktionen katalysieren. Beispielsweise wird das Lab - ein Gemisch verschiedener Enzyme - aus Kälbermägen gewonnen und bei der Käseherstellung verwendet. Auch bei der Herstellung von Leder können verschiedene Enzyme eine Rolle spielen. In Waschmitteln kommen unter anderem fett- und proteinabbauende Enzyme (Lipasen bzw. Proteasen) vor.

Klassifizierung nach Anwendungsbereich

(siehe auch Artikel Biotechnologie)

In der Biotechnologie erfolgt in der Regel keine Klassifizierung nach dem Prinzip der Biokonversion sondern nach dem Anwendungsbereich. So werden in der Weißen Biotechnologie, auch als Industrielle Biotechnologie bezeichnet, alle genannten Prinzipien angewandt. Daneben gibt es die Rote Biotechnologie (medizinische Biotechnologie) und die Grüne Biotechnologie (Pflanzenbiotechnologie). Weitere, bisher weniger klar definierte Biotechnologien sind die Graue Biotechnologie und die Blaue Biotechnologie. Andere Farben (Braune und Gelbe Biotechnologie) werden gelegentlich verwendet, sind aber nicht klar zugeordnet. Über Biokonversionen hinaus können Biotechnologien auch weiter Anwendungen umfassen, bei denen ebenfalls chemische Reaktionen stattfinden. Die Reaktion bzw. das erzeugte Produkt stehen jedoch nicht im Vordergrund, wie z. B. bei diagnostische Methoden der Roten Biotechnologie.

Bedeutung

Die Biokonversion spielt eine wichtige Rolle in vielen technischen Verfahren. Sie ermöglicht die Erzeugung von Verbindungen, die mit anderen Methoden nicht synthetisierbar sind. In der chemischen Industrie werden gelegentlich chemische Verfahren auf Biokonversion (biochemische Verfahren) umgestellt, da diese oft weniger extreme Bedingungen benötigt und so Energie und Chemikalien eingespart werden können. Bei der Nutzbarmachung von nachwachsenden Rohstoffen kommen klassische und neue Verfahren zur Anwendung. Große Mengen Ethanol werden aus Zucker und Stärke gewonnen.



Die Ethanolgärung wird im großindustriellen Maßstab zur Treibstoffherstellung eingesetzt.

Durch neue Verfahren der Biokonversion sollen bisher nicht als Treibstoff nutzbare Anteile der Biomasse, wie das lignocellulosehaltige Stroh und Holz, als Cellulose-Ethanol oder Cellulose-Butanol erschlossen werden. Ein weiterer Ansatz ist die Synthesegas-Fermentation, bei der Biomasse über eine Biomassevergasung in Synthesegas umgewandelt und anschließend in einer Fermentation in nutzbare Alkohole und andere Chemikalien umgewandelt. Da Cellulose einen großen Anteil der Biomasse ausmacht, bietet sie ein großes, bisher kaum genutztes Potential für die Bereitstellung von Energie und Rohstoffen.

Literatur

- B. Kamm, P. Gruber, M. Kamm: *Biorefineries – Industrial Processes and Products.* Wiley-VCH, Weinheim 2006; u.a. S. 104, ISBN 978-3-527-31027-2.
- Garabed Antranikian: *Angewandte Mikrobiologie*, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, ISBN 3-540-24083-7

Siehe auch

- Zucker als nachwachsender Rohstoff
- Stärke als nachwachsender Rohstoff
- Bioraffinerie

Referenzen

[1] Glossar (http://www.ufz.de/index.php?de=12245#b) auf der Seite des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ), abgerufen am 10.01.2020

[2] Garabed Antranikian: "Angewandte Mikrobiologie", 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, ISBN 3-540-24083-7

Biokraftstoff

Biokraftstoffe (auch Biotreibstoffe, Agrotreibstoffe) sind eine Form der Bioenergie. Es handelt sich um flüssige oder gasförmige Kraftstoffe, die aus Biomasse hergestellt werden. Sie kommen für den Betrieb von Verbrennungsmotoren in mobilen und stationären Anwendungen zum Einsatz. Ausgangsstoffe der Biokraftstoffe sind Nachwachsende Rohstoffe, wie z. B. Ölpflanzen, Getreide, Zuckerrüben oder -rohr, Wald- und Restholz, Holz aus Schnellwuchsplantagen, spezielle Energiepflanzen und anderes.

Die EU-Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare-Energien-Richtlinie) (Nachfolger der Richtlinie 2003/30/EG) beschreibt und regelt die Verwendung von Biokraftstoffen in Europa. Ein wichtiger Aspekt ist die Kontrolle der Nachhaltigkeit, die bei Biokraftstoffen regelmäßig in der Diskussion ist. Die Umsetzung in deutsches Recht erfolgte mit der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung. Eine Beimischungsquote von 10 % zu den fossilen Kraftstoffen bis 2020 hat zu erfolgen.

Biokraftstoffe können die fossilen Kraftstoffe Diesel, Benzin und Erdgas substituieren. Teilweise müssen Motoren und/oder Kraftstoffsysteme an die Biokraftstoffe angepasst werden. Biokraftstoffe werden entweder in Reinform oder als Beimischungen zu fossilen Kraftstoffen verwendet.

Es werden unter anderem folgende Arten von Biokraftstoffen unterschieden: Pflanzenöl-Kraftstoff, Biodiesel, Bioethanol, Biomethan und synthetische Biokraftstoffe (Biomass-to-Liquid).

Biokraftstoffarten

Es werden häufig Biokraftstoffe der erste und zweiten, gelegentlich auch der dritten Generation, voneinander unterschieden. Für die Erzeugung von Kraftstoffe der ersten Generation kann nur ein kleiner Teil der Pflanze (Öl, Zucker, Stärke) genutzt werden. Bei Kraftstoffen der zweiten Generation wird fast die vollständige Pflanze, z. T. einschließlich der schwer zugänglichen Cellulose, verwendet. Bei Algenkraftstoff wird auch von Kraftstoff der dritten Generation



Rapsfelder, in Deutschland ist Rapsöl für die Biokraftstoffherstellung bedeutend

gesprochen, da Algen eine deutlich höhere Biomasse-Produktivität pro Fläche aufweisen als Pflanzen. Kraftstoffe der zweiten und dritten Generation erfordern einen meist deutlich höheren technischen und finanziellen Aufwand und können daher bisher, außer Biomethan, noch nicht wirtschaftlich erzeugt werden.

Wichtige Faktoren bei der Bewertung des Potentials und der Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen ist der Ertrag (Äquivalente fossiler Kraftstoffe) und der Preis:



Zuckerrohrplantage, in Brasilien ist Bioethanol aus Rohrzucker der bedeutendste Biokraftstoff

Biokraftstoff	**Ertrag/ha**	**Kraftstoffäquivalenz [l][1] [2]**	**Kraftstoffäquivalent pro Fläche [l/ha][3]**	**Preis [cent]**	**Preis Kraftstoff-äquivalent [cent/l][4]**		**Fahrleistung [km/ha][1] [5]**
Pflanzenöl (Rapsöl)	1590 l[1]	0,96	1526	98,1/l (11/2009)[6]	102,2		23300 + 17600[7]
Biodiesel (Rapsmethylester)	1550 l[8]	0,91	1411	107,9/l (KW 49/2009)[9]	118,6		23300 + 17600[7]
Bioethanol (Weizen)	2760 l[1]	0,65	1794	93,2/l (E85, 11/2009)[10]	133,1		22400 + 14400[7]
Biomethan	3540 kg[8]	1,4	4956	93/kg (06/2008)[11]	66,4		67600
BtL	4030 l[8]	0,97[12]	3909	nicht am Markt	k.a		64000

|+ Vergleich von Biokraftstoffen in Deutschland

[1] - Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland, Stand Oktober 2009 (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174-basisdaten_biokraftstoff.pdf) Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2009, 14-seitige Broschüre, als pdf verfügbar

[2] 1 l Biokraftstoff bzw. 1 kg Biomethan entspricht dieser Menge konventionellen Kraftstoffs

[3] ohne Nebenprodukte

[4] Preis für die Menge Biokraftstoff, die äquivalent zu 1 l konventionellem Kraftstoff ist

[5] separate Berechnung, nicht auf den anderen Daten basierend

[6] - Preisentwicklung von Rapsöl als Kraftstoff (http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/pflaoelpreise.html), CARMEN e.V., aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009

[7] mit Biomethan aus Nebenprodukten Rapskuchen/ Schlempe/ Stroh

[8] Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland, Stand Januar 2008 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2008, Broschüre, wegen aktualisierter Version nicht mehr als pdf verfügbar

[9] - Preisentwicklung von Biodiesel (http://www.ufop.de/1299.php), UFOP, aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009

[10] - Preisentwicklung von Bioethanol E85 (http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/biotreibstoffe/ethanol/preis/index.htm), CARMEN e.V., aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009

[11] Biogastankstelle Jameln

[12] auf Basis von FT-Kraftstoffen

Biokraftstoffe der ersten Generation

Pflanzenöl

(Hauptartikel: Pflanzenöl-Kraftstoff)

Pflanzenöl-Kraftstoff besteht aus unbehandeltem oder raffiniertem Pflanzenöl in Reinform. Seine Eigenschaften sind in der Vornorm DIN 51605 beschrieben. In Deutschland ist der Grundstoff in der Regel Rapsöl (Rapsölkraftstoff). In den chemischen Eigenschaften unterscheidet es sich vom Dieselkraftstoff, weshalb eine Anpassung der Motoren an diesen Kraftstoff erforderlich ist. Die Herstellung von Pflanzenöl erfolgt sowohl großtechnisch (Ölextraktion) als auch in kleineren, dezentralen Ölmühlen (Kaltpressung).

Biodiesel

(Hauptartikel: Biodiesel)

Biodiesel ist ein Fettsäuremethylester (FAME), der aus Pflanzenölen hergestellt wird. Seine Eigenschaften sind in der Norm DIN EN 14214 beschrieben. Mit Biodiesel kann Dieselkraftstoff substituiert werden. In Deutschland ist der Grundstoff meistens Rapsöl, deshalb wird Biodiesel oft als RME (Rapsöl-Methylester) bezeichnet. Biodiesel ist in seinen chemischen Eigenschaften an diejenigen des Dieselkraftstoffes angepasst worden. Die Herstellung von Biodiesel erfolgt in der Regel in großtechnischen Anlagen.

Bioethanol

(Hauptartikel: Bioethanol)

Bioethanol (Ethanol, "Alkohol") wird durch Vergärung biogener Rohstoffe und anschließende Destillation hergestellt. Eine Qualitätsbeschreibung liegt seit August 2008 mit der DIN 51625 vor. Mit Bioethanol kann Benzin substituiert werden. In Deutschland wird für die Herstellung von Bioethanol meist Getreide, Mais und Zuckerrübe verwendet. In Brasilien deckt Ethanol aus Zuckerrohr einen großen Teil des nationalen Treibstoffbedarfs. Die chemischen Eigenschaften unterscheiden sich vom Benzin, weshalb eine Anpassung der Fahrzeugmotoren erforderlich ist. Sogenannte Flexible Fuel Vehicle beispielsweise werden mit einem Gemisch aus 85% Ethanol und 15% Benzin betrieben.

Biokraftstoffe der zweiten Generation

Biomethan

(Hauptartikel: Biomethan)

Biomethan ("Bioerdgas") wird aus dem Vorprodukt Biogas hergestellt. Für die Erzeugung von Biogas kommen in der Regel Energiepflanzen, Gülle und/oder organische Reststoffe als Gärsubstrate zum Einsatz. Bei der nachgeschalteten Aufbereitung zu Biomethan werden unter anderem die Bestandteile Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff aus dem Biogas entfernt und das verbleibende Produkt verdichtet (Biogasaufbereitung). Eine Qualitätsbeschreibung liegt mit der technischen Regel G 260 des DVGW seit Mai 2008 vor. Mit Biomethan kann Benzin oder Erdgas substituiert werden. Fahrzeuge, die für den Einsatz von reinem oder bivalentem Erdgasbetrieb umgerüstet sind, können mit Biomethan betrieben werden.

BtL-Kraftstoff

(Hauptartikel: BtL)

BtL-Kraftstoffe (Biomass-to-Liquid, synthetische Biokraftstoffe) können aus verschiedenen organischen Rohstoffen hergestellt werden. Sie gehören zur Gruppe der synthetischen Kraftstoffe (XtL-Kraftstoffe). BtL-Kraftstoffe können auf die jeweiligen Erfordernisse moderner Motoren zugeschnitten werden und beispielsweise Dieselkraftstoff ersetzen. BtL-Kraftstoffe sind noch im Entwicklungsstadium und noch nicht auf dem Markt erhältlich.

Cellulose-Ethanol

(Hauptartikel: Cellulose-Ethanol)

Cellulose-Ethanol ist chemisch identisch mit Bioethanol bzw. Ethanol. Als Rohstoff wird jedoch Cellulose eingesetzt. Diese macht einen großen Anteil der Biomasse aus, kann aber bisher wegen ihrer schlechten enzymatischen Zugänglichkeit nicht genutzt werden. Aktuell wird versucht, Verfahren zu entwickeln, mit denen auch aus Pflanzenresten, wie Stroh oder aus Holz, der Kraftstoff Ethanol wirtschaftlich gewonnen werden kann.

Biokraftstoff der dritten Generation

"Bio-Kerosin"

(siehe auch Artikel: Algenkraftstoff)

"Bio-Kerosin" ist ein Kraftstoff, der das Kerosin auf der Basis fossiler Kraftstoffe ersetzen soll. Dieser Kraftstoff wird von der Luftfahrtindustrie entwickelt. Grundlage sind verschiedene Pflanzenöle, z. B. Raps- oder Jatrophaöl. Auch Algen mit hohem Ölanteil werden als Grundlage für zukünftige Entwicklungen diskutiert. Die Planer gehen davon aus, dass "Bio-Kerosin" frühestens ab dem Jahr 2015 als Regeltreibstoff zum Einsatz kommen kann; ein erster Testflug mit Biodiesel auf der Grundlage von Jatropha in der zivilen Luftfahrt fand im Januar 2009 durch die Air New Zealand statt.

Weitere Biokraftstoffe

Eine Reihe weiterer Stoffe gelten gemäß der EU-Richtlinie 2003/30/EG als Biokraftstoffe, haben aber in der Praxis eine untergeordnete Bedeutung:

- Biomethanol (Methanol aus Biomasse)
- Biodimethylether (DME; Dimethylether aus Biomasse)
- Bio-ETBE (Ethyl-Tertiär-Butylether auf Grundlage von Bioethanol)
- Bio-MTBE (Methyl-Tertiär-Butylether auf Grundlage von Biomethanol)
- Biowasserstoff (Wasserstoff aus Biomasse)
- Biobutanol (Butanol aus Biomasse)

Aktuelle Bedeutung und Perspektive der Biokraftstoffe

Die zukünftige Bedeutung von Biokraftstoffen hängt unter anderem von folgenden Faktoren ab:

- **Preisentwicklung bei den fossilen Kraftstoffen**: Steigende Preise für konventionelle Kraftstoffe erhöhen z. B. die Konkurrenzfähigkeit von Biokraftstoffen.
- **politische Rahmenbedingungen**: Durch Erlassung von Gesetzen, wie z. B. das Biokraftstoffquotengesetz, kann eine Förderung erfolgen.
- **Besteuerung**: Biokraftstoffe unterliegen bei reiner Verwendung einer Steuerermäßigung nach dem Energiesteuergesetz. Teilweise wird die Ermäßigung sukzessiv aufgehoben.
- **regionale und globale Rohstoffpotenziale**: Die Größen der nutzbaren Potentiale bestimmen die zukünftige Bedeutung der Biokraftstoffe. Die Größe der Potentiale wiederum wird von vielen Faktoren beeinflusst (*siehe*

Artikel Biomassepotential).

- **Rohstoffpreise**: Die Rohstoffpreise schwanken z. T. sehr stark. Landwirtschaftliche Produkte können sich, beispielsweise in schlechten Erntejahren, stark verteuern.
- **Herstellungskosten**: Durch neue und weiterentwickelte Verfahren können sich die Produktionskosten verringern. Größere Produktionsmengen haben in der Regel den gleichen Effekt.

Einige Biokraftstoffe können auch regional in dezentralen, kleinen Produktionsanlagen wirtschaftlich hergestellt werden, wie z. B. Pflanzenöl und Bioethanol auf landwirtschaftlichen Betrieben bzw. in kleinen Alkoholbrennereien. Aber auch in Großanlagen werden sie gewonnen. Anlagen zur Produktion von Biodiesel und BtL-Kraftstoff dagegen sind in Errichtung und Betrieb komplexer und erfordern größere, überregionale Produktionseinheiten.

Biokraftstoffe kommen als Reinkraftstoffe und als Beimischungen zu fossilen Kraftstoffen zum Einsatz. Innerhalb der Europäischen Union werden verbindliche Ziele für den Anteil von Biokraftstoffen am Energiemix des Transportsektors diskutiert. Mit der EU-Richtlinie 2003/30/EG wurden Beimischungen von 2 % bis 2005, 2,75 % bis 2006 und 5,75 % bis 2010 gefordert. Wegen der mangelnden Umsetzung wurde in der EU-Richtlinie 2009/28/EG (Biokraftstoffrichtlinie) ein verbindlicher Wert von 10 % bis 2020 festgelegt. Gemäß dem Biokraftstoffquotengesetz müssen in Deutschland derzeit (2009) fossilen Kraftstoffen 5,25% Biokraftstoffe beigemischt werden, bezogen auf den Energiegehalt des Kraftstoffs.

Die Besteuerung von Biokraftstoffen ist in Deutschland im § 50 des Energiesteuergesetzes geregelt. Als Beimischung in fossilen Kraftstoffen unterliegen Biokraftstoffe dem vollen Steuersatz für Kraftstoffe. Für reine Biokraftstoffe dagegen ist die Energiesteuer reduziert. Für Bioethanol und Biomethan gilt eine komplette Steuerermäßigung. Für Pflanzenöl-Kraftstoff und Biodiesel muss ein Steueranteil gezahlt werden, der jährlich ansteigt, bis der volle Steuersatz für fossile Kraftstoffe erreicht ist. Die Besteuerung der zuvor steuerbefreiten Biokraftstoffe (ursprünglich bis 2009 Mineralölsteuerbefreiung, ab 2010 von der nachfolgenden Energiesteuer befreit) ab August 2006 war zunächst umstritten. Die Wirtschaftlichkeit vieler Produktionsanlagen war dadurch nicht mehr gegeben. Durch das Bundesverfassungsgericht wurde allerdings die Rechtmäßigkeit der Besteuerung festgestellt.[1]

Bewertung von Biokraftstoffen

(siehe Artikel Bioenergie)

Konkurrenz zur Bereitstellung von Lebensmitteln

Bei den Biokraftstoffen werden ähnliche Vor- und Nachteile wie bei anderen Bioenergien gesehen. In der Diskussion sind insbesondere die Nutzungs- und Flächenkonkurrenz. Nutzungskonkurrenz wird vor allem bei der Verwendung von potentiellen Nahrungsmitteln (Mais, Getreide, etc.) für die Kraftstofferzeugung gesehen. Vorübergehend gestiegene Preise für landwirtschaftliche Produkte im Jahr 2007 wurden als Folge des Ausbaus der Biokraftstofferzeugung gesehen. Verschiedene Quellen belegen allerdings, dass die Ursachen multifaktorell waren (Ernteausfälle, hohe Energiepreise, Börsenspekulationen, etc.).[2] [3] [4] [5] Derzeit wird nur ein geringer Teil der landwirtschaftlichen Produktion für die Biokraftstofferzeugung verwendet. Bei anhaltend starkem Ausbau ist aber zukünftig mit einer wachsenden Nutzungskonkurrenz zu anderen Anwendungen zu rechnen.[4] [6] Höhere Preise für landwirtschaftliche Produkte werden aber auch als positiv für die Landwirtschaft - insbesondere in Entwicklungsländern - gesehen. Derzeit ist die heimische Produktion oft nicht konkurrenzfähig gegenüber billigen Agrarimporten aus Industrieländern, so dass Landwirte erwerbslos werden.[7] [4] Durch Nutzung von degradierten Flächen soll eine Verringerung der Flächenkonkurrenz möglich sein.[8] In der EU wird durch verschiedene Maßnahmen versucht, die Nutzungskonkurrenz zu verringern. So wurde die Flächenstilllegung aufgehoben und die Förderung der Entwicklung von Treibstoffen aus pflanzlichen Abfällen intensiviert (Cellulose-Ethanol, BtL-Kraftstoff). Das Biomassepotential ist so begrenzt, dass durch Rapsanbau auf der gesamten deutschen Anbaufläche nur 10 % des Kraftstoffbedarfs gedeckt werden könnte. Eine intensivere Nutzung von Holz in

Verbrennungsanlagen könnte immerhin 10 % des deutschen Gesamtenergiebedarfs decken. {Quelle?}

Umwelt- und Klimabilanz

(siehe Artikel Bioenergie)



Die Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen aus den Früchten der Ölpalme ist in der Diskussion.

Pflanzen nehmen während des Wachstums das Treibhausgas CO_2 auf. Bei der Zersetzung oder Verbrennung der Biomasse wird nur die gebundene Menge frei, so dass der Kohlenstoff-Kreislauf geschlossen, und die CO_2-Bilanz somit neutral ist. Beim intensiven Pflanzenanbau werden große Mengen an fossilem Treibstoff benötigt, welcher die Klimabilanz verschlechtert. Bei der energieintensiven Produktion des in großen Mengen benötigten Stickstoff-Düngers (Haber-Bosch-Verfahren) werden ebenfalls große Mengen CO_2 freigesetzt. Auf landwirtschaftlichen Flächen führt die Verwendung des Düngers zu Emissionen des starken Treibhausgases Lachgas (Distickstoffoxid N_2O). Das Treibhauspotential ist fast 300-fach stärker als das von Kohlendioxid. Dadurch kann die Klimabilanz von Biokraftstoff schlechter als bei fossilen Kraftstoffen ausfallen oder zu nur geringen Einsparungen führen. Zudem ist Lachgas maßgeblich an der Zerstörung der Ozonschicht beteiligt.[9] [10] Bei optimiertem Anbau sind beispielsweise bei der Rapsdiesel- bzw. Bioethanolerzeugung jedoch Einsparungen von etwa 50, 60 oder 70 % (Raps, Mais, Zuckerrohr) denkbar.[11] [12] [13] [14] Für Biodiesel berechnen Studien ebenfalls eine positive Klimabilanz. 25 bis 80 % Treibhausgasminderung gegenüber fossilen Kraftstoffen sind möglich, abhängig von Rohstoffbereitstellung, Herstellungsverfahren und Qualität der verfügbaren Daten.[15] [16] Weiter Studien kommen zu dem Schluss, dass nachhaltigere Anbaumethoden, die Nutzung von organischen Rest- und Abfallstoffen und die bevorzugte Erzeugung von Biokraftstoffen mit geringem Herstellungsaufwand (z. B. Pflanzenöl und Biogas) die Klimabilanz deutlich verbessern können.[17] [18] [19] [20] Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Art der genutzten Anbauflächen. Die Erschließung von Regenwald oder Torfmooren für die Energiepflanzenanbau ist sehr negativ, die Nutzung von degradierten Böden positiv für die Klimabilanz.[21] In Zukunft wird eine stärkere Nutzung von unkonventionellen Ölressourcen (z. B. Ölschiefer, Ölsande) erwartet. Deren CO_2-Bilanz ist deutlich schlechter als bei konventionellem Öl, so dass die Treibhausgaseinsparung von Biokraftstoffen gegenüber fossilen Kraftstoffen zunehmen wird.[22]

Seit einigen Jahren steht Biodiesel in der Kritik, da für die Produktion Palmöl verwendet wird. Für die Einrichtung von Palmölplantagen werden häufig Regenwaldflächen brandgerodet. Diese stellen eine Klimagassenke dar und beherbergen eine große Biodiversität.[23] Dagegen wird argumentiert, dass in Mittel- und Nordeuropa Palmöl energetisch nicht nutzbar sei, da der Treibstoff sich bei niedrigen Temperaturen verfestigt und da nur 5 % der Palmölproduktion energetisch genutzt wird.[24]

Nachhaltigkeit

Durch die seit August 2009 in Deutschland gültige Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV) bzw. seit September 2009 gültige Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV) soll eine nachhaltige Produktion sichergestellt werden. Grundlage der Verordnungen sind entsprechende Anforderungen gemäß der EU-Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare-Energien-Richtlinie).[25] Mit der Biokraft-NachV soll sichergestellt werden, dass flüssige Biomasse, die zur Stromerzeugung eingesetzt und nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet wird, nur unter Beachtung verbindlicher ökologischer und sozialer Nachhaltigkeitsstandards hergestellt wird. Nicht nachhaltig hergestellte Biomasse soll künftig nicht mehr nach dem EEG vergütet werden. Der Nachweis, dass die Nachhaltigkeitsanforderungen erfüllt werden, ist durch ein Zertifizierungsverfahren (Zertifizierung (Biomasse))zu erbringen. Die Ausstellung ist an die Einhaltung anerkannter Zertifizierungssysteme gebunden und

wird von unabhängigen Zertifizierungsstellen überwacht. Eines der von der deutschen Bundesregierung in Zusammenarbeit mit dem Meo consulting team (http:/ / www. meo-consulting. com/) vorgestellten Zertifizierungsverfahren ist das ISCC-Project (International Sustainability and Carbon Certification) (http://www. iscc-project.org/).

Literatur

- Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V.: *SYNTHETISCHE BIOKRAFTSTOFFE. Techniken - Potentiale - Perspektiven 2005.* Landwirtschaftsverlag Münster. Band 25 aus der Reihe *Nachwachsende Rohstoffe*, ISBN 3-7843-3346-X
- Michael Weitz: *Biokraftstoffe - Potenzial, Zukunftsszenarien und Herstellungsverfahren im wirtschaftlichen Vergleich*, Diplomica Verlag, CT Salzwasser-Verlag, Oktober 2006, ISBN 978-3-8324-9352-3
- Lorenzo Cotula, Nat Dyer, Sonja Vermeulen: *Fuelling exclusion? The biofuels boom and poor people's access to land* (http://www.iied.org/pubs/display.php?o=12551IIED), International Institute for Environment and Development, FAO, 2008, ISBN 978-1-84369-702-2

Weblinks

- Bundesverband BioEnergie (http://www.bioenergie.de/)
- Fördergesellschaft nachhaltige Biogas- und Bioenergienutzung (http://www.fnbb.eu)
- Verband der deutschen Biokraftstoffindustrie (http://www.biokraftstoffverband.de)
- Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen (http://www.ufop.de/)
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe: *Portal Biokraftstoffe* (http://www.bio-kraftstoffe.info/)
- Umweltinstitut München zu Biokraftstoffen (http://umweltinstitut.org/faq/agro-kraftstoffe/grundlagen524. html)
- Seite des Bundesumweltministeriums zu Bioenergie (http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/4593/)
- Der volle Durchblick in Sachen Bioenergie (http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/ Der_volle_Durchblick_in_Sachen_Bioenergie.pdf), Broschüre der Agentur für Erneuerbare Energien (PDF, 1,9 MB)
- Biotechnology for Biofuels (http://www.biotechnologyforbiofuels.com/) – Open Access-Journal zum Thema (englisch)
- Ökobilanz von Biotreibstoffen (http://www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/ 8514.pdf), Schlussbericht der Empa-Studie von April 2007 (PDF)

Referenzen

[1] http://www.bverfg.de/pressemitteilungen/bvg07-084.html Urteil des Bundesverfassungsgerichts zur Besteuerung von Biokraftstoffen ab 01. August 2006, erlassen am 25.07.2007

[2] Frankfurter Allgemeine Zeitung: *Ernährungskrise: Stiller Tsunami* (http://www.faz.net/s/Rub7FC5BF30C45B402F96E964EF8CE790E1/ Doc~E1942560A4E2F49EF8FD22E1CD446AA74~ATpl~Ecommon~Scontent.html), 22. April 2008

[3] http://www.nachhaltigkeitsrat.de/index.php?id=3520

[4] OECD: *Growing bio-fuel demand underpinning higher agriculture prices, says joint OECD-FAO report* (http://www.oecd.org/document/ 2/0,3343,en_2649_201185_38893378_1_1_1_1,00.html), 4. Juli 2007; bezogen auf OECD-FAO: *OECD-FAO Agricultural Outlook 2007-2016* (PDF; 779 KB (http://www.oecd.org/dataoecd/6/10/38893266.pdf))

[5] Mitchell, Donald: A Note on Rising Food Prices. April 8, 2008

[6] UN-Energy: *Sustainable Bioenergy. A Framework for Decision Makers* (S. 36 PDF; 1,01 MB (http://esa.un.org/un-energy/pdf/susdev. Biofuels.FAO.pdf))

[7] n-tv.de: *Ohne Biosprit geht es nicht, Interview mit Uwe Lahl* (http://www.n-tv.de/1130953.html), 2. April 2009

[8] Agentur für Erneuerbare Energien: Globale Bioenergienutzung – Potenziale und Nutzungspfade. Berlin 2009, S. 9

[9] *Financial Times Deutschland: Lachgas ist Ozonkiller Nummer Eins* (http://www.ftd.de/wissen/natur/ :nachfolger-der-fck-ws-lachgas-ist-ozonkiller-nummer-eins/558981.html). Financial Times Deutschland. Abgerufen am 3. September 2009.

[10] Ravishankara, A. R. et al.: *Nitrous Oxide (N2O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century.*. In: *Science*. Epub ahead of print, 2009. PMID 19713491.
[11] Süddeutsche Zeitung: *Alternative Energiequellen – Klimakiller vom Acker* (http://www.sueddeutsche.de/,ra16m3/wissen/artikel/39/134781/), 26. September 2007
[12] Die Zeit: *Ernüchternde Klimabilanz* (http://www.zeit.de/online/2007/39/Biosprit?page=all), 26. September 2007
[13] P. J. Crutzen, A. R. Mosier, K. A. Smith & W. Winiwarter: *N_2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels.* In: *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 7, 2007, S. 11191-11205 (Abstract (http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/7/11191/2007/)).
[14] P. J. Crutzen, A. R. Mosier, K. A. Smith & W. Winiwarter: *N_2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels.* In: *Atmos. Chem. Phys.* 8, 2008, S. 1389-395 (Abstract und vollständige Veröffentlichung als PDF) (http://www.atmos-chem-phys.net/8/389/2008/)).
[15] Manfred Wörgetter, Marion Lechner, Josef Rathbauer: Ökobilanz Biodiesel. Eine Studie der Bundesanstalt für Landtechnik im Auftrag des Bundesminsteriums für Land- und Forstwirtschaft. März 1999. S. 19 (http://www.co2star.eu/publications/ifeu_berichte/0435_Oekobilanz_Biodiesel_woergetter.pdf)
[16] Das Fraunhofer-Institut zu Aspekten des Einsatzes von Biodiesel (http://www.ivi.fraunhofer.de/frames/german/projects/ger_pfi_biodiesel.html)
[17] http://www.unep.fr/scp/rpanel/pdf/Assessing_Biofuels_Full_Report.pdf
[18] Edelmann et al., (2000): Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe
[19] SRU (2007), Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten
[20] R. Zah et al (2007): Ökobilanz von Energieprodukten
[21] Joseph Fargione, Jason Hill, David Tilman, Stephen Polasky, Peter Hawthorne: *Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt.* In: Science, 7. Februar 2008 ((http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/1152747v1))
[22] Gründinger, Wolfgang: Die Energiefalle. Rückblick auf das Erdölzeitalter. München 2006, Kapitel 2
[23] Scientists warn on biofuels as palm oil price jumps (http://www.reuters.com/article/gc07/idUSHKG8077020070601) (englisch) Reuters, 1. Juni 2006
[24] US Dep. of Agriculture 2008
[25] Information zur Nachhaltigkeitverordnung-Biomassestrom und -Biokraftstoff (http://www.uga.de/allgemeines/aktuelle-themen/themenordner/2009/biomasse/) Umweltgutachter-Ausschusses (UGA) des BMU, abgerufen am 25.11.2009

Biokraftstoffquotengesetz

Basisdaten	
Titel:	Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften
Kurztitel:	Biokraftstoffquotengesetz
Abkürzung:	BioKraftQuG
Art:	Bundesgesetz
Geltungsbereich:	Bundesrepublik Deutschland
Rechtsmaterie:	Umweltrecht
Datum des Gesetzes:	18. Dezember 2006 (BGBl. I S. 3180)
Inkrafttreten am:	1. Januar 2007
Bitte den Hinweis zur geltenden Gesetzesfassung beachten.	

Das **Biokraftstoffquotengesetz** (BioKraftQuG; BT-Drs 16/2709) der Bundesrepublik Deutschland heißt mit vollem Titel *Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften*. Es ist ein Artikelgesetz, in dem die Beimischung von Biokraftstoffen in den Kraftstoff für Kraftfahrzeuge in Deutschland vorgeschrieben und reguliert wird. Das Gesetz wurde am 26. Oktober 2006 im Deutschen Bundestag verabschiedet und führte erstmals zum 1. Januar 2007 eine Mindestbeimischung von Biokraftstoffen zu Motorenbenzin und Dieselkraftstoff ein.



Raps ist in Deutschland ein wichtiger Rohstofflieferant für die Biodieselherstellung

In Deutschland ist Biodiesel der bedeutendste Biokraftstoff. Daneben spielt Bioethanol als Rohstoff zur Herstellung des Additivs ETBE oder als Hauptkomponente von Ethanol-Kraftstoff (E85) sowie Pflanzenöl eine Rolle. Bei der Berechnung der Biokraftstoffquote werden Beimischungen und rein verwendete Biokraftstoffe berücksichtigt.[1]

Grundlage, Inhalt und Zweck des Gesetzes

EU-Recht

Mit dem BioKraftQuG sollen Ziele verschiedener Richtlinien der Europäischen Union (EU-Richtlinie) umgesetzt werden:

- *Richtlinie 2003/30/EG (Biokraftstoffrichtlinie) des Europarates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor*[2] , aufgehoben durch die *Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare-Energien-Richtlinie) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG* [3]
- *Richtlinie 2003/96/EG des Europarates vom 27. Oktober 2003 zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom*[4] , geändert durch die Richtlinie 2004/75/EG des Rates vom 29. April 2004[5]
- *Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft*[6] , geändert durch die Richtlinie 98/48/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juli 1998[7]

Inhalt

Das BioKraftQuG verpflichtet die Mineralölwirtschaft, einen festen und anwachsenden Mindestanteil von Biokraftstoffen in den Verkehr zu bringen. Dieser steigt jährlich um 0,25 % bis auf 8 % des Energiegehalts der gesamten in den Verkehr gebrachten Kraftstoffe im Jahre 2015 an (§ 37a Abs. 3 BImSchG). Nach der bis zum 31. Dezember 2014 umzusetzenden Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU [3] muss dieser Anteil bis zum Jahr 2020 10 % betragen. Im Gesetz ist nicht festgelegt, in welcher Form der Anteil in den Markt genommen werden soll. Vielmehr ist jeder Unternehmer, der Kraftstoffe (Motorenbenzin oder Dieselkraftstoffe) in den Verkehr bringt, verpflichtet zu gewährleisten, dass die von ihm vertriebene Menge von Kraftstoffen den für das jeweilige Jahr gesetzlich vorgesehenen Prozentsatz an Biokraftstoffen enthält. Dies kann durch Beimischung bei den vertriebenen Mineralölprodukten erfolgen, aber auch durch getrennten Vertrieb der Biokraftstoffe, auch durch zu diesem Zweck beauftragte dritte Unternehmen.[8]

Zweck

Mit der gesetzlichen Regelung soll zum einen dem Klimaschutz durch eine Verringerung der Verbrennung mineralischer Kraftstoffe Rechnung getragen werden. Zum anderen soll durch den Ausbau der Biokraftsstoffindustrie eine Basis für eine Versorgungssicherheit mit Kraftstoffen geschaffen werden. Mit dem Gesetz wurden auch die zuvor bestehenden Steuervergünstigungen für Biokraftstoffe abgeschafft, soweit sie zur Erfüllung der Quotenpflicht verwandt werden. Die Steuervergünstigungen bei Verwertung von reinen Biokraftstoffen (Biodiesel, Pflanzenöl) wird befristet. Die letzten Vergünstigungen laufen sukzessive bis 2015 aus.[8]

Zusammenhang mit anderen Gesetzen und Verordnungen

Um die Biokraftstoffquote einzuführen, wurden durch das Biokraftstoffquotengesetz die neuen §§ 37a bis 37d im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) eingefügt. Außerdem wurden verschiedene Vorschriften, hauptsächlich Steuerentlastungen, in bestehenden Gesetzesgrundlagen des Energiesteuergesetzes und des Stromsteuergesetzes geändert sowie Pflichten nach dem Mineralöldatengesetz erweitert. Kurz darauf wurden zudem Durchführungsbestimmungen durch die *Verordnung zur Durchführung der Regelungen der Biokraftstoffquote* (36. BImSchV) und die *Verordnung zur Quotenanrechnung bestimmter biogener Öle* (38. BImSchV) erlassen. Letztere Verordnung wurde jedoch kurze Zeit später wieder aufgehoben.

Kritik

Verschiedene Aspekte des BioKraftQuG werden kritisiert:

Technik

Die in § 37a Abs. 3 BImSchG festgelegten und in mehreren zeitlichen Schritten steigenden Anteile von Biokraftstoffen in Diesel- und Ottokraftstoffen sind umstritten. Es wird befürchtet, dass ein großer Teil der im Betrieb befindlichen Kraftfahrzeuge mit Ottomotoren technisch mit dem vorgeschriebenen Biokraftstoffanteil (insbesondere dem Bioethanolanteil) nicht verträglich ist.[9]

Nachhaltigkeit

(siehe Artikel Bioenergie)

Auch Umweltverbände stehen der Biokraftstoffquote teilweise kritisch gegenüber, weil der steigende Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen nicht auf deutschen Anbauflächen gedeckt werden kann. Dies kann zu Problemen wie Preisanstieg bei Nahrungs- und Futtermitteln (Flächen- und Nutzungskonkurrenz) und Vernichtung von natürlichen Lebensräumen und Verringerung der Biodiversität durch Erschließungung neuer Anbauflächen beitragen.[10] Die ab Juni 2009 gültige Erneuerbare-Energien-Richtlinie fordert eine Sicherstellung der Nachhaltigkeit, die durch die seit November 2009 bzw. ab Januar 2010 gültige Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV) auch in Deutschland gewährleistet werden soll.

Wegfall der Steuervergünstigung

(siehe auch Artikel Biokraftstoff)

Ebenfalls in der politischen Diskussion ist die stufenweise Reduzierung der Steuervergünstigungen für reine Biokraftstoffe. Problematisch aus Sicht der Befürworter der Nutzung von Biokraftstoffen sind hierbei unter anderem der Absatzeinbruch bei den betroffenen Kraftstoffen Biodiesel und Pflanzenöl-Kraftstoff durch Erhöhung der Verbraucherpreise sowie der Wegfall der wirtschaftlichen Existenzfähigkeit für die heimische Biokraftstoffbranche.[11]

Weblinks

- Bundesgesetzblatt Jahrgang 2006 Teil I Nr. 62, 21. Dezember 2006 [12] (PDF-Datei; 96 kB)
- Informationen zum Biokraftstoffquotengesetz [13] (Biokraftstoffquotenstelle beim Hauptzollamt Frankfurt (Oder))

Referenzen

[1] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): "Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland, Stand Oktober 2009", Gülzow (2009), 14-seitige Broschüre, als pdf (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174-basisdaten_biokraftstoff.pdf) erhältlich

[2] *Richtlinie 2003/30/EG der Europäischen Union zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor* (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003L0030:DE:NOT)

[3] Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DE:PDF)

[4] Richtlinie 2003/96/EG vom 27. Oktober 2003 zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003L0096:DE:NOT)

[5] Richtlinie 2004/75/EG des Rates vom 29. April 2004 (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0075:DE:NOT)

[6] Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31998L0034:DE:NOT)

[7] Richtlinie 98/48/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juli 1998 zur Änderung der Richtlinie 98/34/EG über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31998L0048:DE:NOT)

[8] [[Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (http://www.ee-direkt.de/pdf/Die aktuelle Biokraftstoff-Gesetzgebung_UFOP_Jan2007.pdf)] (UFOP): "Die aktuelle Biokraftstoff-Gesetzgebung"], Stand 01/2007, 6-seitiger Überblick, pdf

[9] http://www.bundestag.de/aktuell/archiv/2008/20087421_kw15_umwelt/index.html

[10] http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/klima/FS_Agrosprit_0803.pdf

[11] Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V., 2009: Bericht zur Steuerbegünstigung für Biodiesel als Reinkraftstoff. (http://www.ufop.de/3127.php)

Biokunststoff



Verpackung aus Biokunststoff (Celluloseacetat)

Als **Biokunststoff** oder auch **Bioplastik** (engl. *bioplastics*) werden Kunststoffe bezeichnet, die auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen erzeugt werden (bio-basierte Kunststoffe bzw. *biobased plastics*). Nach einer alternativen Definition sind Biokunststoffe alle biologisch abbaubaren Kunststoffe unabhängig von ihrer Rohstoffbasis, welche alle Kriterien zum Nachweis der biologischen Abbaubarkeit und Kompostierbarkeit von Kunststoff(produkt)en erfüllen (bio-abbaubare Kunststoffe bzw. *compostable plastics*).[1] Während die erste Definition nicht oder nur schwer abbaubare Kunststoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe einschließt, werden nach der zweiten Definition diese ausgeschlossen und biologisch abbaubare Kunststoffe auf Mineralölbasis mit eingeschlossen. Die Brockhaus-Enzyklopädie definiert Biokunststoffe als kunststoffanaloge Werkstoffe, die vollständig oder zu überwiegenden Anteilen aus Biopolymeren erzeugt und unter Anwendung der für Kunststoffe üblichen Verfahren modifiziert werden.[2]

Abzugrenzen sind Biokunststoffe von anderen Biowerkstoffen wie den Verbundwerkstoffen, zu denen etwa die Wood-Plastic-Composites gehören und bei denen biogene Anteile (Holzmehl) mit fossilen Kunststoffen oder Biokunststoffen kombiniert werden, und naturfaserverstärkten Kunststoffen. Allerdings sind auch Mischformen wie naturfaserverstärkte Biokunststoffe denkbar und werden teilweise realisiert.

Biokunststoffe werden zu Formteilen, Halbzeugen oder Folien verarbeitet. Sie dienen entsprechend ihrer Abbaueigenschaften vor allem als Material für Verpackungen, Cateringprodukte, Produkte für den Garten- und Landschaftsbau, Materialien für den medizinischen Bereich und andere kurzlebige Produkte. Auf dem internationalen Kunststoffmarkt haben Biokunststoffe derzeit einen verhältnismäßig geringen Stellenwert, der sich Prognosen zufolge jedoch in den nächsten Jahren durch neu zu erschließende Produktfelder und ihre im Vergleich geringeren Rohstoffpreise deutlich erhöhen wird. Bei einem weltweiten Verbrauch von Kunststoffen von etwa 225 Millionen Tonnen stellen die Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen mit rund 250.000 Tonnen pro Jahr einen Anteil von nur 0,1 Prozent dar,[3] für die Zukunft werden jedoch enorme Marktzugewinne für Biokunststoffe prognostiziert. Es wird geschätzt, dass unter geeigneten Bedingungen etwa 10 % der gesamten Kunststoffproduktion bzw. 70 % der Kunststoffverpackungen durch Bioplastikprodukte substituiert werden können.[4] Für die USA wird ein jährliches Wachstum des Bedarfs an bioabbaubaren Kunststoffen von mehr als 15 % bis 2012 prognostiziert, der Gesamtbedarf soll von 350.000 t auf 720.000 t pro Jahr steigen.[5]

Geschichte



Schildkröt-Puppe *Inge* aus Celluloid, 1950

Biokunststoffe waren die frühesten Massenkunststoffe, die industriell hergestellt wurden. Bereits im Jahr 1869 eröffneten die Gebrüder Hyatt die erste Fabrik zur Herstellung von Celluloid, einem thermoplastischen Kunststoff auf der Basis von Cellulose. John Wesley Hyatt erfand das Celluloid im Rahmen eines Preisausschreibens, bei dem eine preiswerte Alternative für das in Billardkugeln verwendete Elfenbein gefunden werden sollte. In der Folge wurde Celluloid für eine Reihe weiterer Verwendungen, vor allem für Filme, Brillengestelle, Spielzeug, Kämme und Tischtennisbälle eingesetzt; aufgrund seiner schnellen Entflammbarkeit wurde es allerdings rasch wieder verdrängt. Der Werkstoff Galalith (aus Casein) wurde 1897 erfunden und ähnelt stark dem tierischen Horn oder Elfenbein. Man fertigte daraus zum Beispiel Knöpfe, Anstecknadeln, Gehäuse für Radios, Zigarettendosen, Spielzeuge, Griffe für Regenschirme und vieles mehr in den verschiedensten Farben.

Im Jahr 1923 startete die Massenproduktion von Cellulosehydrat bzw. Zellglas unter dem Markennamen *Cellophan*, welches ebenfalls auf Cellulosebasis entstand und bis heute vor allem für Verpackungen sowie als Einsatz in Briefumschlägen genutzt wird. Es wurde vor allem für die Herstellung von transparenten Folien eingesetzt, wobei die Kosten für die Herstellung im Vergleich zu späteren Konkurrenten sehr hoch waren und Zellglas somit in vielen Bereichen verdrängt wurde. Aufgrund seiner Wasserempfindlichkeit wird Zellglas allerdings mit Polyvinylidenchlorid beschichtet und ist damit nicht mehr biologisch abbaubar.



Bedruckte Cellophantüte und klare Cellophanverpackung

Durch die Entdeckung von Kunststoffen auf der Basis von Mineralölen entstand schnell eine Konkurrenz, bei der die ersten Biokunststoffe weitestgehend verdrängt wurden. 1907 wurden von Leo Hendrik Baekeland die Bakelite erfunden, duroplastische Kunststoffe auf der Basis von Phenolharz. 1930 folgte Acrylglas, besser bekannt als Plexiglas, und nachfolgend kamen Polyamid (Nylon, Perlon), Polystyrol und Polytetrafluorethylen (Teflon) auf den Markt. Ab 1956 wurden schließlich großtechnische Herstellungsverfahren für die bis heute marktbeherrschenden Kunststoffe Polyethylen und Polypropylen eingeführt und Kunststoffe wurden für unterschiedlichste Einsatzgebiete mit verschiedenen Materialeigenschaften entwickelt.

Erst nach 1980 gab es wieder Innovationen im Bereich der Biokunststoffe, die vor allem auf ein verändertes ökologisches Bewusstsein zurückzuführen sind. Als Argumente wurde erneuerbare Rohstoffe und geschlossene Stoffkreisläufe angeführt, später kam die Substitution des Erdöls als Hauptrohstoff aufgrund der steigenden Erdölpreise und der Endlichkeit der Ressourcen zum Tragen. Während der Anteil neuer Patente im Bereich petrochemischer Kunststoffe in der Folge zurückging, nahmen die Patentanmeldungen für Biokunststoffe vor allem auf Stärke- und Cellulosebasis zu. Aktuell wird die Entwicklung der Biokunststoffe vor allem auf der Basis der Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung vorangetrieben. Agrarflächen zur stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen werden zukünftig als ein wesentliches Standbein der Landwirtschaft betrachtet, wobei auch neue Technologien wie die industrielle Weiße Biotechnologie eine große Rolle in der Entwicklung neuer sowie der Optimierung bestehender Technologien spielen.

Rohstoffe und Biokunststofftypen

Als Ausgangsstoffe für Biokunststoffe dienen aktuell vor allem Stärke und Cellulose als Biopolymere von Zuckern, mögliche Ausgangspflanzen sind stärkehaltige Pflanzen wie z.B. Mais oder Zuckerrüben sowie Hölzer, aus denen Cellulose gewonnen werden kann. Weitere potenzielle Rohstoffe wie Chitin und Chitosan, Lignin, Casein, Gelatine, Getreideproteine und Pflanzenöl kommen für die Herstellung von Biokunststoffen in Frage. Abhängig von ihrer Zusammensetzung, dem Herstellungsverfahren und Beimischung von Additiven ändern sich Formbarkeit, Härte, Elastizität, Bruchfestigkeit, Temperatur-, Wärmeformbeständigkeit und chemische Beständigkeit.

Stärke und Stärkeblends

→ *Hauptartikel* Thermoplastische Stärke, Stärke



Maisstärkechips als Kinderspielzeug

Mit einem Marktanteil von etwa 80 Prozent bildet thermoplastische Stärke den derzeit wichtigsten und gebräuchlichsten Vertreter der Biokunststoffe. Die wichtigsten Pflanzen, die zur Gewinnung von Stärke genutzt werden, sind aktuell Mais, Weizen und Kartoffeln in Europa, Afrika und Nordamerika sowie Tapioka in Asien. Die Rohmasse wird von Beiprodukten wie Proteinen, Pflanzenölen und Pflanzenfasern gereinigt und entsprechend für die Nutzung vorbereitet.

Reine Stärke besitzt die Eigenschaft Feuchtigkeit zu absorbieren und wird deshalb vor allem im Pharmabereich zur Erzeugung von Medikamentenkapselhüllen eingesetzt, wurde hier allerdings von der Hartgelatine weitgehend verdrängt. Um die leicht verfügbare Stärke auch thermoplastisch verarbeitbar zu machen, werden ihr natürliche Weichmacher und Plastifizierungsmittel wie Sorbit und Glycerin hinzugefügt. Diese Zusatzstoffe ermöglichen durch variierbare Dosierung eine spezifische, dem Verwendungszweck entsprechend angepasste Veränderung der Materialeigenschaften der sogenannten thermoplastischen Stärke.

Thermoplastische Stärke ist aufgrund ihrer für die Nutzung negativen Eigenschaft, Wasser aufzunehmen, im Regelfall nur eine der Komponenten, aus der moderne Biokunststoffe auf Stärkebasis hergestellt werden. Der zweite Grundbestandteil dieser Kunststoffblends besteht aus wasserabweisenden, biologisch abbaubaren Polymeren wie Polyester, Polyesteramiden, Polyurethanen oder Polyvinylalkohol. Ein Kunststoffblend setzt sich demnach aus der hydrophoben Polymerphase sowie der dispersen und hydrophilen Stärkephase. Während des Schmelzvorgangs im Extruder verbinden sich die wasserlösliche, disperse Stärkephase und die wasserunlösliche, kontinuierliche Kunststoffphase zu einem wasserfesten Stärkekunststoff. Diese Erkenntnisse bildeten die Basis für die Weiterentwicklung und den schließlichen Durchbruch der Stärkekunststoffe (EP 0596437, EP 0799335).

Stärkeblends und –compounds werden je nach Einsatzgebiet individuell für ihre weitere Nutzung in der Kunststoff verarbeitenden Industrie entwickelt und produziert. Als Kunststoffgranulate lassen sie sich auf den vorhandenen Anlagen zu Folien, tiefziehbaren Flachfolien, Spritzgussartikeln oder Beschichtungen verarbeiten. Beispiele dafür sind Tragetaschen, Joghurt- oder Trinkbecher, Pflanztöpfe, Besteck, Windelfolien, beschichtete Papiere und Pappen. Auch durch chemische Veränderung wie die Umsetzung zu Stärkeestern oder Stärkeethern mit hohem Substitutionsgrad kann Stärke thermoplastisch modifiziert werden. Diese Verfahren haben sich aber wegen der damit verbundenen hohen Kosten bislang noch nicht durchgesetzt.

Celluloseprodukte



Transparente Würfel aus Celluloseacetat

Ebenso wie die Stärke stellt auch Cellulose ein natürliches Biopolymer aus Zuckermolekülen dar. Cellulose ist in den meisten Pflanzen als Hauptstrukturbaustoff neben dem Lignin vorhanden und kann entsprechend aus Pflanzenmaterial gewonnen werden. Ihr Anteil beträgt etwa bei Baumwolle fast 95 Prozent, bei Hartholz 40 bis 75 Prozent und bei Weichholz 30 bis 50 Prozent. Entsprechend ist Cellulose nach dem Holz weltweit der bedeutendste Nachwachsende Rohstoff und es wird jährlich in Mengen von etwa 1,3 Milliarden Tonnen genutzt. Über verschiedene chemische Verfahren wird die Cellulose von Lignin und Pentosen gereinigt und zu Zellstoff, der Basis für Papier, Pappe und andere Werkstoffe wie Viskose, verarbeitet.

Für die Herstellung von Biokunststoffen auf Cellulosebasis bedarf es im Regelfall weiterer chemischer Modifizierung. Dabei wird die gereinigte Cellulose vor allem verestert, um das Celluloseacetat (CA) als wichtigsten Kunststoff auf Cellulosebasis zu gewinnen. Celluloseacetat wird den thermoplastischen Kunststoffen gezählt, ist aber entsprechend ein modifizierter Naturstoff. Schon 1919 wurde ein mit Weichmachern modifiziertes Celluloseacetat als erste Spritzgießmasse patentiert und ermöglichte damit ganz neue und sehr effektive Produktionsmethoden für Schirmgriffe, Tastaturen, Lenkrädern, Spielzeuge, Kugelschreiber und viele weitere Produkte.

Auch das Celluloid sowie das Cellophan sind Kunststoffe auf der Basis von Cellulose. Weitere Kunststoffe auf Cellulosebasis sind Vulkanfiber, Cellulosenitrat, Cellulosepropionat und Celluloseacetobutyrat.

Polymilchsäure (PLA)

→ *Hauptartikel* Polymilchsäure

Die Polymilchsäure (Polylactid, PLA) entsteht durch Polymerisation von Milchsäure, die wiederum ein Produkt der Fermentation aus Zucker und Stärke durch Milchsäurebakterien ist. Die Polymere werden nachfolgend bei der Polymerisation aus den unterschiedlichen Isomeren der Milchsäure, der D- und der L-Form, entsprechend der gewünschten Eigenschaften des resultierenden Kunststoffs gemischt. Weitere Eigenschaften können durch Copolymer wie Glykolsäure erreicht werden.



Kugelschreiber aus Polymilchsäure (PLA)

Das durchsichtige Material gleicht herkömmlichen thermoplastischen Massenkunststoffen nicht nur in seinen Eigenschaften, sondern lässt sich auch auf den vorhandenen Anlagen ohne weiteres verarbeiten. PLA und PLA-Blends werden als Granulate in verschiedenen Qualitäten für die Kunststoff verarbeitende Industrie zur Herstellung von Folien, Formteilen, Dosen, Bechern, Flaschen und sonstigen Gebrauchsgegenständen angeboten. Vor allem für kurzlebige Verpackungsfolien oder Tiefziehprodukte (z. B. Getränke- oder Joghurtbecher, Obst-, Gemüse- und Fleischschalen) birgt der Rohstoff großes Potenzial. Der Weltmarkt für das Marktsegment „Transparente Kunststoffe“ beträgt immerhin 15 Mio. Tonnen (2001). Nicht nur bei Verpackungen ist die Durchsichtigkeit positiv, auch für Anwendungen in der Bauindustrie, Technik, Optik und im Automobilbau hat sie Vorteile. Außerdem gibt es lukrative Spezialmärkte, zum

Beispiel im medizinischen und pharmazeutischen Bereich, wo PLA bereits seit längerem erfolgreich zum Einsatz kommt. Vom Körper resorbierbare Schrauben, Nägel, Implantate und Platten aus PLA oder PLA-Copolymeren

werden zur Stabilisierung von Knochenbrüchen verwendet. Auch resorbierbares Nahtmaterial und Wirkstoffdepots aus PLA sind schon lange im Gebrauch.


Sparschwein aus PLA

Ein großer Vorteil von PLA ist die besondere Vielfalt dieses Biokunststoffes, der wahlweise schnell biologisch abbaubar oder auch jahrelang funktionsfähig eingestellt werden kann. Weitere Vorteile der Polylactid-Kunststoffe sind die hohe Festigkeit, die Thermoplastizität und gute Verarbeitung auf den vorhandenen Anlagen der Kunststoff verarbeitenden Industrie. Trotzdem hat PLA auch Nachteile: da der Erweichungspunkt bei etwa 60 Grad Celsius liegt, ist das Material für die Herstellung von Trinkbechern für Heißgetränke nur bedingt geeignet. Die Copolymerisation zu hitzebeständigeren Polymeren oder der Zusatz von Füllstoffen können für größere Temperaturstabilität sorgen. Die japanische Elektronikfirma NEC Corporation konnte die Hitzeempfindlichkeit durch eine Verstärkung mit Kenaffasern und Metallhydroxiden beheben und so einen gut formbaren und schwer entflammbaren Biokunststoff entwickeln, als erstes Produkt wurde das Gehäuse des Mobiltelefons FOMA N701iEco für den japanischen Markt entwickelt.[6] Für die Herstellung von PLA aus Glucose über die Zwischenschritte Milchsäure und Dilactid existieren sowohl Batch-Verfahren als auch – bisher weitgehend im Pilotmaßstab realisiert – kontinuierliche Verfahren.[7] Damit ist die Industrie in der Lage, das Material kostengünstig und mittelfristig wettbewerbsfähig gegenüber Massenkunststoffen herzustellen. Die weltweit erste größere PLA-Produktionsanlage wurde 2003 in den USA in Betrieb genommen, deren Jahreskapazität theoretisch 70.000 t beträgt.[8] Weitere Anlagen sind heute international verfügbar. Eine erste deutsche Anlage zur Herstellung von PLA im brandenburgischen Guben befindet sich in der Planung und soll ab 2009 eine Anfangskapazität von 60.000 t haben.[9]

Polyhydroxyalkanoate, speziell Polyhydroxybuttersäure (PHB)

→ *Hauptartikel* Polyhydroxyalkanoate, Polyhydroxybuttersäure

Das Biopolymer Polyhydroxybuttersäure (PHB) ist ein fermentativ herstellbarer Polyester mit Eigenschaften ähnlich denen des petrochemisch erzeugten Kunststoffs Polypropylen. Es kann auf Basis von Zucker und Stärke hergestellt werden, die Synthese ist jedoch auch aus andere Nährstoffen wie Glycerin und Palmöl möglich.

Weltweit kündigen zahlreiche Firmen an, in die PHB-Produktion einzusteigen bzw. ihre Produktion auszuweiten, so beabsichtigt neben einigen mittelständischen Herstellern nun auch die südamerikanische Zuckerindustrie die Herstellung von PHB im industriellen Maßstab. PHB ist biologisch abbaubar, hat einen Schmelzpunkt von über 130 °C, bildet klare Filme und besitzt für viele Anwendungszwecke optimale mechanische Eigenschaften. Die Gewinnung des Kunststoffes aus den Bakterien stellt eine der Hauptschwierigkeiten dar. Die Zellen müssen durch Chloroform oder Enzyme lysiert werden, außerdem werden für ein Kilogramm PHB aktuell drei Kilogramm Zucker benötigt, der vor allem aufgrund der hohen Nachfrage nach Biokraftstoffen und der Nahrungsmittelindustrie limitiert ist.[6]

PHB wird auch, mit weiteren Bestandteilen kombiniert, als PHB-Blend verwendet. Dabei können z. B. durch den Zusatz von Celluloseacetaten besondere Materialeigenschaften erreicht werden. Die Palette der Eigenschaften von PHB-Blends erstreckt sich von Klebern bis Hartgummi. Statt Celluloseacetat sind auch Stärke, Kork und anorganische Materialien als Zusätze denkbar. Die Vermischung mit günstigen Zusatzstoffen (Celluloseacetat ist ein preisgünstiges Abfallprodukt aus der Zigarettenfilterproduktion) wirkt sich auch günstig auf die Produktionskosten von PHP-Blends aus. Mittelfristig lassen sich nach Angaben zahlreicher Forscher damit die Herstellungskosten bis in den Bereich Erdöl-basierter Plastikmaterialien absenken.[10]

Weitere Biopolymere



Medikamentenkapseln aus Hartgelatine

Neben den genannten Hauptgruppen der Biokunststoffe gibt es eine ganze Reihe Ansätze, weitere nachwachsende Rohstoffe wie Lignin, Chitin, Casein, Gelatine und weitere Proteine sowie Pflanzenöle für die Herstellung von Biokunststoffen zu nutzen. Als Lignin-Kunststoff wurde bereits 1998 Arboform entwickelt und bis heute vertrieben, verwendet wird das Material für Konsumgüter und in der Automobilbranche. Chitosan als Produkt aus Chitinabfällen bei der Garnelenverwertung ist ebenfalls als Ausgangsmaterial für Fasern, Schaumstoffe, Membranen und Folien etabliert. Zudem werden Kunststoffe produziert, die zu einem relativ großen Anteil auf nachwachsenden Rohstoffen basieren wie etwa die biologisch abbaubaren Kunststoffe Ecovio von BASF mit 45 % PLA-Anteil und das Polytrimethylenterephthalat (PTT) von DuPont.

In jüngerer Zeit verfolgen einige Unternehmen die Strategie, die fossile Rohstoffbasis etablierter Standardthermoplaste durch eine erneuerbare Rohstoffbasis zu ersetzen; Beispiele hierfür sind Bio-PE und Bio-PP auf Basis von Zuckerrohr in Brasilien. In der Forschung sind zudem Bioraffinerien, die ebenfalls auf der Basis von Biopolymeren wie Zucker, Stärke oder Lignocellulose mit Hilfe von Weißer Biotechnologie Plattformchemikalien für die chemische Industrie herstellen sollen.[11]

Aktuelle wissenschaftliche Forschungen und Entwicklungen zielen zudem darauf ab, Kunststoffe aus Agrarreststoffen und Nebenprodukten herzustellen.

Verwendungsbereiche

Als Verwendungsbereiche für Biokunststoffe kommen prinzipiell alle Anwendungsbereiche von Kunststoffen in Frage. Bei den biologisch abbaubaren Kunststoffen bieten sich allerdings einige Anwendungsbereiche an, bei denen eine lange Lebensdauer nachteilig und ein schneller Abbau vorteilhaft ist. Noch schwierig sind technische Spezialanforderungen, die bei denen das Material z.B. hohen Temperaturen widerstehen muss.

Verpackungen



Verpackungschips aus thermoplastischer Stärke

Vor allem im Verpackungsbereich bieten biologisch abbaubare Kunststoffe ein großes Potenzial, das Abfallaufkommen nicht verrottender Kunststoffe erheblich zu reduzieren. Sehr weit verbreitet sind mittlerweile die einfach aufgeschäumten duroplastischen Verpackungschips, die auf der Basis von Stärke hergestellt werden. Daneben gibt es noch viele weitere Verpackungsprodukte aus kompostierbaren Biokunststoffen, die vor allem in der Lebensmittel- und Kosmetikindustrie zum Einsatz kommen könnten. Biokunststoffe können, wie oben beschrieben, zu Folien und Mehrschichtfolien geblasen werden; sie lassen sich als Flachfolien extrudieren, sind thermoverform- und tiefziehbar, man kann sie bedrucken, schweißen, spritzen und verkleben. Ohne weiteres ist es möglich, Biokunststoffe mit den gängigen Techniken und auf den herkömmlichen Maschinen zur Kunststoffverarbeitung zu konfektionieren.

Etabliert hat sich die Anwendung von Biokunststoffen bereits in der Fertigung von Tragetaschen und Tüten, die zuletzt als Sammelbeutel für kompostierbare Abfälle Verwendung finden, sowie bei der Erzeugung von Schalen für Gemüse, Obst, Eiern und Fleisch oder von Behältnissen für Getränke und Molkereiprodukte. Auch

Blisterverpackungen, wie man sie von abgepacktem Obst oder Gemüse kennt, lassen sich aus Biokunststoffen herstellen. Verbundverpackungen aus Papier oder Karton mit Biokunststoffbeschichtungen bieten durch die Kompostierbarkeit eine zusätzliche Verwertungsoption ohne Trennungsverfahren. Zunehmend kommen auch kompostierbare Versandverpackungen wie Verpackungschips, Versandtaschen, Luftpolsterfolien, Etiketten und Luftkissen auf den Markt.

In der Sparte der Abfallentsorgung und der Verpackungen besitzen kompostierbare Säcke und Behältnisse zum Sammeln von Biomüll bereits einen beträchtlichen Marktanteil, während in anderen Bereichen die Verwendung von Biokunststoffverpackungen noch immer sekundär ist. In diesen Bereichen liegen die Potenziale der Biokunststoffe, die die Produktion von verbraucherfreundlichen und Entsorgungskosten verringernden Verpackungen ermöglichen. Entsprechend kommen Biokunststoffe als Verpackungsmaterial auch in Supermärkten bereits stärker zum Einsatz. Ein Vorteil für den Einzelhandel ist, das verdorbene Waren nicht mehr von der Verpackung getrennt entsorgt werden müssen.

Cateringartikel

Zu den besonders kurzlebigen Gegenständen zählen Cateringprodukte. Einmalgeschirr und –besteck sowie Trinkbecher und Schalen, Einwickelfolien für Hamburger oder Trinkhalme werden nach der einmaligen Benutzung mitsamt den anhaftenden Essensresten entsorgt und häufen sich nach Großveranstaltungen und Festen zu großen Müllbergen an. Die Verwendung von kompostierbaren Biokunststoffen bietet hier Vorteile. Mit dem Einsatz von Biokunststoffen lassen sich zudem hohe Entsorgungskosten sparen, was besonders für die Hersteller und Abnehmer von kurzlebigen Verpackungen in der Catering- und Systemgastronomiebranche von Interesse ist. Der Abfall könnte vollständig kompostiert werden, komplizierte und kostspielige Mülltrennungsverfahren wären hinfällig.

All jene oben genannten Produkte werden bereits aus Biokunststoffen erzeugt. Dabei ist eine große Vielfalt an Farben und Formen der Produkte realisierbar.

Garten- und Landschaftsbau

Im Garten- und Landschaftsbau finden Biokunststoffe vor allem als Mulchfolien sowie als Pflanz- und Aufzuchttöpfe Verwendung. In beiden Fällen ist es von Vorteil, wenn die Materialien schnell biologisch abgebaut werden und nicht gesondert von Erde und Pflanzenmaterial entsorgt werden müssen. Vor allem Mulchfolien, die auf größeren Flächen genutzt werden, können nach ihrem Gebrauch einfach untergepflügt werden.

Weiterhin gebräuchlich sind Kunststoffgarne und -bänder zum Hochbinden rankender Pflanzen, etwa Tomaten und Hopfen, kompostierbare Samenbänder, Wirkstoffkapseln, Folien und Netze sowie Friedhofsprodukte wie Pflanzschalen, Blumentöpfe, Kranzfolien oder Friedhofslichter. Auf Golfplätzen können verrottbare Abschlaghalter zur Anwendung kommen.

Medizin und Hygiene

Im Bereich der Medizin und der Pharmazie liegt der Fokus der Entwicklung von Biokunststoffprodukten vor allem in der Resorbierbarkeit der Produkte. So sollen Nahtmaterialien, Schrauben, Kleber oder Implantate vom Körper nach der Nutzungsphase abgebaut und resorbiert werden, um weitere Operationen oder Eingriffe überflüssig zu machen. Entsprechend kommen hier besonders hochwertige Biokunststoffe und bioabbaubare Kunststoffe zur Anwendung. PLA und deren Copolymere sowie das abbaubare Polycaprolacton werden entsprechend zu Nahtmaterialien und chirurgischen Schrauben, Nägeln und Platten verarbeitet. Die wasserempfindliche und schnellauflösende thermoplastische Stärke wird neben Gelatine als Kapselmaterial von Arzneimitteln verwendet. Für Implantate können Materialien mit unterschiedlichen Resorbtionszeiten genutzt werden, die dem jeweiligen Anwendungsfall entsprechend eingesetzt werden.

Im Bereich der Hygiene finden Biokunststoffe vor allem für Produkte Anwendung, die als Wegwerfprodukte eine kurze Lebensdauer haben sollen. Dazu gehören beispielsweise Wattestäbchen oder Windelfolien, Bettunterlagen,

Damenbinden oder Einmalhandschuhe.

Biologischer Abbau



Biologisch abbaubare Kompostbeutel für Biomüll

Ein großer Vorteil der meisten Biokunststoffe gegenüber Kunststoffen auf Mineralölbasis ist die biologische Abbaubarkeit, die unter geeigneten Bedingungen relativ rasch erfolgen kann. Dabei werden die Materialien nach ihrer Nutzungsphase teilweise oder vollständig durch Mikroorganismen wie Pilze und Bakterien in Wasser und Kohlendioxid zerlegt. Da Biokunststoffe aus Pflanzen gewonnen werden, setzen sie beim Abbau sowie bei einer energetischen Nutzung nur so viel CO_2 frei, wie sie während der Wachstumsphase aufgenommen haben; sie sind entsprechend nach Abzug von Transport- und Prozessenergien als CO_2-neutral einzustufen.

Bei der Herstellung können die Materialeigenschaften von Biokunststoffen aber auch so verändert werden, dass sie beständig sind. Bioabbaubarkeit kann auch bei konventionellen Kunststoffen oder Kunststoffgemischen gegeben sein.

Gesetzliche Regelungen

Vor allem Länder der Europäischen Union, hier vor allem Großbritannien, Italien und Deutschland, sowie die USA und einige asiatische Länder sind führend bei der Herstellung und Nutzung von Biokunststoffen, entsprechend gibt es für diese Regionen gesetzliche Rahmenbedingungen zur Bezeichnung, Kennzeichnung und Entsorgung.

Europäische Rahmenbedingungen



Abzeichen der DIN CERTCO und der European Bioplastics nach EN 13432

Über die Europäische Norm EN 13432 werden die Richtlinien für biologisch abbaubare Werkstoffe auf europäischer Ebene geregelt. Die Norm legt verbindliche Standards fest, nach denen ein Werkstoff als vollständig kompostierbar betrachtet wird. Die Zertifizierung erfolgt auf nationaler Ebene in Zusammenarbeit mit dem Branchenverband European Bioplastics, der die industriellen Hersteller, Verarbeiter und Anwender von Biokunststoffen und biologisch abbaubaren Werkstoffen (BAW), sowie daraus hergestellter Produkte in Europa vertritt. In Deutschland erfolgt die Zertifizierung über die Zertifizierungsgesellschaft DIN CERTCO.[12]

Mit der Richtlinie 94/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 1994 über Verpackungen und Verpackungsabfälle sowie den europäischen und nationalen Verpackungsverordnungen und Bioabfallverordnungen wird die EN 13232 flankiert und konkretisiert. Dabei soll die EU-94/62/EG vor allem der Harmonisierung der unterschiedlichen Maßnahmen der Mitgliedstaaten im Bereich der Verpackungen und der Verpackungsabfallbewirtschaftung dienen, *„um einerseits Auswirkungen dieser Abfälle auf die Umwelt zu vermeiden oder solche Auswirkungen zu verringern und so ein hohes Umweltschutzniveau sicherzustellen und andererseits das Funktionieren des Binnenmarkts zu gewährleisten und zu verhindern, daß es in der Gemeinschaft zu Handelshemmnissen und Wettbewerbsverzerrungen und -beschränkungen kommt.“*[13] Sie sieht vor, „daß biologisch

abbaubare Verpackungsabfälle durch physikalische, chemische, wärmetechnische oder biologische Prozesse so zersetzt werden können, daß der Grossteil des Endproduktes sich aufspaltet in Kohlendioxid, Biomasse und Wasser.“[13]

Verpackungsverordnung

→ *Hauptartikel* Verpackungsverordnung

Die Verpackungsverordnung (VerpackV) wurde erstmalig 1991 im Deutschen Bundestag beschlossen. Ziel der aktuell gültigen Verpackungsverordnung von 1998 ist es, die Umweltbelastungen aus Verpackungsabfällen zu verringern und die Wiederverwendung oder Verwertung von Verpackungen zu fördern (§ 1 Abfallwirtschaftliche Ziele). Mit der dritten Novellierung der Verpackungsverordnung vom 27. Mai 2005 wurde eine besondere Ausnahmeregelung für biologisch abbaubare Werkstoffe (und damit auch für die Mehrheit der Biokunststoffe, eingeführt:[14]



Biologisch abbaubare Verpackung (Cellulosebasierter Kunststoff)

- *§ 16, Übergangvorschriften (2) § 6 findet für Kunststoffverpackungen, die aus biologisch abbaubaren Werkstoffen hergestellt sind und deren sämtliche Bestandteile gemäß einer herstellerunabhängigen Zertifizierung nach anerkannten Prüfnormen kompostierbar sind, bis zum 31. Dezember 2012 keine Anwendung. Die Hersteller und Vertreiber haben sicherzustellen, dass ein möglichst hoher Anteil der Verpackungen einer Verwertung zugeführt wird.*[15]

Diese Regelung wird in der fünften Novellierung der Verpackungsverordnung vom 2. April 2008, die am 1. April 2009 in Kraft treten wird, aufgegriffen und erweitert:[16]

- *§ 16, Übergangvorschriften (2) Die §§ 6 und 7 finden für Kunststoffverpackungen, die aus biologisch abbaubaren Werkstoffen hergestellt sind und deren sämtliche Bestandteile gemäß einer herstellerunabhängigen Zertifizierung nach anerkannten Prüfnormen kompostierbar sind, bis zum 31. Dezember 2012 keine Anwendung. Die Hersteller und Vertreiber haben sicherzustellen, dass ein möglichst hoher Anteil der Verpackungen einer Verwertung zugeführt wird. § 9 findet für Einweggetränkeverpackungen aus Kunststoff, die die in Satz 1 genannten Voraussetzungen erfüllen und zu mindestens 75 Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt sind, bis zum 31. Dezember 2012 keine Anwendung, soweit sich Hersteller und Vertreiber hierfür an einem oder mehreren Systemen nach § 6 Abs. 3 beteiligen. Die Erfüllung der in Satz 3 genannten Bedingung, wonach die Einweggetränkeverpackung zu mindestens 75 Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden muss, ist durch einen unabhängigen Sachverständigen im Sinne des Anhangs I Nr. 2 Abs. 4 nachzuweisen. Im Übrigen bleibt § 9 unberührt. Im Fall des Satzes 3 und soweit Einweggetränkeverpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen nach Satz 1 nach § 9 Abs. 2 keiner Pfandpflicht unterliegen, haben sich Hersteller und Vertreiber abweichend von Satz 1 hierfür an einem System nach § 6 Abs. 3 zu beteiligen, soweit es sich um Verpackungen handelt, die bei privaten Endverbraucher anfallen.*[17]

Mit dieser Ausnahmeregelung und dem daraus resultierenden Wettbewerbsvorteil durch die Befreiung von den Lizenzgebühren für das Duale System sowie der Rücknahmepflicht der Verpackungen bzw. der Pfandpflicht von Einwegflaschen bis zum Jahr 2012 soll die Entwicklung des Marktes für Biokunststoffe und biologisch abbaubare Werkstoffe in Deutschland angekurbelt werden.

Bioabfallverordnung

→ *Hauptartikel* Bioabfallverordnung

Die Bioabfallverordnung (BioAbfV) von 1998 (letzte Fassung von Februar 2007) zielt in 14 Paragraphen und drei Anhängen auf die ordnungsgemäße Untersuchung, Behandlung und Verwertung von Bioabfällen und Gemischen. Sie richtet sich an Entsorgungsträger, Erzeuger, Besitzer, Behandler und Hersteller für Bioabfälle und Gemische. In dieser Verordnung werden biologisch abbaubare Kunststoffe als Bioabfälle betrachtet und eine Entsorgung über die Biotonne oder den Kompost empfohlen. Dies gilt natürlich nicht für Biokunststoffe, die nicht oder nur schwer biologisch abbaubar sind.[18]

Amerikanische Standards

In den USA werden Biokunststoffe vor allem über die ASTM 6400 und die ASTM D6866 reglementiert. Dabei bestimmt die ASTM 6400 die Regularien für den biologischen Abbau und fordert eine Abbaubarkeit von Kunststoffen von 60 % innerhalb von 180 Tagen, um Produkte als „kompostierbar“ (*compostable*) zu kennzeichnen. Die Kennzeichnung liegt in den USA beim Biodegradable Products Institute. Vor allem stärkebasierte Kunststoffe, PLA und einige Co-Polyester sind mit dem Zertifikat ausgestattet während die Kennzeichnung als *fotodegradable* oder *Oxobiodegradable* keine Erfüllung der Standards beinhalten.

Die ASTM D6866 wurde entwickelt, um Standards für biobasierte Kunststoffe festzulegen. Wie bereits dargelegt gibt diese Bezeichnung keinen Aufschluss über die Kompostierbarkeit, da auch Kunststoffe aus 100 % nachwachsenden Rohstoffen nicht zwingend biologisch abbaubar sind.

Marktsituation und Perspektiven

Kunststoffe werden heute überwiegend aus Erdöl hergestellt. Da zumindest in der Kunststofferzeugung der eigentliche Rohstoff einen maßgeblichen Anteil an der Wertschöpfung des Produkts darstellt, ist der Preis des Kunststoffs mittelbar an den Rohölpreis gekoppelt. Insofern schlägt sich eine Preiserhöhung der fossilen Rohstoffe im Preis für Kunststoffe direkt nieder. Vor allem der weltweit steigende Energie- und Rohstoffbedarf sowie politische Instabilität in den Förderländern haben den Preis für Rohöl in den letzten Jahren stark ansteigen lassen, mit einem dauerhaft günstigen Ölpreis auf dem Niveau der 1990er Jahre ist in Zukunft nicht mehr zu rechnen. Vor diesem Hintergrund ist eine Zunahme des bisher geringen Marktanteils für Biokunststoffe abzusehen. Aussagen über die Potenziale von Biokunststoffen sind stark davon abhängig, ob es gelingt, mit positiven Rahmenbedingungen das Interesse der Kunststoff erzeugenden Industrie an Biokunststoffen verstärkt zu wecken. Zusätzliche Anreize könnten Veränderungen der politischen Rahmenbedingungen sowie die Optimierung der bisher am Markt befindlichen Biokunststoffe und die Erweiterung des Anwendungsspektrums erbringen.

Von 14 Mio. Tonnen Verpackungen, die jährlich in Deutschland hergestellt werden, bestehen fast 40 Prozent aus Kunststoff. Rund 1,8 Mio. Tonnen hiervon entfallen auf kurzlebige oder nur einmal gebräuchliche Kunststoffverpackungen wie Folien, Beutel, Tragetaschen, Säcke oder Einwegbesteck und -geschirr. Diese Produkte zur hygienischen Verpackung der Lebensmittel könnten problemlos auch aus Stärkekunststoffen und Polylactiden gefertigt werden. Aufgrund dieser Tatsache halten Experten ein Marktvolumen für Biokunststoffe in Deutschland von zwei Milliarden Euro für realistisch.[19] Dieser Einschätzung nach ist auch europaweit davon auszugehen, dass etwa die Hälfte der sechs Millionen Tonnen „Wegwerf-Verpackungen“ durch Biokunststoffe ersetzt werden könnten. Aufgrund des ausgeprägten Wettbewerbs auf dem Kunststoffmarkt können Biokunststoffe allerdings aktuell noch nicht mit dem branchenüblichen Preis-Niveau konkurrieren.

2007 lag der Verbrauch an biologisch abbaubaren Biokunststoffen in Westeuropa im Jahr 2007 bei ca. 60.000 – 70.000 Tonnen, was einem Marktanteil von unter 1 % entspricht. Die Wachstumsraten sind zweistellig und erreichen in einigen Bereichen bis zu 50 % pro Jahr. Die weltweiten Produktionskapazitäten für biologisch abbaubare Kunststoffe für das Jahr 2007 lagen bei 315.000 t, von denen 189.000 t auf Basis Nachwachsender Rohstoffe

produziert wurden.[20] Dabei liegt Europa mit 140.000 t Produktionskapazität vor Nordamerika mit 80.000 t.[21] Die Prognosen für 2010 gehen von einer deutlichen Kapazitätssteigerung auf eine Gesamtmenge biologisch abbaubarer Kunststoffe in Höhe von etwa 1,4 Millionen Tonnen und einer Menge von etwa 900.000 t auf der Basis von Nachwachsenden Rohstoffen aus.[20]

Die folgende Tabelle stellt den Einsatz von Biokunststoffen in den wichtigsten Einsatzgebieten Verpackungen, Agrarbereich, Konsumgüterindustrie und Automobilindustrie und deren prognostizierte Entwicklung bis 2020 dar:[19]

	Verpackungs- und Lebensmittelindustrie	**Agraindustrie, Garten- und Landschaftsbau**	**Konsumgüterindustrie**	**Automobilindustrie**
Gesamtmarkt 2005	• 3,5 Mio. t Kunststoffverpackungen • 1,8 Mio t kurzlebige Produkte	• 230.000 t Gesamtmarkt Landwirtschaft • Davon ca. 30.000 t besonders geeignet für Substitution (bgfS)	• 1,8 bis 2,7 Mio. t. Konsumgüter aus Kunststoff	• 800.000 t Gesamtmenge Kunststoff in Fahrzeugen • ca. 400.000 t Kunststoff als Fahrzeuginnenteile
Biokunststoffe (in t)	• 2005: < 15.000 t • Prognose 2010: 110.000 t (5 % der kurzlebigen Kunststoffe) • Prognose 2020: 520.000 t (20 % der kurzlebigen Kunststoffe)	• 2005: < 100 t • Prognose 2010: 3.500 t (10 % der bgfS) • Prognose 2020: 130.000 t (30 % der bgfS)	• 2005: < 100 t • Prognose 2010: 24.000 t (1 % des Gesamtmarktes) • Prognose 2020: 290.000 t (10 % des Gesamtmarktes)	• 2005: < 10 t • Prognose 2010: 48.000 t (10 % der Fahrzeuginnenteile) • Prognose 2020: 230.000 t (40 % der Fahrzeuginnenteile)
Biokunststoffe (in Euro)	• 2005: < 45 Mio. Euro • 2010: 165 Mio. Euro • 2020: 780 Mio. Euro	• 2005: < 300.000 Euro • 2010: 5 Mio. Euro • 2020: 20 Mio. Euro	• 2005: < 300.000 Euro • 2010: 35 Mio. Euro • 2020: 440 Mio. Euro	• 2005: < 30.000 Euro • 2010: 72 Mio. Euro • 2020: 350 Mio. Euro
Marktwachstum (in % p.a.)	• 2005-2010: > 30 % • 2010-2020: ca. 16 %	• 2005-2010: > 70 % • 2010-2020: ca. 15 %	• 2005-2010: > 160 % • 2010-2020: ca. 29 %	• 2005-2010: > 380 % • 2010-2020: ca. 17 %

Müssig und Carus sehen ein weiteres Wachstum der stärkebasierten Polymerwerkstoffe voraus, wobei sie annehmen, dass der Anteil an Polylactid sowie an Compounds wie Stärke/PLA deutlich höhere Potenziale hat und entsprechend ein stärkeres Wachstum aufweisen wird. Bei der Polyhydroxybuttersäure wird ein Potenzial vor allem bei Spezialanwendungen gesehen während sich der Markt für cellulosebasierte Polymere aus Kostengründen vollständig auf Spezialanwendungen beschränken wird. Eine zunehmende Bedeutung als Rohstoffe bei der Herstellung von Biokunststoffen wird auch den Pflanzenölen zugesprochen, bei denen sich allerdings kostengünstige Ölimporte gegenüber heimischen Produkten durchsetzen werden.[19]

Neben der Preisentwicklung der Standardkunststoffe, die an den Erdölpreis gebunden sind, spielen weitere Faktoren eine Rolle für die Marktentwicklung. So wird eine weitere Diversifizierung der Biokunststoffe für ein immer breiter werdendes Anwendungsspektrum angenommen. Hinzu kommen bessere und effektivere Verarbeitungstechniken und die zunehmende Akzeptanz seitens der Verbraucher und des Handels.

Literatur

- Jürgen Lörcks: *Biokunststoffe. Pflanzen - Rohstoffe, Produkte.* Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow 2005 (PDF-Download [22])
- P. Eyerer, P. Elsner, T. Hirth (Hrsg.): *Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften.* 6. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg 2005; Seiten 1443-1482. ISBN 3-540-21410-0
- Jörg Müssig, Michael Carus: *Bio-Polymerwerkstoffe sowie holz- und naturfaserverstärkte Kunststoffe.* In: *Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe Teil II.* Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow 2007 (PDF-Download [23])

Weblinks

- bioplastics magazine [24] - Fachzeitschrift ausschließlich zum Themenkomplex Biokunststoffe (nur in engl. verfügbar)
- www.biokunststoffe.com [25] - Informationsportal zum Thema Biokunststoffe
- European Bioplastics [26] - Verband, Informationen über Biokunststoffe, Kompostierbare Kunststoffe und Marktsituation
- plasticker - biokunststoffe [27] - Informationsportal, ausgewählte Artikel zum Thema Biokunststoffe

Referenzen

[1] Definition *Biokunststoff* (http://www.european-bioplastics.org/index.php?id=5), European Bioplastics.

[2] Stichwort *Biokunststoff* In: Brockhaus Enzyklopädie online, abgerufen am 8. August 2008.

[3] Zahlen nach Lörcks 2005, Zahlen von 2004

[4] Florian Amlinger, Ines Fritz: *Aspekte zur nachhaltigen Einführung und Verwertung bioabbaubarer Kunststoffe über Systeme der getrennten Erfassung und Kompostierung.* Herausgegeben vom Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Gruppe Raumordnung, Umwelt und Verkehr, Abteilung Umweltwirtschaft und Raumordnungsförderung (RU3), St. Pölten 2008.

[5] Freedonia Group: *Biodegradable Plastic to 2012.* Veröffentlicht August 2008.

[6] Veronika Szentpétery: *Natürlich künstlich.* Technology Review September 2007; Seiten 89-90.

[7] Sven Jacobsen, 2000: Darstellung von Polylactiden mittels reaktiver Extrusion. Dissertation, Universität Stuttgart, S. 16. (pdf (http://www.uni-stuttgart.de/wechselwirkungen/ww2000/jacobsen.pdf&ei=KdT1SbDtLcXE_Qa2_LHGCQ&usg=AFQjCNFTzemeIIMY4M2imYhRcjXwAGVTOA&sig2=bVJS7_d8Ju8E-sSvXiOBCQ))

[8] Chris Smith: Natureworks PLA capacity is 70,000tpa. (http://www.prw.com/homePBP_NADetail_UP.aspx?ID_Site=818&ID_Article=24047&mode=1&curpage=0&keyword=Natureworks&x=0&y=0) prw.com vom 2007-12-10

[9] Ankündigung der Firma Pyramid Bioplastics (http://www.pyraplast.com/), aufgerufen am 14. Oktober 2008.

[10] Elisabeth Wallner (2002): *Herstellung von Polyhydroxyalkanoaten auf der Basis alternativer Rohstoffquellen.* Dissertation am Institut für Biotechnologie und Bioprozesstechnik, Technische Universität Graz 2002

[11] Birgit Kamm: *Das Konzept der Bioraffinerie - Produktion von Plattformchemikalien und Materialien.* In: Brickwede, F.; Erb, R.; Hempel, E.; Schwake, M.: *Nachhaltigkeit in der Chemie. 13. Internationale Sommerakademie St. Marienthal.* Erich Schmidt Verlag, Berlin 2008

[12] Informationen zum Kompostierbarkeitszeichen bei DIN CERTCO (http://www.dincertco.de/de/produkte_und_leistungen/produkte/umwelt/kompostierbarkeitszeichen/index.html)

[13] Richtlinie 94/62/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 1994 über Verpackungen und Verpackungsabfälle (http://www.resy.de/download/EU-Richtlinie.pdf)

[14] Dritte Verordnung zur Änderung der Verpackungsverordnung vom 24. Mai 2005 (http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/verpackungsverordnung/doc/5882.php)

[15] Geltende Verpackungsverordnung unter Berücksichtigung der 3. und 4. Änderungsverordnung (http://www.bmu.de/files/abfallwirtschaft/downloads/application/pdf/verpackv_komplett.pdf); Nichtamtliche Fassung des Bundesministeriums für Umweltschutz.

[16] Fünfte Verordnung zur Änderung der Verpackungsverordnung vom 2. April 2008 (http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/verpackv_5aenderung.pdf)

[17] Verpackungsverordnung unter Berücksichtigung der 5. Änderungsverordnung (http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/verpackv_lesef.pdf); Nichtamtliche Fassung des Bundesministeriums für Umweltschutz.

[18] Bioabfallverordnung in der aktuell gültigen Fassung (http://bundesrecht.juris.de/bioabfv/index.html)

[19] Daten nach Müssig und Carus 2007

[20] *Dynamischer Verlauf der Produktionskapazität für thermoplastische Biopolymere* (http://www.biowerkstoffe.info/cms35/index.php?id=2055). Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe 2008

[21] Globale Marktsituation der Biokunststoffe. (http://www.kunststoffforum.de/information/news_artikel.php?id=5376) Kunststofforum, 2008-03-08.

Biokunststoff-Verpackung

Biokunststoff-Verpackungen sind Verpackungen, die ganz oder zu einem erheblichen Anteil aus Biokunststoffen bestehen. Unter diese Bezeichnung fallen Materialien, die biologisch abbaubar sind und/oder aus Nachwachsenden Rohstoffen bestehen. Biokunststoff-Verpackungen ersetzen zunehmend Verpackungen aus herkömmlichen Kunststoffen, aber auch aus anderen Materialien wie Papier oder Verbundverpackungen. Verpackungen sind der mengenmäßig wichtigste Einsatzbereich von Biokunststoffen, wobei in diesem Bereich in den folgenden Jahren ein weiteres Marktwachstum prognostiziert wird.



Blumenfolie aus PLA-Blend

Geschichte

Produkte aus Biokunststoffen gehören zu den ältesten Kunststoffanwendungen, die aus seit 1869 hergestellten von Celluloid, das von John Wesley Hyatt erfunden wurde. Im Jahr 1923 startete die Massenproduktion von Cellulosehydrat bzw. Zellglas unter dem Markennamen *Cellophan*, welches ebenfalls auf Cellulosebasis entstand und bis heute vor allem für Verpackungen sowie als Einsatz in Briefumschlägen genutzt wird. Es wurde vor allem für die Herstellung von transparenten Folien eingesetzt, wobei die Kosten für die Herstellung im Vergleich zu späteren Konkurrenten sehr hoch waren und Zellglas somit in vielen Bereichen verdrängt wurde. Aufgrund seiner Wasserempfindlichkeit wird Zellglas allerdings mit Polyvinylidenchlorid beschichtet und ist damit nicht mehr biologisch abbaubar.



Bedruckte Cellophantüte und klare Cellophanverpackung

Durch die Entdeckung von Kunststoffen auf der Basis von Mineralölen entstand zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine Konkurrenz, bei der die ersten Biokunststoffe weitestgehend verdrängt wurden. Ab 1956 wurden schließlich großtechnische Herstellungsverfahren für die bis heute marktbeherrschenden Kunststoffe Polyethylen und Polypropylen mit verschiedenen Materialeigenschaften eingeführt und verdrängten die Biokunststoffe auch weitestgehend aus dem Verpackungsbereich.

Erst nach 1980 gab es wieder Innovationen im Bereich der Biokunststoffe, die vor allem auf ein verändertes ökologisches Bewusstsein zurückzuführen sind. Als Argumente wurde erneuerbare Rohstoffe und geschlossene Stoffkreisläufe angeführt, später kam die Substitution des Erdöls als Hauptrohstoff aufgrund der steigenden Erdölpreise und der Endlichkeit der Ressourcen zum Tragen. Aktuell wird die Entwicklung der Biokunststoffe vor allem auf der Basis der Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung vorangetrieben. Zu den neuartigen Biokunststoffen,

die auch im Verpackungsbereich eingesetzt werden, gehören vor allem Thermoplastische Stärke (TPS), Celluloseacetat und Polylactide (PLA; nur in Blends) während Verfahren zur Herstellung von biobasiertem Polyethylen (Bio-PE), Polypropylen (Bio-PP) und anderen Kunststoffen entwickelt und etabliert werden.

Eigenschaften

Ebenso wie herkömmliche Verpackungen erfüllen Biokunststoff-Verpackungen die Aufgabe, verpackte Waren zu schützen und deren Lagerung, Laden, Transport, Verkauf, Dosierung und Entnahme zu vereinfachen bzw. erst zu ermöglichen sowie der Produktpräsentation und der Information über den Inhalt zu dienen. Vor allem aufgrund ihrer günstigen Umweltbilanz bzw. des positiven Umweltimage und aufgrund des zusätzlich möglichen Entsorgungsweges durch die Kompostierung im Bioabfall und dem damit verbundenen Potenzial, das Abfallaufkommen nicht verrottender Kunststoffe erheblich zu reduzieren, werden in den letzten Jahren zunehmend Biokunststoff-Verpackungen eingesetzt.



Flasche für Haarwaschmittel aus PLA-Blend (Prototyp)

Biologische Abbaubarkeit

Die Eigenschaft vieler Biokunststoffe, bei Kompostierung biologisch abbaubar zu sein, eröffnet bei Verpackungen neben der thermischen und der stofflichen Verwertung die Verwertung über die Kompostierung (Bioabfall) als zusätzlichen Entsorgungsweg. Je nach verwendeten Materialien sind die Verpackungen ausschließlich bei den in der industriellen Kompostierung gewährleisteten höheren Temperaturen (z.B. Polylactide - PLA) oder auch bei niedrigeren Temperaturen im privaten Kompost (z.B. Thermoplastische Stärke, einige PLA-Copolymere) abbaubar. Die Regelungen, ob Biokunststoff-Verpackungen von Haushalten in der Biotonne entsorgt werden dürfen, sind kommunal unterschiedlich und reichen von einem kompletten Verbot der Entsorgung als Biomüll bis zur Empfehlung, die Biotonne mit Abfallsäcken aus Biokunststoff auszukleiden.

Rechtliche Rahmenbedingungen

→ *Hauptartikel* Verpackungsverordnung

Biokunststoffe im Verpackungsbereich unterliegen vor allem den rechtlichen Rahmenbedingen der Verpackungsverordnung (VerpackV), die 1991 erstmalig im Deutschen Bundestag beschlossen wurde, sowie die Bioabfallverordnung (BioAbfV). Ziel der aktuell gültigen Verpackungsverordnung von 1998 ist es, die Umweltbelastungen aus Verpackungsabfällen zu verringern und die Wiederverwendung oder Verwertung von Verpackungen zu fördern (§ 1 Abfallwirtschaftliche Ziele). Mit der dritten Novellierung der Verpackungsverordnung vom 27. Mai 2005 wurde eine besondere Ausnahmeregelung für biologisch abbaubare Werkstoffe (und damit auch für die Mehrheit der Biokunststoffe, eingeführt:[1]



Biologisch abbaubare Verpackung (Cellulosebasierter Kunststoff)

- *§ 16, Übergangvorschriften (2) § 6 findet für Kunststoffverpackungen, die aus biologisch abbaubaren Werkstoffen hergestellt sind und deren sämtliche Bestandteile gemäß einer herstellerunabhängigen Zertifizierung nach anerkannten Prüfnormen kompostierbar sind, bis zum 31. Dezember 2012 keine Anwendung. Die Hersteller und Vertreiber haben sicherzustellen, dass ein möglichst hoher Anteil der Verpackungen einer Verwertung zugeführt wird.*[2]



Tiefkühlverpackung aus PLA-Blend

Diese Regelung wird in der fünften Novellierung der Verpackungsverordnung vom 2. April 2008, die am 1. April 2009 in Kraft treten wird, aufgegriffen und erweitert:[3]

- *§ 16, Übergangvorschriften (2) Die §§ 6 und 7 finden für Kunststoffverpackungen, die aus biologisch abbaubaren Werkstoffen hergestellt sind und deren sämtliche Bestandteile gemäß einer herstellerunabhängigen Zertifizierung nach anerkannten Prüfnormen kompostierbar sind, bis zum 31. Dezember 2012 keine Anwendung. Die Hersteller und Vertreiber haben sicherzustellen, dass ein möglichst hoher Anteil der Verpackungen einer Verwertung zugeführt wird. § 9 findet für Einweggetränkeverpackungen aus Kunststoff, die die in Satz 1 genannten Voraussetzungen erfüllen und zu mindestens 75 Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt sind, bis zum 31. Dezember 2012 keine Anwendung, soweit sich Hersteller und Vertreiber hierfür an einem oder mehreren Systemen nach § 6 Abs. 3 beteiligen. Die Erfüllung der in Satz 3 genannten Bedingung, wonach die Einweggetränkeverpackung zu mindestens 75 Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden muss, ist durch einen unabhängigen Sachverständigen im Sinne des Anhangs I Nr. 2 Abs. 4 nachzuweisen. Im Übrigen bleibt § 9 unberührt. Im Fall des Satzes 3 und soweit Einweggetränkeverpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen nach Satz 1 nach § 9 Abs. 2 keiner Pfandpflicht unterliegen, haben sich Hersteller und Vertreiber abweichend von Satz 1 hierfür an einem System nach § 6 Abs. 3 zu beteiligen, soweit es sich um Verpackungen handelt, die bei privaten Endverbraucher anfallen.*[4]

Mit dieser Ausnahmeregelung und dem daraus resultierenden Wettbewerbsvorteil durch die Befreiung von den Lizenzgebühren für das Duale System sowie der Rücknahmepflicht der Verpackungen bzw. der Pfandpflicht von Einwegflaschen bis zum Jahr 2012 soll die Entwicklung des Marktes für Biokunststoffe und biologisch abbaubare Werkstoffe in Deutschland angekurbelt werden.

Die Bioabfallverordnung (BioAbfV) von 1998 (letzte Fassung von Februar 2007) zielt in 14 Paragraphen und drei Anhängen auf die ordnungsgemäße Untersuchung, Behandlung und Verwertung von Bioabfällen und Gemischen. Sie richtet sich an Entsorgungsträger, Erzeuger, Besitzer, Behandler und Hersteller für Bioabfälle und Gemische. In dieser Verordnung werden biologisch abbaubare Kunststoffe als Bioabfälle betrachtet und eine Entsorgung über die Biotonne oder den Kompost empfohlen. Dies gilt natürlich nicht für Biokunststoffe, die nicht oder nur schwer biologisch abbaubar sind.[5]

Verwendung

Verpackung kurzlebiger Güter

Biokunststoffe werden oft für kurzlebige Güter eingesetzt, bei denen von der Herstellung des zu verpackenden Gutes bis hin dessen Verzehr/Gebrauch meist nur wenige Wochen vergehen. Die Kompostierbarkeit als alternativer Entsorgungsweg gilt hier als ein wesentlicher Aspekt für die Verwendung. So kann auch verdorbene organische Ware gemeinsam mit der Verpackung entsorgt werden, das sonst nötige Auspacken entfällt.

Biokunststoffe sind atmungsaktiver als viele herkömmliche Kunststoffe. Daher können Waren wie Salate und Frischgemüse, die zur Frischhaltung auf einen Luftaustausch angewiesen sind, ohne Perforation eingepackt werden können. Die Atmungsaktivität kann im Gegenzug allerdings bedeuten, dass Nahrungsgüter, an die kein Sauerstoff gelangen darf (z.B. Ketchup) oder Güter, die austrocknen können, mit Biokunststoffen nicht uneingeschränkt verpackt werden können.

Anwendungen

Auch Verpackungshilfsstoffe wie Luftpolsterbeutel und Luftkissen werden aus Biokunststoffen hergestellt. Sehr weit verbreitet sind zudem einfach aufgeschäumte duroplastische Verpackungschips, die auf der Basis von Stärke hergestellt werden. Wegen der höheren Luftdurchlässigeit von Biokunststoffen verlieren daraus gefertigte Luftpolster den Luftdruck allerdings schneller als herkömmliche Kunststoffe gleicher Foliendicke.



Kosmetikstift aus Celluloseacetat

Mit der verfahrenstechnischen Weiterentwicklung von Biounststoffen konnten in den letzten Jahren Biokunststoffe zunehmend für Anwendungsbereiche verwendet werden, die wegen der Materialeigenschaften bisher nicht möglich waren. So produziert ein Anbieter beispielsweise Biokunststoff-Netze für Obst und Gemüse, die verfahrenstechnisch schwierig zu verpacken sind, und Beutel für Tiefkühlkost, die bei Temperaturen bis -30 °C schlagzäh sein müssen, um einen Sturz unbeschadet zu überstehen, aus Mischungen von Polylactiden mit anderen Polymeren (PLA-Blends).

Biokunststoff-Behälter für flüssige Produkte, z.B. Milch oder Haarwaschmittel, die im Blasformverfahren hergestellt werden, eignen sich bisher vor allem für kurzlebige Produkte. Beschichtungen, die die Barrierewirkung der Verpackung erhöhen, sollen künftig auch langlebigere Produkte ohne Flüssigkeitsverlust schützen. Bei Verkaufsverpackungen für Kosmetika spielt die Präsentation (Optik, Haptik) eine besondere Rolle, Produkte aus Celluloseacetat sind in der Entwicklung.

Literatur

- Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths: *Technische Biopolymere.* Hanser-Verlag, München 2009; ISBN 978-3-446-41683-3
- Emo Chienelli: *Environmentally compatible food packaging.* Woodhead Publishing, Cambridge 2008. ISBN 978-1-84569-194-3
- Jürgen Lörcks: *Biokunststoffe. Pflanzen - Rohstoffe, Produkte.* Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow 2005 (PDF-Download [22])

Referenzen

[1] Dritte Verordnung zur Änderung der Verpackungsverordnung vom 24. Mai 2005 (http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/verpackungsverordnung/doc/5882.php)

[2] Geltende Verpackungsverordnung unter Berücksichtigung der 3. und 4. Änderungsverordnung (http://www.bmu.de/files/abfallwirtschaft/downloads/application/pdf/verpackv_komplett.pdf); Nichtamtliche Fassung des Bundesministeriums für Umweltschutz.

[3] Fünfte Verordnung zur Änderung der Verpackungsverordnung vom 2. April 2008 (http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/verpackv_5aenderung.pdf)

[4] Verpackungsverordnung unter Berücksichtigung der 5. Änderungsverordnung (http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/verpackv_lesef.pdf); Nichtamtliche Fassung des Bundesministeriums für Umweltschutz.

[5] Bioabfallverordnung in der aktuell gültigen Fassung (http://bundesrecht.juris.de/bioabfv/index.html)

Biologisch abbaubarer Werkstoff

Biologisch abbaubare Werkstoffe (BAW) bzw. Kunststoffe werden je nach Anwendungsgebiet und Intention unterschiedlich definiert. Materialien werden als biologisch abbaubar bezeichnet, wenn sie durch Mikroorganismen, bzw. Enzyme z. B. im Boden abgebaut werden. Der Abbau erfolgt im Wesentlichen durch Oxidations- und Hydrolyseprozesse zu den Spaltprodukten Wasser, Kohlendioxid und Biomasse.



Mulchfolie aus bioabbaubarem PLA-Blend Bio-Flex

Biologisch abbaubare und kompostierbare Kunststoffe

Unter diese Definition fallen neben verschiedenen Kunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen (Biokunststoffe) auch erdölbasierte Materialien wie Polyvinylalkohole, Polycaprolactone oder bestimmte Copolyester (z.B. Ecoflex von BASF). Allerdings sind nicht alle auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden Biokunststoffe zwangsläufig biologisch abbaubar (z.B. vulkanisierter Kautschuk).



Biologisch abbauende Mulchfolie aus PLA-Blend Bio-Flex

Zur Prüfung der biologischen Abbaubarkeit, respektive Kompostierbarkeit, von Kunststoffprodukten wurde im Jahr 2000 die Europäische Norm EN 13432 / EN 14995 eingeführt, in denen wissenschaftliche Methoden zum Nachweis der biologischen Abbaubarkeit definiert sind. Nach dieser Norm geprüfte Werkstoffe und Produkte können zertifiziert werden und sind dann berechtigt, das Kompostierbarkeitszeichen zu verwenden.

Viele BAWs sind bereits im internationalen Markt etabliert. Zunehmend finden sie Verwendung für Verpackungsmittel aller Art, Tragetaschen, Müllbeutel, Mulchfolien sowie Catering-Artikel. Diese Artikel können mit dem Logo „kompostierbar“ gekennzeichnet werden. Beispiele für BAWs sind die Bio-Rohkunststoffe CA (Celluloseester), PLA (Polylacticacid, Polymilchsäure), PHA (Polyhydroxyalkanoate), PCL (Polycaprolactone), Stärkederivate und spezielle Copolyester wie PBAT (Polybutylenadipat-terephthalat) und PBS (Polybutylensuccinat).



Kompostierbarkeitsabzeichen der DIN CERTCO und der European Bioplastics nach EN 13432

Oxo-abbaubar und oxo-biologisch abbaubar

Der Begriff „biologisch abbaubar“ ist deutlich abzugrenzen von in der Verpackungsindustrie genutzten Polyolefinfolien (v.a. PE), die als „oxo-biologisch abbaubar“ oder „oxo-abbaubar“ deklariert sind. “Oxo-abbaubare” Additive bestehen meist aus Metallionen (Kobalt, Mangan, Eisen, Zink) welche die Oxidation und den Kettenabbau in Kunststoffen, besonders unter Wärme, Luft und Sauerstoff beschleunigen. Ergebnisse dieses Kettenabbaus sind sehr kleine, kaum sichtbare Kettenfragmente, welche

nicht biologisch abbauen (keiner der Additivhersteller hat bislang Daten bereitstellen können)[1] [2] , allerdings durch unsere Nahrungskette wandern.[3] . Hersteller dieser Additive beziehen sich gelegentlich auf eine ASTM-Prüfrichtlinie, welche jedoch keinerlei Grenzwerte beinhaltet, noch die Erreichung eines Zertifikates ermöglicht.

Im Körper abbaubare Materialien

Im engeren Sinne (v.a. im Bereich der Biomedizin) als bioabbaubar werden Materialien bezeichnet, die im Körper durch Macrophagen, Enzyme oder Hydrolyse innerhalb von Tagen bis wenigen Jahren abgebaut werden. Hierunter fallen v.a. biogene Polymere wie Kollagen, Fibrin oder Hyaluronsäure, aber auch Polymilchsäure (Polylactid), Polyglycolid und Polycaprolacton.

Testverfahren

Allgemein anerkannt sind die OECD-Testverfahren, die auch im Rahmen der Chemikalienzulassung verwendet werden. Für die Klassifizierung als Biokunststoff wird auch die Kompostierbarkeit untersucht.

Leichte biologische Abbaubarkeit (OECD 301)

Die Tests der OECD-Testserie 301 (A - F) weisen einen raschen und vollständigen biologischen Abbau nach.

Leichte biologische Abbaubarkeit einen schnellen und einigermaßen vollständigen Abbau einer Prüfsubstanz in einem aquatischen Milieu unter aeroben Bedingungen. Unterschiedliche Testmethoden stehen für gut oder schlecht lösliche sowie für flüchtige Substanzen zur Verfügung.

- *Kohlendioxid - Entwicklungstest (OECD 301 B)*: Das durch den biologischen Abbau der Prüfsubstanz entstehende Kohlendioxid wird regelmäßig über 28 Tage analysiert und ist Indikator für den biologischen Abbau. Dieser sog. Sturm-Test wird für die Untersuchung schlecht wasserlöslicher Chemikalien verwendet.
- *Geschlossener Flaschentest OECD 301 D)*: Die biologische Abbaubarkeit der Prüfsubstanz wird bestimmt, indem in regelmäßigen Intervallen über einen Zeitraum von 28 Tagen der Verbrauch von gelöstem Sauerstoff ermittelt wird. Dieser Test wird für flüchtige Chemikalien verwendet.
- *Modifizierter OECD-Screening-Test (OECD 301 E)*: Die biologische Abbaubarkeit der Prüfsubstanz wird über die Messung des Dissolved Organic Carbon (= gelöster organischer Kohlenstoff) über einen Zeitraum von 28 Tagen ermittelt. Dieser Test wird bei ausreichend wasserlöslichen Chemikalien angewendet.

Inhärente Abbaubarkeit (OECD 302)

Die Tests der OECD-Testserie 302 (A - C) weisen eine zwar eingeschränkte, grundsätzlich aber doch mögliche biologischen Abbaubarkeit der untersuchten Chemikalie nach. Substanzen, die solche Tests bestehen, gelten als grundsätzlich oder inhärent biologisch abbaubar.

- Der *Zahn-Wellens-EMPA-Test (OECD 302 B)* untersucht die aerobe biologische Abbaubarkeit der Prüfsubstanz und gibt das Ergebnis über die Abnahme des chemischen Sauerstoffbedarfs oder des Dissolved Organic Carbon an. Es handelt sich um den meistverwendeten Test für die Untersuchung der inhärenten Abbaubarkeit. Er liefert zusätzlich Informationen über das Adsorptionsverhalten des untersuchten Stoffs.

Kompostierbarkeit

Biokunststoffe werden der *Prüfung der Kompostierbarkeit von Kunststoffen* unterzogen. Diese war in Deutschland unter der 2004 ersatzlos zurückgezogenen DIN-Norm DIN V 54900-1...3 beschrieben; die amerikanische ASTM D-6400 fordert eine Abbaubarkeit von Kunststoffen von 60% innerhalb von 180 Tagen, um Produkte als „kompostierbar“ zu kennzeichnen. Eine Anerkennung als biologisch abbaubarer Werkstoff und kompostierbarer Werkstoff erfolgt nur, wenn die Stoffe innerhalb von 12 Wochen in einer Industriekompostierung nach Europäischer

Norm EN 13432 zu mindestens 90 % abgebaut werden.

Literatur

- Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths: Technische Biopolymere. Hanser-Verlag, München 2009; ISBN 978-3-446-41683-3
- G. Maier: *Polymerwerkstoffe, 1. Einführung*. In: Erich Wintermantel, Suk-Woo Ha: Medizintechnik mit biokompatiblen Werkstoffen und Verfahren. 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 2002, ISBN 3-540-41261-1.
- Erich Wintermantel, Suk-Woo Ha: *Biokompatible Werkstoffe und Bauweisen*. 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 1998, ISBN 3-540-64656-6.

Internetlinks

- http://www.european-bioplastics.org European Bioplastics e.V.
- http://www.inaro.de/Deutsch/ROHSTOFF/industrie/STAERKE/baw.htm
- http://www.fkur.com/fileadmin/user_upload/MediaInfo/Heisse_Eisen/Sustainable_Plastics.pdf (PDF-Datei; 42 kB)

Referenzen

[1] Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths: Technische Biopolymere. Hanser-Verlag, München 2009; ISBN 978-3-446-41683-3, S. 28-29

[2] European Bioplastics: *Position paper: Oxo-biodegradable Plastics*, 2009, abgerufen am 24.09.2009 (pdf (http://www.european-bioplastics.org/media/files/docs/en-pub/European_Bioplastics_OxoPositionPaper.pdf))

[3] N.N. *Position Paper on Oxo-degradable Plastics* FKuR Kunststoff GmbH, 2008

Biologische Abbaubarkeit

Biologische Abbaubarkeit bezeichnet das Vermögen organischer Chemikalien zum biologischen Abbau, also ihrer Zersetzung durch Lebewesen (insbesondere Saprobionten) bzw. deren Enzyme. Im Idealfall verläuft dieser chemische Metabolismus vollständig bis zur Mineralisierung, so dass die organische Verbindung bis hin zu anorganischen Stoffen wie Kohlendioxid, Sauerstoff und Ammoniak zerlegt wird.

Unterschiedliches Verständnis



Mulchfolie aus bioabbaubarem PLA-Blend Bio-Flex

Biologische Abbaubarkeit bedeutet praktisch sehr unterschiedliches, je nachdem, ob Bezug auf die gesetzlichen Vorschriften oder auf weiter gehende Vorstellungen genommen wird. Industriell hergestellte Chemikalien gelten als *biologisch abbaubar*, wenn sie durch biologischen Abbau aus der Umwelt entfernt und dem mineralischen Stoffkreislauf zugeführt werden. Dabei stellt sich die Frage, wie die biologische Abbaubarkeit geprüft wird und wieweit in dem Test der Abbau betrachtet wird.

Beim biologischen Abbau eines Stoffes als Zwischenstufen entstehende Metaboliten können zudem problematischer sein als der Ursprungsstoff. Aus Alkylphenolethoxylaten entstehen beispielsweise in den ersten Abbauschritten Nonylphenole, die Fische schädigende Hormonwirkungen haben.

Der zuweilen verwendete, unscharfe Ausdruck Elimination hat mit einem biologischen Abbau nichts zu tun. Eine Elimination von Stoffen beispielsweise in einer Kläranlage bedeutet, dass diese Stoffe zwar durch Sedimentation oder Filtration aus dem Abwasser entfernt werden; die Stoffe sind aber nun im Klärschlamm eingebunden und damit weiter in der Umwelt.



Biologisch abbauende Mulchfolie aus PLA-Blend Bio-Flex

Testverfahren

Allgemein anerkannt sind die OECD-Testverfahren, die auch im Rahmen der Chemikalienzulassung verwendet werden. Für bestimmte Tenside existieren weiterhin gesetzlich vorgeschriebene Testverfahren, die weniger aussagekräftig sind. Für die Klassifizierung als Biokunststoff wird auch die Kompostierbarkeit untersucht.

Leichte biologische Abbaubarkeit (OECD 301)

Die Tests der OECD-Testserie 301 (A - F) weisen einen raschen und vollständigen biologischen Abbau nach.

Leichte biologische Abbaubarkeit einen schnellen und einigermaßen vollständigen Abbau einer Prüfsubstanz in einem aquatischen Milieu unter aeroben Bedingungen. Unterschiedliche Testmethoden stehen für gut oder schlecht lösliche sowie für flüchtige Substanzen zur Verfügung.

- *Kohlendioxid - Entwicklungstest (OECD 301 B)*: Das durch den biologischen Abbau der Prüfsubstanz entstehende Kohlendioxid wird regelmäßig über 28 Tage analysiert und ist Indikator für den biologischen Abbau. Dieser sog. Sturm-Test wird für die Untersuchung schlecht wasserlöslicher Chemikalien verwendet.
- *Geschlossener Flaschentest OECD 301 D)*: Die biologische Abbaubarkeit der Prüfsubstanz wird bestimmt, indem in regelmäßigen Intervallen über einen Zeitraum von 28 Tagen der Verbrauch von gelöstem Sauerstoff ermittelt wird. Dieser Test wird für flüchtige Chemikalien verwendet.
- *Modifizierter OECD-Screening-Test (OECD 301 E)*: Die biologische Abbaubarkeit der Prüfsubstanz wird über die Messung des Dissolved Organic Carbon (= gelöster organischer Kohlenstoff) über einen Zeitraum von 28 Tagen ermittelt. Dieser Test wird bei ausreichend wasserlöslichen Chemikalien angewendet.

Inhärente Abbaubarkeit (OECD 302)

Die Tests der OECD-Testserie 302 (A - C) weisen eine zwar eingeschränkte, grundsätzlich aber doch mögliche biologischen Abbaubarkeit der untersuchten Chemikalie nach. Substanzen, die solche Tests bestehen, gelten als grundsätzlich oder inhärent biologisch abbaubar.

- Der *Zahn-Wellens-EMPA-Test (OECD 302 B)* untersucht die aerobe biologische Abbaubarkeit der Prüfsubstanz und gibt das Ergebnis über die Abnahme des chemischen Sauerstoffbedarfs oder des Dissolved Organic Carbon an. Es handelt sich um den meistverwendeten Test für die Untersuchung der inhärenten Abbaubarkeit. Er liefert zusätzlich Informationen über das Adsorptionsverhalten des untersuchten Stoffs.

Tensidverordnungs-Test

Häufig finden sich auf Wasch- und Reinigungsmitteln Herstellerangaben, wonach die dort verwendeten Tenside als biologisch abbaubar bezeichnet werden, weil sie „alle gesetzlichen Anforderungen bezüglich der biologischen Abbaubarkeit vollständig erfüllen“. Die Prüfungen nach den EU-Richtlinien 82/242/EEC bzw. 82/243/EEC (bzw. nach der Tensidverordnung zum deutschen Wasch- und Reinigungsmittelgesetz) sehen jedoch nur vor, dass anionische und nicht-ionische Tenside hinsichtlich ihrer Waschwirkung zu 80 Prozent abgebaut sein müssen; kationische Tenside sind in den gesetzlichen Prüfverfahren nicht berücksichtigt. Die Testverfahren untersuchen nur

den primären Abbau. Ein eventuell weitergehender Abbau der Prüfsubstanz, wie er in den OECD-Tests beschrieben wird, wird hier nicht betrachtet. Für kationische und auch für die amphoteren Tenside fehlen ähnlich wie für zahlreiche weitere Reinigungsmittel gesetzlich vorgeschriebene Prüfvorschriften.

Kompostierbarkeit

Biokunststoffe werden der *Prüfung der Kompostierbarkeit von Kunststoffen* unterzogen. Diese war in Deutschland unter der 2004 ersatzlos zurückgezogenen DIN-Norm DIN V 54900-1...3 beschrieben; die amerikanische ASTM D-6400 fordert eine Abbaubarkeit von Kunststoffen von 60% innerhalb von 180 Tagen, um Produkte als „kompostierbar“ zu kennzeichnen. Eine Anerkennung als biologisch abbaubarer Werkstoff und kompostierbarer Werkstoff erfolgt nur, wenn die Stoffe innerhalb von 12 Wochen in einer Industriekompostierung nach Europäischer Norm EN 13432 zu mindestens 90 % abgebaut werden.

Umgang mit persistenten Eigenschaften

Substanzen werden als *abbauresistent* bezeichnet, wenn sie keinem biologischen Abbau unterliegen. Werden sie auch durch sonstige chemische oder physikalische Abbauprozesse nicht zersetzt, so werden sie als persistent bezeichnet. Wegen der Persistenzproblematik ist neben dem chemischen und photochemischen Abbau sowie der Adsorption die biologische Abbaubarkeit von in die Umwelt eingetragenen Substanzen von großer Bedeutung. Die biologische Abbaubarkeit wird daher bereits bei der Zulassung von Chemikalien mit den genannten OECD-Tests geprüft. Kümmerer zufolge soll für eine nachhaltige Chemie eine möglichst vollständige Abbaubarkeit (Mineralisierung) nach der Anwendung der Chemikalien als ein Teil der Funktionalität betrachtet werden.

Literatur

- Franz Daschner (2006): *Praktische Krankenhaushygiene und Umweltschutz* Heidelberg, Springer; ISBN 354061219X
- Thomas Kluge (2002): Chemikalienbewertung – Vom Risiko zum Vorsorgekonzept. In: Günter Altner u. a. (Hrsg.): *Jahrbuch Ökologie 2003*. München, C. H. Beck, 141-148; ISBN 3-406-47624-4
- Klaus Kümmerer, Engelbert Schramm (2008): Arzneimittelentwicklung: Die Reduzierung von Gewässerbelastungen durch gezieltes Moleküldesign. In: *Umweltwissenschaften & Schadstoff-Forschung* 20(4), 249-263

Weblinks

- OECD-Bestätigungs- und OECD-Auswahltest [1]

Biomasse

Als **Biomasse** wird die gesamte organische Substanz bezeichnet. Basis für die Bildung von Biomasse ist die vor allem von Pflanzen betriebene Photosynthese, bei der Sonnenenergie absorbiert und durch Bildung von Biomasse gespeichert wird. Zur Biomasse werden sowohl lebende Pflanzen, als auch die von ihnen abgeleitete organische Substanz, wie Tiere und Mikroorganismen, als auch tote organische Substanz wie Totholz, Laub, Stroh und anderes gezählt. Die aus Biomasse entstandenen fossilen Energieträger (Kohle, Erdöl und Erdgas) werden ihr nicht zugeordnet. Die Natur produziert jährlich große Mengen an Biomasse, von der ein kleiner Teil als Nahrung, Futtermittel oder nachwachsender Rohstoff (Nawaro) zur stofflichen Nutzung oder zur Energiebereitstellung (Bioenergie) genutzt wird.



Tropischer Regenwald in Amazonien, Brasilien; Biomasse entsteht hier sowohl im Wald wie auch im Gewässer

Typen von Biomasse

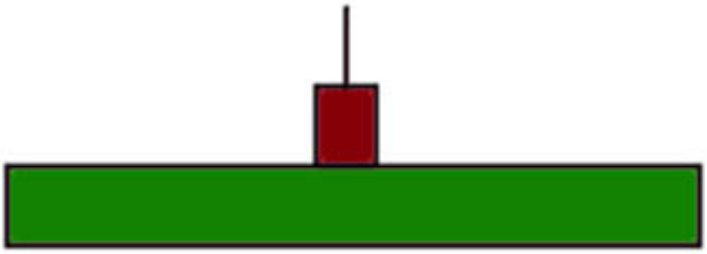
Biomasse wird vor allem von Pflanzen als Primärproduzenten gebildet. Konsumenten ernähren sich von diesen Pflanzen oder von anderen Konsumenten und setzen so z. B. die pflanzliche in tierische Biomasse um. Auch abgestorbene Pflanzen, Tiere und andere Lebewesen werden als Biomasse bezeichnet. Diese wird wiederum von Destruenten zersetzt und zum Aufbau lebender Biomasse genutzt. Fossile Energieträger sind in Millionen Jahre andauernden chemischen und geologischen Prozessen zwar aus Biomasse entstanden, werden dieser jedoch nicht zugeordnet. Torf wird meist nicht als Biomasse bezeichnet, sondern ebenfalls den fossilen Energieträgern zugeordnet.



Zuckerrohr ist ein wichtiger Lieferant von Biomasse, die als Nahrung oder energetisch genutzt wird.

Primärproduzenten (Phytomasse)

Die Photosynthese ist die Voraussetzung für die Bildung eines Großteils der Biomasse. Sie wird von so genannten Primärproduzenten, vor allem Pflanzen aber auch anderen Lebewesen (z. B. Cyanobakterien (Blaualgen)) betrieben. Die Primärproduzenten bilden die Basis der sogenannten Nahrungspyramide. Bei der Photosynthese wird Sonnenenergie in den grünen Chloroplasten von Pflanzen



Nahrungspyramide: 1000 kg Getreide pro Jahr werden von 3000 Feldmäusen in 90 kg Körpergewicht umgesetzt. Ein Mäusebussard frißt 3000 Feldmäuse pro Jahr und wiegt 1 kg. Somit wird nur ein geringer Teil der Biomasse in die nächste Trophiestufe weitergegeben.

absorbiert und als chemische Energie in der Biomasse gespeichert. Dazu werden Kohlendioxid (CO_2) aus der Luft, Wasser (H_2O) und andere Nährstoffe genutzt, um organische Verbindungen wie Kohlenhydrate (Zucker), Fette und Proteine zu synthetisieren. Da Zucker den größten Anteil der Biomasse ausmachen, wird die chemische Reaktion der Photosynthese meist mit dem häufigsten Monosaccharid (Einfachzucker) Glucose als Produkt dargestellt:

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O \xrightarrow{h\nu} C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \qquad \Delta H^0 = +2870\ \frac{kJ}{mol}$$

Ein Sonderfall ist die sogenannte Chemosynthese. Hier wird im Gegensatz zur Photosynthese die notwendige Energie nicht aus Licht, sondern aus anorganischen Stoffen wie Schwefelwasserstoff (H_2S) gewonnen, die z. B. an heißen Quellen aus der Erdkruste austreten. Ihr Anteil an der Gesamtproduktion an Biomasse ist allerdings sehr gering.

Konsumenten (Zoomasse)

Pflanzen werden von Primärkonsumenten (Pflanzenfresser, Herbivore) gefressen. Carnivore (Fleischfresser) können sich wiederum von Herbivoren (bei Sekundärkonsumenten) oder anderen Carnivoren (bei Tertiärkonsumenten) ernähren. Nur ein kleiner Teil der Pflanzen ist als Nahrung geeignet. Da die Konsumenten zudem den größten Teil der aufgenommenen Nahrung zur Energiebereitstellung verstoffwechseln (Katabolismus) und so nur einen kleinen Teil in körpereigene Substanz umwandeln (Anabolismus), stellen die Konsumenten nur einen geringen Teil der Biomasse.

Tote Biomasse

Einen großen Anteil der Biomasse macht tote organische Substanz aus. Sie besteht aus abgestorbenen Primärproduzenten und Bestandteilen (Totholz, Laub, Humus), Konsumenten sowie deren Ausscheidungen (Kot) und Rückständen. Ein Teil der toten Biomasse findet sich in Sedimenten von Seen und Meeren.

Destruenten

Die tote Biomasse dient weiteren Lebewesen, den Destruenten, als Nahrung. Zu ihnen gehören Bakterien-, Pilz-, Arthropoden- (Insekten, Milben, Tausendfüßer, etc.) und andere Arten. Sie führen letztlich zum weitestgehenden Abbau von Biomasse, so dass Nährstoffkreisläufe (Stickstoffkreislauf, Schwefelkreislauf, Phosphorkreislauf) geschlossen werden. Auch der beim Wachstum von den Primärproduzenten in Form von Kohlendioxid (CO_2) aufgenommene Kohlenstoff wird letztlich wieder als CO_2 in die Atmosphäre abgegeben.

Zusammensetzung von Biomasse

Lebewesen benötigen zum Wachstum verschiedene Nährstoffe. Dieses sind Verbindungen, die aus verschiedenen Elementen bestehen. In größerer Menge benötigte Elemente werden als Hauptnährelement (Makroelement), in geringer Menge benötigte Elemente als Spurenelement (Mikroelement) bezeichnet. In der Pflanzenernährung stellen Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Kalium, Schwefel, Calcium und Magnesium die Hauptelemente dar. Spurenelemente sind Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Chlor, Bor, Molybdän und andere. Aus diesen mit den Nährstoffen zugeführten Elementen werden durch den pflanzlichen Stoffwechsel zahlreiche verschiedene Verbindungen synthetisiert. Die quantitativ wichtigsten Verbindungen lassen sich zu drei Verbindungsklassen zusammenfassen:

- Kohlenhydrate (Zucker): Sie machen den größten Teil der Biomasse aus und bestehen aus Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff. Sie kommen z. B. als Monomer (Monosaccharid, Einfachzucker) Glucose (Traubenzucker), Disaccharid (Zweifachzucker) Saccharose (Rohr- oder Rübenzucker) oder als Polysaccharid (Vielfachzucker) Stärke und Cellulose haufig vor. In Pflanzen dienen sie als Energiespeicher (v. a. Stärke) oder Baustoff (v. a. Cellulose).

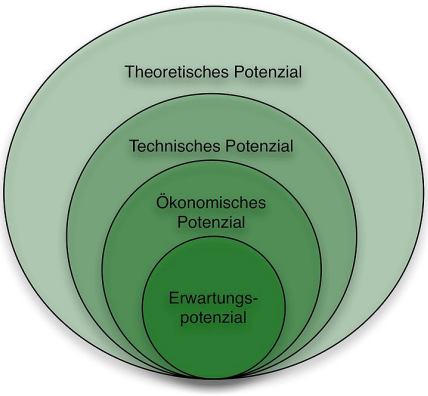
- Fette (Öle, Lipide): Fette kommen vor allem als Triacylglycerid vor, einem Esther aus drei Fettsäuren und Glycerin. Die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff sind enthalten, wobei der Sauerstoff einen deutlich kleineren Anteil ausmacht, als bei den Kohlenhydraten. Daher ist Fett pro Masse deutlich energiereicher. Es findet sich in Derivaten als Baustoff der Zellmembran, aber vor allem als Speichersubstanz, z. B. in Ölfrüchten.
- Proteine (Eiweiße): Proteine sind Polymere aus verschiedenen Aminosäuren. Sie bestehen aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel. Als Enzyme oder Baustoff (Strukturproteine) erfüllen sie zentrale Funktionen bei Pflanzen und Tieren.

Daneben finden sich noch viele weiter Verbindungen in Biomasse, wie Lignin, Nukleotide und anderes.

Den größten Teil der Biomasse machen lebende bzw. abgestorbene Pflanzen aus. Lebende Pflanzen bestehen vor allem aus Kohlenhydraten wie Cellulose. Mehrjährige Pflanzen bilden Holz, das vor allem aus Lignocellulose, einer Verknüpfung von Lignin und Cellulose, besteht. Nach dem Absterben von Pflanzen werden leicht abbaubare Verbindungen wie Proteine, Fette und Mono- und Oligosaccharide meist schnell abgebaut. Schwer bis sehr schwer abbaubare Verbindungen wie Cellulose und Lignocellulose überdauern deutlich länger.

Menge

(*siehe auch Artikel Biomassepotenzial*)



Abhängig von den Faktoren, die berücksichtigt werden, ergeben sich unterschiedliche Biomassepotentiale.

Die Gesamtmenge der Biomasse auf der Erde ist schwer abzuschätzen. In der Literatur finden sich unterschiedliche und z. T. widersprüchliche Angaben:

Die Gesamtmasse des Kohlenstoffs in lebenden Organismen wird auf $280 \cdot 10^9$ t, die Masse des Kohlenstoffs in der gesamten Biomasse auf $5600 \cdot 10^9$ t geschätzt.[1] Die Gesamtmasse aller Lebewesen soll $1800 \cdot 10^9$ t, die der tierischen Lebewesen $2{,}2 \cdot 10^9$ t und die des Menschen $0{,}4 \cdot 10^9$ t betragen.[2] Die jährlich durch Photosynthese erzeugte Biomasse wird, je nach Quelle, z. B. mit $150 \cdot 10^9$ t[3] , $170 \cdot 10^9$ t[4] oder $173 \cdot 10^9$ Tonnen angegeben. Die letztgenannte Schätzung geht dabei von $118 \cdot 10^9$ t im Festlandbereich und $55 \cdot 10^9$ t im marinen Bereich aus. Die jährliche Bio-Trockenmasse-Produktion wir auf 120 bis $164 \cdot 10^9$ t geschätzt.[5] [6] Die Biomasseproduktion auf den weltweit 40 Millionen km^2 Waldfläche soll $170 \cdot 10^9$ t betragen.[7] Die Masse der landwirtschaftlichen Abfälle wird auf 10 bis 14 km^3 geschätzt.[8] Das sind jährlich durchschnittlich 42,5 t neuer Biomasse pro ha. In naturbelassenen Wäldern steht dieser Produktion ein Abbau von Biomasse (Totholz, Laub, etc.) in ähnlicher Dimension gegenüber, so dass netto keine Zu- oder Abnahme erfolgt. Die jährlich allein in den Wäldern produzierte Biomasse enthält das 25-fache der Energie des jährlich geförderten Erdöls.[9]

Eine durchschnittliche 80-jährige Buche hat etwa eine Höhe von 25 Meter und besitzt eine Trockenmasse von 12 Tonnen Holz. In ihr sind etwa 6 Tonnen Kohlenstoff oder 22 Tonnen Kohlendioxid gebunden. Die Energiemenge des Holzes dieser Buche entspricht etwa 6000 Liter Heizöl. Eine lebende Buche erzeugt den Sauerstoffbedarf für 10 Menschen.

Das theoretisch nutzbare Biomassepotenzial der Erde entspricht einem Energieinhalt von 2.000 – 2.900 Exajoule der Landmasse und etwa 1000 Exajoule in Gewässern und Meeren. Technisch könnte man jährlich ca. 1.200 Exajoule nutzen. [10] Manche technisch möglichen Nutzungen haben jedoch bei ökonomischen Belangen Grenzen. Ökonomisch nutzbar nach Abwägung der Kosten wären nur ca. 800 Exajoule im Jahr. Der weltweite Verbrach an Primärenergie (Erdöl, Erdgas, Kohle, Atomenergie, Erneuerbarer Energie) betrug im Jahre 2004 etwa 463 Exajoule.[11]

Die Energie der jährlich erzeugten pflanzlichen Nahrungsmittel für die Erdbevölkerung entspricht etwa 20 Exajoule. Reste der Nahrungsmittelproduktion (Reis, Weizen, Mais, Zuckerrohr), die für den menschlichen Organismus nicht verwertbar sind wie Stengel, Hülsen usw. mit einem theoretisch gewinnbaren Energieinhalt von ca. 65 Exajoule werden derzeit einfach verbrannt. Die verbrannte Biomasse aus Resten der Nahrungsmittelproduktion beträgt jährlich etwa 2 Gigatonnen. Mindestens 38 Exajoule wären energetisch jährlich nutzbar.[10]

An den Stränden der Nordsee oder in einigen Badeseen und in Teilen der Weltmeere vermehren sich mitunter Algen im Sommer nahezu explosiv. Das Wasser färbt sich grün. Aus Sonnenlicht und Kohlendioxid bilden sich in kurzer Zeit Algen in großer Zahl. Es wird geschätzt, dass sich jährlich 45-50 Milliarden Tonnen Kohlenstoff des Kohlendioxids in Phytoplankton umwandeln. In den Weltmeeren sinkt das abgestorbene Phytoplankton auf den Meeresgrund. Etwa 15% oder 8 Mrd. Tonnen assimilierter Kohlenstoff des entstehenden Phytoplanktons sinkt in die Tiefe. Ohne das Phytoplankton der Meere läge die Kohlendioxidkonzentration in der Atmossphäre vermutlich statt bei 365 ppm bei 565 ppm. [12] Aus dem Phytoplankton, das in der Tiefsee unter hohem Druck steht, entsteht nach vielen Jahrtausenden schließlich Erdöl oder Erdgas.

Aus technischen, ökonomischen, ökologische und anderen Gründen ist nur ein Teil der Biomasse für die Nutzung durch den Menschen erschließbar, so dass beispielsweise ihr potentieller Beitrag zur Energieversorgung begrenzt ist.

Biomassenutzung

Biomasse hat eine wichtige Funktion als Lebens- und Futtermittel, Rohstoff (Nachwachsender Rohstoff (Nawaro)) und Energieträger (so genannte Bioenergien wie Brennholz, Biokraftstoff, etc.). Aber auch vom Menschen nicht genutzte Biomasse hat eine wichtige Funktion in Ökosystemen, z. B. als Nährstoff oder Lebensraum für verschiedenste Lebewesen. Darüber hinaus sind große Mengen des Treibhausgases Kohlendioxid (CO_2) in Biomasse gespeichert, so dass sie eine bedeutende Rolle für das Klima spielt.

Vor- und Nachteile der Biomassenutzung

(*siehe auch Artikel Bioenergie*)

Gegenwärtig verwendet oder beeinflusst der Mensch nach verschiedenen Quellen bereits 25 bis 40% der gesamten Biomasse-Nettoproduktion der Erde, um seine Nahrungsmittel- und Energie-Bedürfnisse zu befriedigen. Das ist mit verschiedenen Vor- und Nachteilen verbunden:

Vorteile

- Die Nutzung von Nawaros kann der Schonung von Rohstoffressourcen, wie z. B. Erdöl, dienen. Bei regionaler Bereitstellung der Nawaros kann die politische und ökonomische Abhängigkeit z. B. von Staaten mit großen Erdölvorkommen, sinken.
- Erneuerbare Energien aus Nawaros ermöglichen eine CO_2-neutrale bzw. eine CO_2-ärmere Energieerzeugung. (*siehe Artikel Bioenergie und Biokraftstoff*)

Nachteile

- Es wird in Ökosysteme eingegriffen, wie z. B. beim Holzeinschlag in Wäldern.
- Bei Ausweitung der Biomassenutzung werden Ökosysteme zerstört und damit die Biodiversität gefährdet, z. B. durch Rodung und anderweitige Erschließung von Flächen zur landwirtschaftlichen Nutzung. Vor allem bei der Brandrodung werden große Mengen CO_2 freigesetzt.
- Die zunehmende energetische und stoffliche Nutzung führt zur Nutzungskonkurrenz, z. B. wenn Getreide zur Treibstoffproduktion genutzt wird und dadurch nicht zur Herstellung von Lebensmittelproduktion bereitsteht. Auch eine Flächenkonkurrenz entsteht gegenüber der Nahrungsmittelproduktion, oder bei Erschließung neuer landwirtschaftlicher Flächen z. B. gegenüber Naturschutzbelangen (Biodiversität etc., s.o.). (*siehe Artikel Flächenkonkurrenz, Bioenergie und Biokraftstoff*)

- Bei der landwirtschaftlichen Biomasseerzeugung werden Düngemittel (Stickstoff-, Phosphor-, Kalidünger etc.) eingesetzt, die zu Treibhausgasemissionen (Lachgas aus Stickstoffdünger), Nitrat-Eintrag (NO_3^-) ins Grundwasser, Nährstoffeintrag in Oberflächengewässer (Eutrophierung) etc. führt. Durch Pestizideinsatz können Umwelt- und Gesundheitsschäden entstehen.
- Durch die Ausweitung der Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen werden Wasserressoucen genutzt, die z. B. ökologische wichtig sind oder andernorts die Trinkwasserversorgung sicherstellen.[13]

Biomassenutzung in Deutschland

Der größte Teil der in Deutschland erzeugten und einer Nutzung zugeführten Biomasse dient der Erzeugung von Lebensmitteln und Futtermitteln, als Nawaro zur stofflichen Nutzung (Nutzholz, Stärke, etc.) oder der klassischen energetischen Verwendung in Form von Brennholz. Seit mehreren Jahren findet eine deutliche Zunahme der Biomassenutzung statt. Hauptgrund ist die zunehmende energetische Verwendung (Bioenergie). Durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wird unter anderem der Einsatz von Biomasse zur Stromerzeugung gefördert. Das geschieht beispielsweise durch die Verbrennung von Holz in Biomasseheizwerken bzw. Biomasseheizkraftwerken oder durch die Vergärung von Gülle und Silage aus Energiepflanzen in Biogasanlagen und anschließende Verstromung des Biogases. Eine exakte rechtliche Definition von Biomasse findet durch die Biomasseverordnung (BiomasseV) statt. Die Nachhaltigkeit soll durch die Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV) sichergestellt werden. Eine weitere bedeutende energetische Verwendung ist die Erzeugung und Nutzung von Biokraftstoffen. Durch im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen reduzierten Steuersätzen (Energiesteuergesetz) und eine Zwangsbeimischung gemäß dem Biokraftstoffquotengesetz findet eine Förderung statt. Insbesondere bei importierten Rohstoffen zur Biokraftstoffherstellung war die Nachhaltigkeit bisher nicht sichergestellt. Durch die seit September 2009 gültige Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV) soll die Herkunft der Rohstoffe kontrolliert werden, z. B. durch die Zertifizierung von Biomasse. Durch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) soll die nachhaltige Bereitstellung von Wärme, z. B. für das Heizen von Gebäuden, gewährleistet werden. Die Nutzung von Biomasse (Pelletheizung, Hackschnitzelheizung, etc.) stellt eine Option dar.

Die Nutzung von Holz, Stroh zu Heizzwecken in Deutschland steigerte sich zwischen 1995 bis 2006 von 124 Petajoule auf 334 Petajoule. Die Herstellung von Biodiesel erhöhte sich von 2 Petajoule im Jahr 1995 auf 163 Petajoule im Jahr 2006. Die Biogasproduktion nahm von 14 Petajoule im Jahr 1995 auf 66 Petajoule im Jahr 2006 zu.[14] Zum Vergleich: Der gesamte Mineralölverbrauch in Deutschland betrug 5.179 Petajoule im Jahr 2006.

Bei der Stromerzeugung steigerte sich der Anteil aus Biomasse und biogenem Abfall von 670 GWh bzw. 1.350 GWh im Jahr 1995 auf 14.988 GWh bzw. 3.600 GWh im Jahr 2006. Die Stromerzeugung aus Biomasse entsprach im Jahr 2006 etwa der Stromerzeugung aus Wasserkraft.[14]

Siehe auch

- Bioraffinerie
- Halmgutartige Biomasse
- Stärke als nachwachsender Rohstoff
- Zucker als nachwachsender Rohstoff

Literatur

- Nachhaltige Bioenergie: Stand und Ausblick [19] Zusammenfassung bisheriger Ergebnisse des Forschungsvorhabens "Entwicklung von Strategien und Nachhaltigkeitsstandards zur Zertifizierung von Biomasse für den internationalen Handel" von Öko-Institut/IFEU, i.A. des Umweltbundesamts. Darmstadt/Heidelberg 2009. (PDF-Datei; 343 kB)

- Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung; Jahresgutachten 2008; Berlin [15] (PDF-Datei; 17,20 MB)
- Treibhausgasbilanzen und kumulierter Primärenergieverbrauch von Bioenergie-Konversionspfaden unter Berücksichtigung möglicher Landnutzungsänderungen; Fritsche, Uwe R./Wiegmann, Kirsten; Expertise des Öko-Instituts zum WBGU-Gutachten 2008; Berlin [23] (PDF-Datei; 1,62 MB)
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations): The State of Agriculture 2008 - Biofuels: prospects, risks and opportunities; Rom [24]
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): *Klimaschutz durch Biomasse.* Sondergutachten. Erich Schmidt, Berlin 2007. ISBN 3-503-10602-2
- Bundesamt für Naturschutz (BfN): *Biomasseproduktion - der große Nutzungswandel in Natur und Landschaft.* [16] Tagungsdokumentation. Bonn 2007.
- Nutzungskonkurrenzen bei Biomasse [17] - Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie vom April 2008

Weblinks

- Biomasseverordnung BRD [18]
- BINE (öffentlich geförderter Informationsdienst für Themen der Energieforschung): Biomasse [19]
- Hintergrundinformationen zur Nachhaltigkeit von Biotreibstoffen [20] - "Rettet den Regenwald e.V."
- Studie zur Ökobilanz von Biomasse [21] - Schweizer Bundesamt für Energie
- *Global net primary productivity* [22] - Übersichtskarte über die globale Primärproduktion von Biomasse an Land und im Meer, Institut of Environmental Systems Research, Osnabrück

Referenzen

[1] http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d54/54d.htm
[2] http://www.brefeld.homepage.t-online.de/leben-auf-der-erde.html Das Leben auf der Erde und seine Masse
[3] http://www.enviam.de/welt/energie_und_wissen/energie_erzeugung/biomasse_ursprung.html
[4] http://gw.eduhi.at/thema/energie/biomass/biomass.htm
[5] http://www.vdi-nachrichten.com/vdi-nachrichten/aktuelle_ausgabe/article.asp?cat=1&id=3250&source=archiv
[6] http://www.uni-potsdam.de/u/zfu/ub/vc/3_4_funktionen.htm
[7] http://www.bine.info/hauptnavigation/publikationen/publikation/holz-energie-aus-biomasse/
[8] Deutschlandfunk / *Forschung aktuell* vom 8. NOV. 2009
[9] Craig Morris: Zukunftsenergie – Die Wende zum nachhaltigen Energiesystem, Heise Zeitschriften Verlag GmbH & Co. KG, Hannover 2006, S. 39 ff
[10] Landolt-Börnstein, New Series VIII 3C, 5. Biomass, S. 334 ff
[11] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Energiedaten, Tab. 31, Primärenergieverbrauch nach Ländern und Regionen
[12] Paul G. Falkowski: Der unsichtbare Wald im Meer, Spektrum der Wissenschaften, Heft 6/2003, S. 56 ff.
[13] "Wenn die Flüsse versiegen", Fred Pearce, Verlag Antje Kunstmann, 1. Auflage 2007
[14] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Energiedaten, Tab. 20, Erneuerbare Energien

Biomasseheizkraftwerk

Ein **Biomasseheizkraftwerk** (BMHKW) und ein **Biomassekraftwerk** (BMKW) erzeugen mit gleichen oder ähnlichen Verfahren durch die Verbrennung fester Biomasse elektrische Energie. Ein **Biomasseheizkraftwerk** stellt darüber hinaus Wärme bereit, die als Fern- oder Nahwärme oder als Prozesswärme genutzt werden kann. Bei reiner Wärmebereitstellung spricht man von einem Biomasseheizwerk (BMHW).

Als Rohstoff werden feste Brennstoffe (Biogener Festbrennstoff) wie z. B. Reste aus der Holzverarbeitung, nicht als Nutzholz geeignetes Waldholz, Stroh und Altholz eingesetzt. Ein Holz(heiz)kraftwerk (H(H)KW) ist ein mit Holz betriebenes Biomasse(heiz)kraftwerk.



Holzheizkraftwerk in Oerlinghausen



Dampfturbine des Biomasseheizkraftwerkes Mödling mit einer elektrischen Leistung von 5000 kW und einer thermischen Fernwärmeleistung von 20000 kW

In Biomasseheizkraftwerken werden verschiedene Verfahren zur Stromerzeugung und Wärmebereitstellung eingesetzt. Bedeutende Anlagentypen sind Biomasse-Dampfkraftwerke, ORC-Anlagen und thermische Biomassevergaseranlagen.



Biomassekraftwerk Lünen, Betreiber: Evonik, Leistung: 20 MW_{el}

Biomasse-Dampfkraftwerke

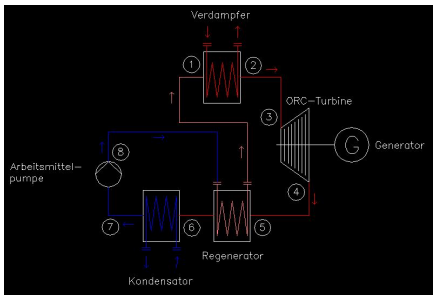
Der Brennstoff wird in einem auf den Brennstoff abgestimmten Dampfkessel verbrannt. Die meisten Anlagen arbeiten mit Rostfeuerungen, größere Anlagen auch nach dem Wirbelschichtverfahren. Beim Rostkessel wird der Brennstoff auf einem in der Regel mechanisch angetriebenen Rost über verschiedenen Zonen getrocknet, dann gezündet und verbrannt. Beim Wirbelschichtkessel wird der Brennstoff direkt in den Feuerraum gegeben. Die leichteren Bestandteile verbrennen im Flug, die schwereren fallen nach unten in ein Fluidisierungsmedium, meistens Sand, welcher die Verbrennung homogenisiert und den Brennstoff in der Schwebe hält. Im Boden des Kessels wird Luft eingedüst, um das Brennstoff-Sand-Gemisch zu verwirbeln und es zu fluidisieren. Das entstehende heiße Rauchgas wird bei beiden Verfahren durch Kesselzüge geleitet, die bei größeren

Anlagen wassergekühlte Membranwände haben. Im Bereich der Flammenbildung und starker Strahlungsbelastung sind die Wände mit einer feuerfesten Ausmauerung ausgekleidet, um die thermische und chemische Belastung der

Wände zu verringern. In den nachgeschalteten Rauchgaszügen sind Rohrschlangen eingebaut, die als Verdampferfläche, als Überhitzer- und Economiserflächen geschaltet sind. Der überhitzte Dampf wird einer Turbine zur Stromerzeugung zugeführt und danach zumeist zusätzlich als Fernwärme bzw. Nahwärme genutzt. Gegebenenfalls sind die letzten Economiserflächen noch zur direkten Wärmeauskopplung vorgesehen. Das Rauchgas wird in einer Rauchgasreinigungsanlage gereinigt und über einen Kamin emittiert.

ORC-Anlagen

Bei Biomasse-ORC-Anlagen wird zumeist ein Rauchrohr-Wärmetauscher eingesetzt, der von einer biomassebeheizten Feuerbox mit heißen Rauchgasen beaufschlagt wird und dabei das Wärmeträgeröl (Thermalöl) erhitzt. Das nun etwa bis 400 °C heiße Öl wird der eigentlichen ORC-Anlage zugeführt, die über einen klassischen Dampfprozess Strom erzeugt. Als Arbeitsmedium wird jedoch kein Wasser verwendet, sondern Verbindungen, die bei niedrigeren Temperaturen verdampfen. Das Rauchgas ist nach der Wärmeübertragung auf das Thermalöl meist noch über 400 °C heiß und kann daher in einem zweiten, nachfolgenden Wärmetauscher Wasser erhitzen, z. B. für die Bereitstellung von Fernwärme.[1]



Vereinfachtes Verfahrensfließbild eines ORC-Prozesses

Thermische Biomassevergaseranlagen

Bei diesem Verfahren wird Biomasse durch Pyrolyse vergast. Das Abgas wird im heißen Zustand vorgereinigt, danach abgekühlt, gefiltert und in einem Wäscher gewaschen. Anschließend erfolgt die Verstromung mittels eines Gasmotors.

Diese Technologie wurde im Heizwerk Civitas Nova in der Wiener Neustadt sowie in Güssing (Burgenland) eingesetzt.[2] Anlagen solchen Typs erreichen derzeit jedoch nicht mehr als 6.000 Volllaststunden und können deshalb nicht als technologisch ausgereift bezeichnet werden (Stand 2006).[3] Nichtsdestotrotz wurde in Oberwart (Burgenland) eine neue Anlage mit einer Leistung von 2.500 kW elektrisch installiert.

Effizienz

Moderne, mit Holz befeuerte Biomassekraftwerke erreichen elektrische Bruttowirkungsgrade von rund 30%, sofern sie mit Zwischenüberhitzung arbeiten bis zu 37 %.[4] In einem Biomassekraftwerk gehen also 60% der Bioenergie als Wärme verloren, und deshalb werden Heizkraftwerke gebaut, die die Kondensationsenergie als Nutzwärme entgeltlich zum Zwecke der Raumwärmebereitung und Prozesswärmebereitung abgeben. Diese Heizkraftwerke haben einen Nutzungsgrad (elektrisch und thermisch) von bis zu 85%.

Abgasreinigung

Alle Typen der Biomasseheizkraftwerke haben eine Abgasreinigung. Dabei kommen zur Entstaubung folgende Anlagen einzeln oder in Serie zum Einsatz

- Zyklon
- Mulitzyklon
- Elektrofilter
  - trocken
  - nass
- Schlauch- oder Gewebefilter
- Wäscher

- Rauchgaskondensation- und Entschwadungsanlagen

Die Reinigung stark belasteter Rauchgase erfolgt meistens mit Kalkhydrat zur Neutralisation der Säuren und Herdofenkoks (Aktivkohle) als Adsorbens. Die Asche aus dem Rauchgasstrom lagert sich an Gewebefiltern ab, die regelmäßig abgereinigt werden. Die Neutralisation von Stickoxiden erfolgt meistens durch das SNCR-Verfahren mit Ammoniak bzw. Ammoniaklösung oder Harnstoffeindüsung.

Brennstoffe



Feine Laubholz-Hackschnitzel und grobe Nadelholz-Hackschnitzel

Zur Verwendung in Biomasseheizkraftwerken sind verschiedene feste Brennstoffe geeignet, z. B.:

- Holzhackschnitzel aus:
  - unbehandeltem forstwirtschaftlichem Frischholz; neben dem Stammholz wird vermehrt auch der Voll- und Ganzbaum genutzt (Äste, Reiser, Nadeln, Wurzelstöcke)
  - Altholz gemäß der Altholzverordnung (Schadstoffklassen A I bis A IV), auch kunststoffbeschichtete, lackierte, oder mit Holzschutzmitteln imprägniert Brennstoffe (z. B. Bahnschwellen) können in Anlagen mit entsprechender Abgasreinigung zulässig sein; die eingesparten Entsorgungskosten und der hohe Heizwert können Altholz zu einem billigen Rohstoff machen
  - Kurzumtriebsplantagen
- Holzpellets
- Getreide, Stroh
- Riesen-Chinaschilf (Miscanthus)
- viele andere energiereiche organische Reststoffe
- Ersatzbrennstoffe: billige Reststoffe großteils organischen Ursprungs (aber oft hohen anorganischen Anteilen und Schadstoffgehalten) wie:
  - Treibsel (Schwemmholz der Küsten, oft vermengt mit anderen angeschwemmten Stoffen)
  - Spuckstoffe aus dem Altpapier-Recycling
  - Sortierreste aus dem Dualen System
  - Schredderleichtfraktion (nicht recyclingfähige Teile von Schrottautomobilen, z. B. Armaturenbretter, Sitze)
  - Klärschlamm
  - Textilfasern
  - und vieles mehr

Ökologische Bewertung

Die Brennstoffe werden in der CO_2-Bilanz als neutral bezeichnet, da sie beim Verbrennen nur das beim Erzeugen aufgenommene CO_2 abgeben. Unberücksichtigt bleibt hierbei aber das bei Gewinnung, Aufbereitung und Transport emittierte Kohlendioxid, sowie bei Einsatz von Altholz das Mitverbrennen von z. T. erheblichen Anhaftungen nicht CO_2-neutraler Substanzen (Beschichtungen, Imprägnierungen).

Insbesondere der Einsatz von behandeltem Altholz und Ersatzbrennstoffen stößt bei geplanten Projekten auf oft heftige Kritik von Bürgerinitiativen und Umweltschutzorganisationen. Kritisiert wird unter anderem, dass der Begriff *Biomasse* bei Brennstoffen mit hohen Anteilen von anhaftenden Kunststoffen mit und ohne Chlorgehalt, Imprägnierungen, sowie Schwermetallen sehr fragwürdig sei. Es handele sich dann eher um eine (auch noch staatlich subventionierte) Müllverbrennung. Schwierig sei auch die Kontrolle, ob in Anlagen nach TA Luft tatsächlich kein hochbelastetes Altholz verbrannt wird.

Verbrennungsrückstände

Die festen Verbrennungsrückstände sind, je nach eingesetztem Brennstoff, verschieden stark mit Schadstoffen, wie z. B. Schwermetallen, belastet. Holzasche unbelasteter Brennstoffe kann meist als Dünger verwendet werden, während die Asche belasteter Althölzer meistens auf Sondermülldeponien eingelagert werden muss. Das Düngemittelgesetz (DüMG) und die Düngemittelverordnung (DüMV) geben Grenzwerte vor.

Politische Rahmenbedingungen

Deutschland

In Deutschland wird die Erzeugung von Strom aus Biomasse durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert. Das Gesetz garantiert für 20 Jahre einer erhöhte Grundvergütung. Durch eine Staffelung erhalten kleinere Anlagen eine höhere Vergütung als große Anlagen. Bei einer elektrischen Leistung von über 5 MW aber unter 20 MW gilt die Grundvergütung nur bei gleichzeitiger Kraft-Wärme-Kopplung. Zusätzliche Erhöhungen sind möglich, wenn die Bedingungen für den Nawaro-Bonus und/oder den Technologie-Bonus erfüllt werden. Zweck des EEGs ist der Klima- und Umweltschutz, die Schonung von Ressourcen und die Verringerung der Abhängigkeit von Energieimporten. Dieses erfolgt durch die Förderung von Bioenergien und anderen erneuerbaren Energien. Durch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWG) wird die Nutzung von Wärme unter anderem aus Biomasse gefördert. Die Nachhaltigkeit der Energiegewinnung aus Biomasse soll durch die Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (Biomasse-NachV) sichergestellt werden.

(siehe auch Artikel Erneuerbare-Energien-Gesetz und Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz)

Österreich

In Österreich wird die Erzeugung von Strom nach dem Ökostromgesetz gefördert. Der Einspeisetarif hängt vom Jahr der Inbetriebnahme, von der Art des eingesetzten Brennstoffs und von der elektrischen Engpassleistung ab, und ist grundsätzlich fallend. Die Vergütungsdauer beträgt derzeit 13 Jahre für Kraftwerke die vor dem 1. Januar 2006 in Betrieb gegangen sind. Für Kraftwerke die nach dem 1. Januar 2006 in Betrieb gehen wird der Einspeisetarif für 15 Jahre garantiert, jedoch ist ein Gesamtwirkungsgrad von über 60% erforderlich, der somit eine Wärmeauskoppelung erforderlich macht. [5]

Umweltauflagen

Deutschland

Die Auflagen für den Immissionsschutz hängen vom jeweils verwendeten Brennstoff ab. Wird unbehandeltes Holz eingesetzt, so gilt die Technischen Anleitung Luftreinhaltung (TA Luft). Wird Altholz eingesetzt, so wird nach der 17. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImschV) genehmigt. Im Einzelfall sind erleichternde Ausnahmeregelungen oder auch verschärfte Auflagen möglich.

Österreich

Die Emissionsauflagen werden in der Feuerungsanlagen-Verordnung [6] und dem Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen [7] geregelt. Diese betragen derzeit rund 50 mg/m³ Staub und 300 mg/m³ für NOx, bezogen auf 13% O2, sind jedoch im Detail von der Anlagengrösse abhängig.

Anlagen in Deutschland, Österreich und der Schweiz

Biomasseheizkraftwerke werden bereits seit Jahrzehnten im industriellen Umfeld, wie beispielsweise an Papierfabriken, errichtet. Kostenlos oder preiswert anfallende Abfälle und Reststoffe ließen und lassen sich so wirtschaftlich verwerten. In den vergangenen Jahren sind aufgrund geänderter Rohstoffpreise und politischer Rahmenbedingungen (z. B. EEG) verstärkt zusätzliche Werke errichtet worden. Einige Werke werden im Folgenden beispielhaft vorgestellt.

Deutschland

(siehe auch: Liste deutscher Kraftwerke - Biomassekraftwerke)

Im nordrhein-westfälischen Lünen betreiben seit 2006 die Steag und Remondis ein Kraftwerk mit Altholz als Brennstoff und einer elektrischen Leistung von 20 MW. Ein weiteres Kraftwerk der gleichen Leistung wird, ebenfalls seit 2006, in Hamburg betrieben. Die MVV Energie betreibt seit 2003 in Flörsheim-Wicker (15 MW) und in Mannheim (20 MW) zwei Holzhackschnitzel-Kraftwerke. Weitere Biomasseheizkraftwerke sind das Biomasse-Heizkraftwerk Ilmenau in Thüringen, das Biomasseheizkraftwerk Sellessen in Spremberg und ein Holzheizkraftwerk in Oerlinghausen (Kreis Lippe, seit 2005).

Von den 207 aktuell (2009) durch C.A.R.M.E.N. (Verein zur Förderung nachwachsender Rohstoff) geförderten Biomasseanlagen werden 198 mit Holzhackschnitzeln betrieben und 107 explizit mit Waldhackgut. 29 waren als Biomasseheizkraftwerke gekennzeichnet.[8]

Österreich

Eines der ersten leistungsstarken österreichische Biomasseheizkraftwerk steht seit 2004 im Kufsteiner Stadtteil Endach. Es ist ein Gemeinschaftsprojekt der Stadtwerke Kufstein und der TIWAG (Tiroler Wasserkraft AG).[9]

2006 wurde im Kraftwerk Simmering in Wien das Blockkraftwerk 3, das bisher größte Wald-Biomassekraftwerk Europas, in Betrieb genommen. Bei gleichzeitiger Abgabe von 37 MW Fernwärme können 24,5 MW elektrische Energie geliefert werden.[10] Das Kraftwerk hat einen Liefervertrag mit der Österreichischen Bundesforsten AG über die Lieferung des Brennmaterials abgeschlossen. Mittlerweile kommen die Hackschnitzel für das Werk Simmering auch aus Deutschland (Kelheim an der Donau) und entgegen den ursprünglichen Planungen und Zusagen hat sich der Bezugsradius auf 450 km erweitert.

2006 hat die EVN Wärme in Mödling und Tribuswinkel je ein Biomasseheizkraftwerk mit 5 MW elektrischer und 15 MW thermischer Fernwärme-Leistung in Betrieb genommen. Beide Biomasseheizkraftwerke sind hocheffiziente Kraftwerke im Sinne der europäischen KWK-Richtlinie. Mit diesen beiden Werken wird die Grundlastwärmebereitstellung vom Fernwärmenetz Großraum Mödling bzw. des Fernwärmenetzes Baden bewerkstelligt.[11]

Schweiz

In Domat/Ems steht eines der größten Biomassekraftwerke Europas. Es hat eine Feuerungswärmeleistung von 85 MW.

In Basel ist Ende 2007 die Inbetriebnahme des größten Holzheizkraftwerks der Schweiz geplant. Es entsteht direkt neben der bestehenden KVA (Kehricht- bzw. Müllverbrennungsanlage) und speist Wärme ins bestehende Nahwärmenetz ein. Etwa 70 % Waldholz und bis zu 30 % Altholzeinsatz sind beabsichtigt. Träger sind regionale Waldbesitzer und die IWB (Industrielle Werke Basel, Stadtwerke).

Das Holzheizkraftwerk Aubrugg wird getragen von den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich (EKZ), der Entsorgung + Recycling Zürich (ERZ) und der ZürichHolz AG. Als Brennstoff sollen Holzschnitzel verwendet werden, welche aus Wäldern im Kanton Zürich und zu einem kleineren Teil aus Sägerei- und Gärtnereibetrieben stammen. Bei einer Feuerungswärmeleistung von 42 MW, einer thermischen Nennleistung von 28 MW und einer

elektrischen Nennleistung von 11 MW können während der Wintermonate aus ca. 265.000 Sm^3 (Schüttgutkubikmeter) Hackschnitzel jährlich 104.000 MWh Wärme und 38.000 MWh Strom produziert werden.[12]

Literatur

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: *Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen*, Gülzow (2005), zweite, überarbeitete Auflage, ISBN 3-00-015389-6, als pdf [26] erhältlich
- Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ) und Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL): Zwischenbericht "Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse 2008" (pdf) [13], 03/2009, 65-seitig, finanziert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).

Weblinks

- www.iwr.de – Links zum Thema Biomasseheizkraftwerke [14]
- www.iwr.de – Liste verschiedener Biomasse-Interessenverbände [15]
- Österreichischer Biomasseverband [16]
- 17. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) [17]

Biomasseheizkraftwerke und Betreiber

- BMHKW Hamburg [18]
- Holzheizkraftwerk Oerlinghausen [19]
- Biomasseheizkraftwerk Pfaffenhofen [20]
- Bioenergie Kufstein GmbH [21]
- EMC Bioenergie [22]
- Biomassekraftwerk Wicker [23]
- Biomasse Kirchdorf,Trocknung Kirchdorf [24]
- ORC-Biomasse Kraftwerke [25]
- ESR Biomasseheizkraftwerk Sulzbach-Rosenberg [26]
- TEGRA Holz & Energie Domat/Ems [27]
- Wald-Biomassekraftwerk im Kraftwerk Simmering / Wien [28]

Kraftwerksgegner

- Bürgerinitiative IGBU (Interessengemeinschaft Bürger und Umwelt) [29] – Beispiel einer Bürgerinitiative gegen ein „Biomassekraftwerk“ mit Altholzverbrennung in Bergkamen

Referenzen

[1] Biomasse-KWK mit ORC-Technik, Konferenzvortrag in 2006 (http://www.hessenenergie.de/Downloads/Veranstaltungen/Nachl-TF-BiomasseKWK/TF-PDFs/5_TF-Duvia_Turboden.pdf)

[2] http://www.eee-info.net/cms/Stand: 15. November 2006

[3] http://www.eee-info.net/cms/netautor/napro4/wrapper/media.php? Stand: 15.November 2006

[4] http://www.kab-takuma.com/references/upload-docs/Bischofferode_deutsch.pdf Biomasskraftwerk Bischofferode-Holungen

[5] (http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20002168) Ökostromgesetz, Stand 23. Januar 2010

[6] (http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10007873)Feuerungsanlagen-Verordnung - FAV, Stand 23. Januar 2010

[7] (http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20003809) Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen - EG K, Stand 23. Januar 2010

[8] http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/pro_ener.html Durch C.A.R.M.E.N. Geförderte Biomasseanlagen

[9] http://www.bioenergie-kufstein.at/Stand: 15. November 2009

[10] Wien Energie Wald-Biomasse Technische Daten (http://www.wienenergie.at/we/ep/programView.do?channelId=-26988&programId=17321&pageTypeId=11894) Stand 15. November 2009
[11] Pressemeldung der EVN AG (http://www.evn.at/Medien/Naturwarme-und-Naturstrom-aus-Biomasse-fur-die-Sta.aspx?listnode=/Medien) Stand: 15. November 2009
[12] Quelle: Holzheizkraftwerk (HHKW) Aubrugg, Projektbeschrieb

Biomasseheizwerk

Ein **Biomasseheizwerk** ist ein Heizwerk, das als Brennstoff Biomasse einsetzt. Die erzeugte Wärme wird in Form von Heißwasser oder Dampf über ein Wärmenetz an die Abnehmer geliefert. Im Gegensatz zum *Biomassekraftwerk* und zum Biomasseheizkraftwerk wird keine elektrische Energie erzeugt.

Befindet sich die Anlage im zu beheizenden Gebäude, spricht man, je nach Brennstoff, z. B. von Holzheizung, Hackschnitzelheizung usw..



2 MW-Biomasseheizwerk in Lübeck mit Holzhackschnitzel als Brennstoff

Funktion

→ *Hauptartikel: Heizwerk*

Ein Biomasseheizwerk verwendet als Brennstoff Biomasse, unterscheidet sich in der Funktion ansonsten aber nicht von einem konventionellen Heizwerk. Es findet eine zentrale Erzeugung von Wärme oder Dampf in einem Heiz- oder Dampfkessel statt. Über ein Nah- oder Fernwärme-Netz erfolgt die Verteilung. Abnehmer sind große Wohn-, Geschäfts-, Verwaltungsgebäude oder andere Verbraucher mit hohem Raumwärmebedarf. Vorteile der zentralen Wärmebereitstellung ist, daß nicht jeder Haushalt einen eigenen Heizkessel benötigt. Zudem ist eine bessere Abgasreinigung möglich. Nachteilig sind die hohen Kosten und Leitungsverluste durch das Wärmenetz.

Heute werden Biomasseheizwerke zumeist für den Leistungsbereich von 300 bis 20.000 kW errichtet, und haben zur Abdeckung der Lastspitzen einen fossil befeuerten Ausfalls- und Spitzenlastreserve-Kessel für Reservezwecke.[1] Grössere Anlagen, also mit einer Gesamtleistung ab ca. 10.000 kW, werden bevorzugt als (Biomasse-)Heizkraftwerken errichtet, in denen durch Kraft-Wärme-Kopplung eine kombinierte Erzeugung von Strom und Wärme stattfindet.

Ein Biomasseheizwerk stehr immer in einen eigenen Baukörper und besteht im allgemeinen aus folgenden Anlagenteilen: Brennstofflager, Brennstofftransporteinrichtung, Kesselbeschickung, Brenn- oder Feuerkammer, Wärmetauscher, Rauchgasreinigungszyklon, Elektrofilter, Kamin, Entaschung und Aschecontainer.

Brennstoffe

Häufig eingesetzte Brennstoffe sind Sägespäne, Sägerestholz, Rinde, Waldhackgut, unbehandelte Resthölzer und/oder Pellets.

Die Nutzung von Bioenergie, wie z. B. Wärme aus Biomasseheizwerken, wird durch Gesetze wie das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWG) gefördert, da dies unter anderem ökologische Vorteile haben kann. *(siehe Hauptartikel Bioenergie)*

Die Nutzung von Waldhackgut wird teilweise diskutiert, da dies die Nutzung des Ökosystems Wald und damit den Entzug von Nährstoffen erhöhen würde. In Biomasseheizwerken stellt dieses jedoch nur einen Teil des Brennstoffs.

Entwicklung

In den vergangenen beiden Jahrzehnten hat die Verbreitung von Biomasseheizwerke stark zugenommen. Ende der 1980er nahm die Nutzung von Brennholz ab, da die vollautomatische Wärmebereitstellung durch Öl- und Gasheizung deutlich komfortabler war. Um die Nutzung von Holz zu ermöglichen, begannen einzelne Landesregierungen in Österreich, den Ausbau von Fernwärme zu fördern. Vorbildlich war hier das Land Salzburg, und so sind in Lofer, Lamprechtshausen, Bramberg usw. die ersten Biomasseheizwerke mit Fernwärme vor/um 1990 entstanden. Nachfolgend haben auch andere Regierungen wie Niederösterreich oder Bayern durch Investitionsförderungen eine wirtschaftliche Grundlage geschaffen, so dass in den genannten Bundesländern um das Jahr 2000 zahlreiche Anlagen errichtet waren.

Ab dem Jahr 2000 begannen die Regierungen der Europäischen Union den Ausbau der Biomassenutzung zu fördern. Heute sind staatliche Förderungen für den Aufbau von Biomasseheizwerken in der Höhe von bis zu 30% der Investitionen üblich. In Österreich wurden beispielsweise seither mehr als 1000 Biomasseheizwerke mit einer Kesselleistung von mehr als 500 kW errichtet, die teilweise gesamte Orte, teilweise nur Industriebetriebe mit Wärme versorgen.

Heutiger Stand

Biomasseheizwerke werden heute mit einem biogenen Leistungsbereich zwischen 300 kW und 5 MW errichtet. Kleinere Einheiten werden zumeist direkt im wärmeabnehmenden Objekt angeordnet, größere Einheiten erzeugen meist als Heizkraftwerke sowohl Strom als auch Wärme. Durch die Weiterentwicklung des Organic Rankine Cycle-Prozesses (ORC) kann die Stromerzeugung in Heizwerken (Heizkraftwerken) wirtschaftlich werden.[2] Die Stromerzeugung bei Biomasseheizkraftwerken wird im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert.[3] Insbesondere Anlagen mit geringer Leistung erhalten einen Vergütungsaufschlag auf Strom, der in das Netz eingespeist wird.

Literatur

- Arbeitsgemeinschaft Qualitäts-Management für Holzheizwerke für Schweiz, Deutschland, Österreich. [4]: *Planungshandbuch (für Biomasseheizwerke)*. ISBN 3-937441-94-8
- Zehnjährige Bestandsjubiläum des Biomasseheizwerks Gföhl Stand 22. Feber 2009 [5]
- Hermann Stockinger, Ingwald Obernberger; *Systemanalyse der Nahwärmeversorgung mit Biomasse*. ISBN 978-3-9501980-1-0.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: *Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen*, Gülzow (2005), zweite, überarbeitete Auflage, ISBN 3-00-015389-6, als pdf [26] erhältlich

Weblinks

- Arbeitsgemeinschaft Qualitäts-Management für Holzheizwerke für Schweiz, Deutschland, Österreich. [6]
- Qualitäts-Management für Holzheizwerke in Österreich. [7]

Referenzen

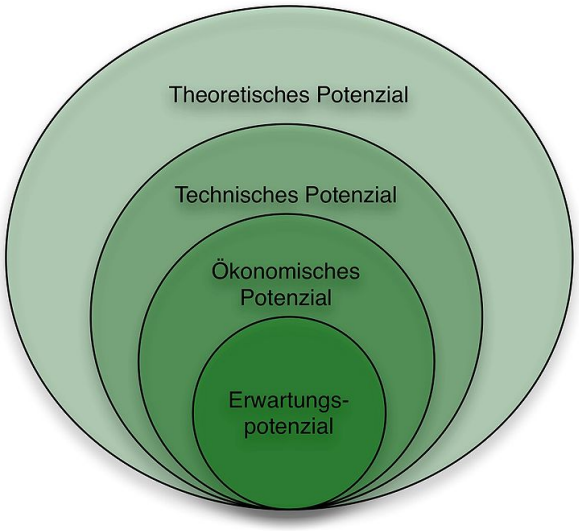
[1] http://www.ternitz.gv.at/news.php?id=137 Biomasseheizwerk mit 22 MW Gesamtleistung

[2] Biomasse-KWK mit ORC-Technik, Konferenzvortrag in 2006 (http://www.hessenenergie.de/Downloads/Veranstaltungen/Nachl-TF-BiomasseKWK/TF-PDFs/5_TF-Duvia_Turboden.pdf)

[3] Volltext des EEG 2009 bei juris (http://bundesrecht.juris.de/eeg_2009/index.html)

Biomassepotenzial

Das **Biomassepotenzial** ist ein Begriff, der zur Abschätzung möglicher Beiträge der Biomasse am Energie- oder Rohstoffmarkt verwendet wird. Als Zielgröße gibt das Biomassepotenzial an, welche Anbauflächen oder Rohstoffmengen in einer Region zur Nutzung als nachwachsende Rohstoffe zur Verfügung stehen.



Das theoretische Biomassepotenzial umfasst das gesamte physikalische Angebot, weitere Potenziale bezeichnen unterschiedlich umfassende Teilmengen.

Theoretisches Biomassepotenzial

Das theoretische Biomassepotenzial umfasst das gesamte physikalische Angebot einer erneuerbaren Energiequelle oder eines nachwachsenden Rohstoffs in einem bestimmten Gebiet für einen bestimmten Zeitraum. Das theoretische Potenzial stellt damit eine Art Obergrenze des maximal möglichen Nutzungspotenzials einer Fläche dar. Weltweit könnte zum Beispiel das theoretische Biomasse-Potenzial den 8 bis 9-fachen jährlichen Weltprimärenergieverbrauch decken. [1]

Technisches Biomassepotenzial

In der Literatur und bei vielen bisherigen Investitionsentscheidungen wird üblicherweise das technische Potenzial angegeben. Auch viele politische Entscheidungen zur Biomasse-Nutzung in Deutschland basieren auf diesem Potenzial. Es umfasst den Teil des theoretischen Potenzials, der sich unter Berücksichtigung einer Reihe von begrenzenden Faktoren nachhaltig von einer bestimmten Fläche oder Region gewinnen lässt. Das Technische Potenzial wird unter Berücksichtigung der folgenden Faktoren ermittelt:

- Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen (z.B. Annahme einer vorrangigen Deckung des Bedarfs für Ernährung)
- Erhaltung der natürlichen Kreisläufe
- kein Raubbau, z.B. am Humusgehalt
- Einhaltung ökologischer Grenzen z.B. durch Bodenerosion
- technische Einschränkungen und Verluste bei der Energieumwandlung oder Rohstoffumwandlung
- zeitliches und räumliches Disparität Ungleichgewicht zwischen Energieangebot und Energiebedarf, bzw. Rohstoffangebot und -nachfrage. [1]

Bei der Diskussion um das technisches Potenzial eines bestimmten Raumes, beispielsweise eines Landes, spielt die Verfügbarkeit von Flächen eine wesentliche Rolle. dabei wird oft auf eine vereinfachte Annahme zur Abschätzung zurückgegriffen. So wurden bisher oft die Flächen der obligatorischen Flächenstilllegung als Obergrenze der Flächenverfügbarkeit angenommen, oder es werden von der vorhandenen Ackerfläche Flächen für die Nahrungsmittelnutzung (abgeleitet aus dem Pro-Kopf-Verbrauch an Nahrungsmitteln) sowie für weitere alternative Nutzungen abgezogen. Von der verbleibenden Fläche wird angenommen,dass sie für die Biomasseproduktion zur Verfügung steht. Sie wird dann als Ausgangspunkt benutzt, um das technische Potenzial zu errechnen. [2]

Diese Annahmen können sich in einer offenen Volkswirtschaft als zu restriktiv erweisen, [3] denn bei einer internationalen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen oder europäischen Nahrungsmittelproduktion könnten

Lebensmittel exportiert werden. Auch vor dem Hintergrund einer Abschaffung der obligatorischen Flächenstilllegung wird das wirtschaftliche oder ökonomische Biomassepotenzial immer bedeutsamer.

Ökonomisches (wirtschaftliches) Biomassepotenzial

Als wirtschaftlich gelten Anlagen, deren spezifische Energiekosten (auch aufgrund politischer Eingriffe) die der konventionellen Energiesysteme nicht übersteigen.[1] Das ökonomische Potenzial hängt damit ab von den Annahmen und Prognosen zur Kostenentwicklung der Umwandlungstechnologie, zur Preisentwicklung der fossilen Energieträger und Rohstoffen, zur Preisentwicklung der Nahrungsmittel und zu den politischen Rahmenbedingungen. Solange die Kosten für die Bereitstellung von Energie aus Biomasse oder von Rohstoffen aus Biomasse höher sind als die entsprechenden Kosten der fossilen Konkurrenzprodukte ist das wirtschaftlichen Potenzial der Biomasse stark von der Ausgestaltung der politischen Rahmenbedingungen abhängig.

Das ökonomische Potenzial darf nicht mit dem von Holm-Müller und Breuer [3] geforderten volkswirtschaftlich effizienten Potenzial verwechselt werden. Um das effiziente volkswirtschaftliche Potenzial zu bestimmen, müsste zunächst eine Bestimmung der Ziele der Förderung der Biomasse stattfinden. Sind die Ziele quantifiziert, kann bestimmt werden, mit welchen politischen Mitteln man diese Ziele am effizientesten erreichen kann. Hierbei wäre zu beachten, dass sich eine Reihe von Zielkonflikten der Biomasse-Förderung ergeben kann.

Angebotspotenzial von Nachwachsenden Rohstoffen in den Agrarlandschaften

Ausgehend von den aktuell für eine Region bzw. ein Land geltenden Rahmenbedingungen ergeben sich Erzeugerpreise für verschiedene Nachwachsende Rohstoffe (Biomasse). Für dessen Bestimmung wird die Produktionskette rückwärts betrachtet, also vom Produkt zum Rohstoff. Mit diesen Erzeugerpreisen muss die relative Vorzüglichkeit des Anbauverfahrens (Deckungsbeitrag, Fruchtfolge, Arbeitsauslastung, ...) bestimmt werden, es muss also festgestellt werden, wie attraktiv der Anbau nachwachsender Rohstoffe für einen Landwirt ist im Vergleich zum Anbau anderer Ackerkulturen. Liegt die relative Vorzüglichkeit beim Anbauverfahren Biomasse (energetische oder stoffliche Nutzung), dann ist ein wirtschaftliches Biomassepotenzial vorhanden. Bei der Frage nach den landwirtschaftlichen Angebotspotenzialen muss also der gesamte Agrarsektor untersucht werden. Das ökonomische Biomasseangebotspotenzial der Land- und Forstwirtschaft wird damit letztlich "auf der (knappen) Fläche" entschieden.

Erwartungspotenzial oder ausschöpfbares Potenzial

Das Erwartungspotenzial der Biomasse beschreibt den realistisch zu erwartenden Beitrag zur Energie- oder Rohstoffbereitstellung. Dieser Beitrag ist meist geringer als das wirtschaftliche Potenzial. Zum einen muss mit einem längeren Anpassungszeitraum gerechnet werden und zum anderen wird das wirtschaftliche Potenzial wegen sogenannter hemmender Faktoren nicht voll ausgeschöpft. Dazu gehören mangelnde Informationen sowie rechtliche oder administrative Begrenzungen. [4]

Literatur

Die Informationen dieses Artikels entstammen zum größten Teil den folgenden Quellen:

- Hans Hartmann und M. Kaltschmitt (Hsrg.): *Biomasse als erneuerbarer Energieträger : eine technische, ökologische und ökonomische Analyse im Kontext der übrigen erneuerbaren Energien*. Landwirtschaftsverlag, Münster 2002, ISBN 3-7843-3197-1
- Breuer, Thomas und K. Holm-Müller: *Abschätzung der Chancen aus der Förderung der Biokraftstoffe für die ländlichen Regionen in Nordrhein- Westfalen.* Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL, Nr. 137, Bonn, 2006.

Weiterführende Literatur

- Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung; Jahresgutachten 2008 des WBGU (Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen); Berlin [15] (PDF-Datei; 17,20 MB)
- Nachhaltiges globales Bioenergiepotenzial; Beringer/Lucht; Expertise zum WBGU-Gutachten 2008; Berlin [5] (PDF-Datei; 14,20 MB)

Referenzen

[1] Thomas Dreier: *Ganzheitliche Systemanalyse und Potenziale biogener Kraftstoffe*. E und M, Energie-und-Management-Verlag-Ges., Herrsching 2000, ISBN 3-933283-18-3

[2] Fritsche, U. et al. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Endbericht des BMU-Forschungsvorhabens. Darmstadt.

[3] K. Holm-Müller und T. Breuer: *Potenzialkonzepte für Energiepflanzen.* In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 1/2.2006: Bioenergie: Zukunft für ländliche Räume, S.15-21, 2006.

[4] Hans Hartmann und M. Kaltschmitt (Hsrg.): *Biomasse als erneuerbarer Energieträger: eine technische, ökologische und ökonomische Analyse im Kontext der übrigen erneuerbaren Energien*. Landwirtschaftsverlag, Münster 2002, ISBN 3-7843-3197-1

Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung

Basisdaten	
Titel:	Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von flüssiger Biomasse zur Stromerzeugung
Kurztitel:	Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung
Abkürzung:	BioSt-NachV
Art:	Bundesrechtsverordnung
Geltungsbereich:	Bundesrepublik Deutschland
Rechtsmaterie:	Verwaltungsrecht, Energierecht
FNA:	754-22-3
Datum des Gesetzes:	23. Juli 2009 (BGBl. I S. 2174)
Inkrafttreten am:	24. August 2009 bzw. 1. Januar 2010
Bitte den Hinweis zur geltenden Gesetzesfassung beachten.	

Die **Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung** (BioSt-NachV) hat den Zweck, die Nachhaltigkeit der Erzeugung von Strom und Wärme aus flüssiger Biomasse sicherzustellen. *Flüssige Biomasse* ist dabei als Biomasse definiert, die zum Zeitpunkt des Eintritts in den Brenn- oder Feuerraum flüssig ist.[1]

Basis der Verordnung sind entsprechende Forderungen im deutschen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und in der EU-Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare-Energien-Richtlinie).[1]

Die Verordnung wurde am 29. Juli 2009 im Bundesgesetzblatt veröffentlicht und trat überwiegend am 24. August 2009 in Kraft.[1]

Ziele



Zuckerrohr kann mit Bioethanol energetisch nutzbare, flüssige Biomasse liefern.

Hintergrund der Verordnung bzw. der Forderungen nach Nachhaltigkeitskriterien ist die in den vergangenen Jahren verstärkte energetische Nutzung von Biomasse (Bioenergie) für die Erzeugung von Kraftstoffen (Biokraftstoffen), wie z. B. Biodiesel und Bioethanol und zur Erzeugung von Strom und Wärme in Pflanzenöl-Blockheizkraftwerken, Biogasanlagen, Biomasseheizkraftwerken, etc.. Wegen der mit dieser intensiveren Biomassenutzung verbundenen Flächen- und Nutzungskonkurrenz, z. B. zwischen diesen energetischen Nutzungen und der Nahrungsmittelerzeugung oder Naturschutzbelangen, stehen verschiedene Bereiche der Bioenergien in der Diskussion. Insbesondere die Rodung von Regenwäldern zur Schaffung von Flächen für Ölpalmplantagen und zum Zuckerrohranbau wurden diskutiert.

Mit der BioSt-NachV und der ebenfalls 2009 erlassenen Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV) wurden bestimmte Nachhaltigkeitskriterien definiert und Regelungen zur Zertifizierung bestimmt.

Nachhaltigkeitskriterien

In § 3 bis 10 der Verordung werden diese Nachhaltigkeitskriterien näher definiert:

- Anforderungen für die Vergütung (des erzeugten Stroms nach dem EEG)
- Schutz von Flächen mit hohem Naturschutzwert



Zur Palmölgewinnung werden Ölpalmplantagen, wie diese in Malaysia, angelegt.

- Schutz von Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand
- Schutz von Torfmoor
- Nachhaltige landwirtschaftliche Bewirtschaftung
- Treibhausgas-Minderungspotential
- Bonus für Nachwachsende Rohstoffe (nach dem EEG)

Zertifizierung

In den §§ 11 bis 55 wird die Zertifizierung der Biomasse geregelt:

- Zertifikate
- Zertifizierungssysteme
- Zertifizierungsstellen
  - Anerkennung
  - Aufgabe
  - Überwachung

In den §§ 56 bis 60 sind zudem weitere anerkannte Zertifizierungsstellen und besondere und Übergangsbestimmungen zum Nachweis definiert.

Die §§ 61 bis 69 regeln das Anlegen eines zentralen Anlagen- und Informationsregisters, die §§ 70 bis 77 die Datenerhebung und -verarbeitung, Berichtspflichten und behördliche Verfahren, sowie die §§ 78 und 79 Übergangs- und Schlussbestimmungen.

Die soziale Vertretbarkeit der Nutzung flüssiger Biomasse soll in einem Erfahrungsbericht ebenfalls bewertet werden (§ 72).

Umsetzung

Grundlage zur Umsetzung der Verordnung ist die Etablierung von Zertifizierungssystemen. Verschiedene Institutionen sind aktiv, um die gesamte Kette von der Erzeugung bis zur Nutzung der Biomasse abzudecken. Bekannt ist das *International Sustainability and Carbon Certification* (ISCC), das bereits in 2006 vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) in Zusammenarbeit mit der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) und anderen Partnern initiiert wurde. Auch auf bestimmte Nutzpflanzen spezialisierte Systeme, wie z. B. für Zuckerrohr, Sojabohne oder Ölpalme, sind im Aufbau.[2] [3]

Kritik

Kritiker bemängeln das fehlende Verbot der Gentechnik sowie die fehlende Bewertung des Verdrängungseffekts durch Energiepflanzenanbau in der CO_2-Bilanz.

Weblinks

- Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger [4]

Referenzen

[1] *Bundesgesetzblatt online: Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von flüssiger Biomasse zur Stromerzeugung* (http://www.bgbl.de/Xaver/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&bk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//*[@attr_id='bgbl109s2174.pdf']). www.bgbl.de. Abgerufen am 24. Oktober 2009.

[2] Agentur Erneuerbare Energie: *Nachhaltige Bioenergie: Deutschland ist Vorreiter bei der Zertifizierung* (http://www.unendlich-viel-energie.de/de/bioenergie/detailansicht/article/9/nachhaltige-bioenergie-deutschland-ist-vorreiter-bei-der-zertifizierung.html), Bericht inklusive weiterer Quellen zur Zertifizierung von Biomasse, abgerufen am 4. März 2010

[3] Website des International Sustainability and Carbon Certification-Sytem (ISCC) (http://www.iscc-system.org/)

Biomassevergasung

Unter **Biomassevergasung** wird ein Prozess verstanden, bei dem Biomasse mit Hilfe eines Vergasungs- oder Oxidationsmittels (meist Luft, Sauerstoff, Kohlendioxid oder Wasserdampf) durch eine Teilverbrennung in ein Produkt- oder Brenngas umgewandelt wird.[1] Da sowohl historisch wie auch aktuell als Biomasse vor allem Holz zum Einsatz kommt, spricht man in der Regel auch von **Holzvergasung.**



Holzvergaser Güssing (2006)

Über die Vergasung kann die als Festbrennstoff vorliegende Biomasse in einen gasförmigen Sekundärbrennstoff umgewandelt werden, der in verschiedenen Nutzungsoptionen wie bsp. der Stromerzeugung oder als Kraft- und Treibstoff (Brenngas) oder für die Nutzung als Synthesegas für die chemische Synthese effizienter eingesetzt werden kann.[1] Analoge Verfahren existieren auch für andere Festbrennstoffe, speziell für die Vergasung von Kohle (Kohlevergasung).

Letzlich geht jedem Verbrennungsprozess von Biomasse ein Vergasungsprozess voraus, da nicht diese selbst sondern grundsätzlich nur die aus der Biomasse austretenen Gase brennbar sind.[2]

Geschichte

Die chemische Nutzung Holzverkohlung (Pyrolyse) und die Holzvergasung sind Techniken, die im auslaufenden 19. Jahrhundert und im beginnenden 20. Jahrhundert entwickelt wurden. Im 19. Jahrhundert wurden etwa durch die Holzverkohlung viele wichtige Rohstoffe für die Chemiewirtschaft wie Methanol (Holzgeist), Aceton und Essigsäure erzeugt. Das Hauptprodukt der Holzverkohlung, die Holzkohle, findet unter anderem als Aktivkohle immer noch wichtige Anwendungsbereiche.

Insbesondere in Kriegs- und Krisenzeiten mit Treibstoffmangel werden Fahrzeuge zumeist in Eigeninitiative mit einem improvisierten Holzvergaser ausgestattet. Sogar die Deutsche Reichsbahn erprobte den Einsatz von Holzkohlevergasern an Rangierlokomotiven der Baureihe Köf II in den 1930er und 1940er Jahren (siehe auch: Gasmotor).



Holzvergaser an einem Opel P4 (1940)



Holzvergaserlokomotive im Bayerischen Eisenbahnmuseum in Nördlingen. Das Fahrzeug wurde 1916 von Deutz für den Benzolbetrieb gebaut und 1935 von Imbert in Köln umgebaut



Adler Diplomat 3 GS mit Holzgasgenerator (1941)



Holzgasantrieb in Berlin (1946)



Ansicht von vorne links

Holzgas wurde unter anderem dazu benutzt, Verbrennungsmotoren von Kraftfahrzeugen anzutreiben. Die Generatoren wurden außen an die Karosserie gebaut oder als Anhänger mitgeführt. Die technische Anlage dazu, der Holzvergaser, wurde mit Brennholz befüllt und funktionierte als Festbettvergaser. Durch Erhitzen entwich aus dem

Holz das brennbare Gasgemisch (Holzgas), dessen Bestandteile hauptsächlich aus Kohlenstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid (zusammen ca. 85 %) und Methan sowie kleineren Anteilen von Ethylen und Wasserstoff bestanden. Bis in die frühen 1950er Jahre waren in Deutschland mit Sonderführerschein etliche Kleinlastwagen im Einsatz, für die nur geprüfte und freigegebene Buchenholzscheite verwendet werden durften. Hierbei konnte ca. 1 Liter Benzin durch die aus 3 kg Holz gewonnene Gasmenge ersetzt werden.



LKW mit Holzgasantrieb



Chevrolet HS 157D Lkw Baujahr 1937 in Schweden



Moderner PKW mit Holzvergaser

Im Rahmen der Diskussion um die zunehmende Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen zum Ende des 20. und Beginn des 21. Jahrhunderts wurde auch die Holzvergasung sowie die Vergasung anderer organischer Stoffe, vor allem von organischen Reststoffen, zur Gewinnung von gasförmigen Brennstoffen zur Wärme- und Stromerzeugung erneut diskutiert und in einzelnen Demonstrationsanlagen realisiert. Aufbauend auf dieser reinen energetischen Nutzung wurde zudem die Nutzung des Produktgases als Rohstoff für die chemische Synthese von Biokraftstoffen und Produkten der chemischen Industrie anvisiert und soll in naher Zukunft vor allem für BtL-Kraftstoffe, Dimethylether und Methanol auch realisiert werden. Durch eine anschließende Methanierung und Aufbereitung kann es auch als Substitute Natural Gas (SNG) in das Erdgasnetz eingespeist werden. Bei hochwertigen Produktgasen die über 50% Wasserstoff enthalten wird auch vom so genannten Biowasserstoff

Prozessbeschreibung

Die Vergasung von Biomasse setzt nach der Trocknung bei Temperaturen von 150 °C ein, wobei erst Wasserdampf und Sauerstoff austreten. Bei höheren Temperaturen werden die Festbestandteile der Biomasse, vor allem das Lignin und die Cellulose, vergast.[2] Dieses Gas entzündet sich, sobald Sekundärluft zugeführt wird, der Flammpunkt liegt bei 230 bis 280 °C.

Bei der technischen Biomassevergasung handelt es sich um eine Teilverbrennung mit Hilfe eines Vergasungs- oder Oxidationsmittels (meist Luft, Sauerstoff, Kohlendioxid oder Wasserdampf) ohne Entzündung bei Temperaturen von 700 bis 900 °C, bei der diese nicht wie bei der Verbrennung zu Kohlendioxid (CO_2) sondern im Wesentlichen zu Kohlenmonoxid (CO) oxidiert wird.[1] Weitere Komponenten des entstehenden Gases sind Wasserstoff (H_2), Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) sowie abhängig von der eingesetzten Biomasse eine Reihe von Spurengasen und Verunreinigungen. Es verbleibt ein fester Rückstand (Asche und Koks), außerdem können Teile des Produktgases bei Temperaturabsenkung auskondensieren (Teer und Wasser).

Das brennbare Produktgas kann in einem anschliessenden Prozess durch eine Verbrennung (Brenngas) oder eine chemische Synthese (Synthesegas) unter Abgabe von Energie (exothermer Prozess) weiter oxidiert werden [1] . Erfolgt die Vergasung mit Luft, so wird das dadurch mit Stickstoff verdünnte Produktgas häufig auch als Schwachgas (LCV, Low Calorific Value Gas) bezeichnet.

Hydrothermale Vergasung

Die Hydrothermale Vergasung stellt einen Sonderfall der Biomassevergasung dar, bei der nasse Biomasse zu Wassertoff und Methan umgesetzt werden soll. Die Biokonversion erfolgt bei Temperaturen von 400 bis 700 °C und Drücken von 200 bis 300 bar durch die Reaktion mit überkritischem Wasser, wodurch eine nahezu vollständige Umsetzung der organischen Bestandteile der Biomasse erreicht wird.[1]

Luftüberschusszahl

Die Luftüberschußzahl λ des Vergasungsprozesses sowie der hydrothermalen Vergasung ist kleiner als eins und größer als null während sie bei einer vollständigen Verbrennung größer oder gleich eins und bei einer Pyrolyse gleich null ist.[1]

Rohstoffe

Als Rohstoffe kommen bei der Biomassevergasung vor allem lignocellulosereiche Agrarrohstoffe sowie Forstholz in Betracht. Bei ersterem handelt es sich vor allem um halmgutartige Biomasse wie Getreide- und Maisstroh sowie andere Restprodukte des landwirtschaftlichen Getreideanbaus. Hinzu kommen Energiepflanzen wie Riesen-Chinaschilf (*Miscanthus*) sowie Pappel- und Weidenholz aus dem Anbau in Kurzumtriebsplantagen. Auch die Nutzung von organischen Abfallströmen aus Industrie und Haushalt zur Biomassevergasung befindet sich in der Diskussion.

Bisherige Biomassevergasungsanlagen sind auf die Vergasung von Holz in Form von Forstholz und Waldrestholz ausgelegt, die als Holzhackschnitzel zugeführt werden. Bei dieser Form der Biomassevergasung spricht man entsprechend von Holzvergasung.

Für die Vergasung muss die Biomasse vorbehandelt werden. Dies geschieht nach der Bereitstellung durch die Trocknung und die Zerkleinerung der Biomasse zu Partikeln, die im Vergaser eine möglichst große Oberfläche und ein kleines Volumen haben sollten. Insbesondere für die Nutzung im Flugstromreaktor müssen die Partikel staubfein gemahlen und in ein Slurry überführt werden.

Technik

Die meisten Holzvergaseranlagen erzeugen die zur Vergasung benötigte Energie durch eine teilweise Verbrennung des Holzes unter Luftmangel. Abhängig von dem verwendeten Vergasungsmittel entstehen unterschiedliche Produktgase mit entsprechend unterschiedlicher Qualität, die für die nachfolgende Nutzung von Bedeutung sind. So enthält das Produktgas bei der Verwendung von Luft (21 % Sauerstoff, 79 % Stickstoff) einen sehr hohen Stickstoffanteil, der nicht zum Heizwert des Gases beiträgt und die Wasserstoffausbeute reduziert Dagegen beinhalten die Produktgase bei der Nutzung von Sauerstoff und Wasserdampf keinen Stickstoff und haben entsprechend einen höheren Heizwert und eine hohe Wasserstoffausbeute.[3]

Das erzeugte Gas wird abgekühlt, wobei Wasserdampf und Kohlenwasserstoffe kondensieren, und gefiltert, danach wird es seiner Verwendung zugeleitet. Die Aufbereitung und Reinigung dieses Kondensates stellt bei großen Anlagen einen wesentlichen Teil der Anlagentechnik dar, da es organische Schadstoffe (Phenole oder Ammoniumverbindungen) enthält, die gezielt entsorgt werden müssen, zum Beispiel in einer Kläranlage oder einer thermischen Nachverbrennung.

Allotherme und autotherme Vergasung

Auf der Basis der Art der Wärmebereitstellung für den Vergasungsprozess lassen sich Vergasertypen in allotherme und autotherme Vergaser unterscheiden. Dabei wird bei der allothermen Wärmezufuhr die Wärme von aussen zugeführt während bei der autothermen Wärmezufuhr die Wärme im Prozess durch die Teilverbrennung des Einsatzmaterials geschieht.

Bei der allothermen Vergasung wird die erforderliche Wärme für den Vergasungsvorgang über einen Wärmeübertrager eingebracht. Neuere Entwicklungen arbeiten mit Wärmerohren (Heatpipe), die über eine hohe Wärmestromdichte verfügen. Wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens ist die Erzeugung von Prozessgas mit hohem Heizwert (hauptsächlich Wasserstoff und Kohlenmonoxid). Durch den allothermen Wärmeeintrag wird das Prozessgas nicht mit zusätzlichem Rauchgas durch die Verbrennung beaufschlagt.

Ein ähnliches Verfahren ist die Wärmeeinbringung durch Wasserdampf oder durch Partikeleintrag. In den meisten Fällen werden die Rückstände der Vergasung (Koks) dem Dampferzeuger als Energiemedium zugeführt. Dadurch erhöht sich der Kaltgaswirkungsgrad erheblich.

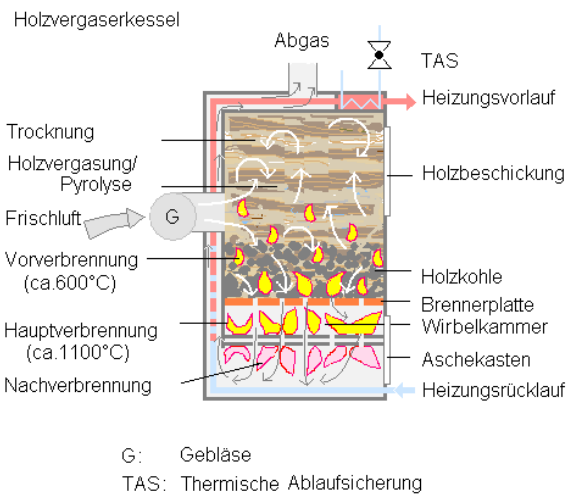
Vergasertypen

Für die Biomassevergasung können unterschiedliche technische Vergaser eingesetzt werden, die sich vor allem durch die Art des Kontakts zwischen Biomasse und Vergasungsmittel (Luft, Sauerstoff oder Wasserdampf) unterscheiden. Dabei werden in der Regel drei grundsätzliche Reaktortypen genutzt:

- Festbettvergaser
- Wirbelschichtvergaser
- Flugstromvergaser

Festbettvergaser

Im Festbettvergaser liegen die Brennstoffe wie in einem normalen Feuerofen auf einem Gitterrost.



Prinzip des Festbettvergaserkessels im Gleichstromverfahren.

Im Gegenstromverfahren wird die Luft durch den Gitterrost und das verbrennende Holz gesaugt. Die darüber liegenden Holzschichten verbrennen nur teilweise und verschwelen zu Produktgas, das am oberen Ende des Ofens abgesaugt wird. Luft und Produktgas bewegen sich in entgegengesetzter Richtung (im Gegenstrom) zum langsam absinkenden Holz. Das entstehende Gas hat eine relativ niedrige Temperatur von meistens etwa 100 °C und enthält wegen der stattfindenden Trocknung und Verschwelung des Holzes entsprechend viel Wasserdampf und organische Bestandteile, die bei weiterer Abkühlung zum Holzgaskondensat kondensieren. Das Kondensat ist in der Regel recht sauer mit einem pH-Wert um 3, der im Wesentlichen durch Ameisen- und Essigsäurebestandteile verursacht ist.

Im Gleichstromverfahren wird die Luft unmittelbar über dem Gitterrost direkt in die heiße Vergasungszone des Ofens zugeführt und unter dem Gitterrost abgesaugt. Produktgas und Luft bewegen sich im Bereich des Gitterrostes in gleicher Richtung (im Gleichstrom). Die Temperatur des Produktgases liegt hier wesentlich höher (mehrere hundert °C) und das Gas enthält, da es vor dem Verlassen des Ofens eine sehr hohe Temperatur hat, deutlich weniger organische Bestandteile im Kondensat. Das Kondensat hat hier leicht basische pH-Werte, die auf

Ammoniumverbindungen zurückzuführen sind, die in der (wegen des Sauerstoffmangels) reduzierenden Atmosphäre der heißen Zone entstehen.

Wirbelschichtvergaser

Beim Wirbelschichtvergaser handelt es sich im Prinzip um eine Wirbelschichtfeuerung, die mit Luftmangel betrieben wird und so durch die unvollständige Verbrennung des Holzes als Abgas das gewünschte Produktgas liefert. Die Brennstoffe werden mit einer Partikelgröße von weniger als 40 Millimeter, also in Form von Hackschnitzeln oder Sägemehl, und einem Wassergehalt von mindestens 25 % in die Brennkammer eingebracht und mit heißem Sand vermischt. Das Produktgas wird bei einer Temperatur von etwa 900 °C produziert.[2]

Diese Technik wird vor allem bei Energieanlagen im Leistungsbereich von 1,5 bis 3 MW angewendet, der elektrische Wirkungsgrad liegt bei etwa 30 % und damit deutlich höher als bei konventionellen, biomassebefeuerten Dampfkraftanlagen.[2]

Flugstromvergaser

Beim Flugstromvergaser wird der Brennstoff als Staub, Slurry oder als Paste über einen Brenner in den Vergasungsraum eingebracht, wodurch die Vergasungsprozesse in einer so genannten Staubwolke stattfinden. Diese Form der Zuführung bedarf einer entsprechenden Vorbehandlung der Biomasse, um über ein pneumatisches System in den Vergaser eingebracht zu werden und dort in sehr kurzer Zeit vergast zu werden.

Gasnutzung

Das in der Biomassevergasung entstehende Gas kann sowohl energetisch wie stofflich genutzt werden.

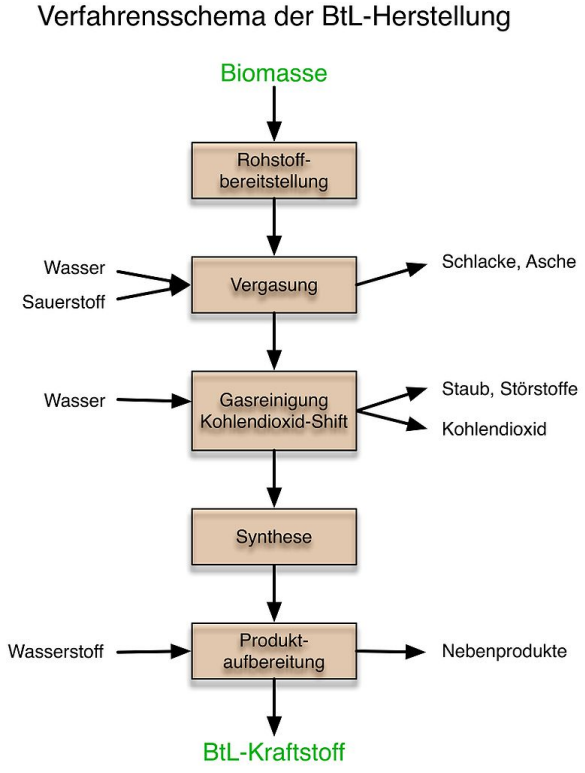
Energetische Nutzung durch Verbrennung

Die derzeit übliche Verwendung für das Gasgemisches der Biomassevergasung ist die Verbrennung in entsprechenden Verbrennungsanlagen zur Erzeugung von Wärme (Dampf) und elektrischem Strom, wobei über eine Kraft-Wärme-Kopplung eine ein sehr hoher Wirkungsgrad der Energieumsetzung erreicht wird.

Nutzung als Synthesegas

Außerdem kann ein Produktgas aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff für die chemische Synthese verschiedener Produkte als Synthesegas eingesetzt werden. Die stoffliche Nutzung von Synthesegas aus der Biomassevergasung befindet sich derzeit noch in der Entwicklung, entsprechende Anlagen finden sich derzeit nur im Labor- und Demonstrationsmaßstab. Die großtechnische Herstellung und Verwendung von CO/H_2-Synthesegas findet derzeit entsprechend ausschliesslich auf der Basis von Erdgas und anderen fossilen Energieträgern wie Kohle und Naphtha statt.

Bei den chemisch-technischen Nutzungsoptionen handelt es sich vor allem um die Wasserstoffherstellung und die darauf aufbauende Produktion von Ammoniak nach dem Haber-Bosch-Verfahren, die Methanolsynthese, verschiedene Oxosynthesen sowie die Produktion von Biokraftstoffen (BtL-Kraftstoffe) und anderen Produkten über die Fischer-Tropsch-Synthese:



Verfahrensschema der Herstellung von BtL-Kraftstoffen

1. in der Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren
   - $\mathrm{N_2 + 3\ H_2 \longrightarrow 2\ NH_3}$
2. in der Methanolsynthese
   - $\mathrm{CO + 2\ H_2 \longrightarrow CH_3OH}$
3. in der Oxosynthese
   - $\mathrm{R{-}CH{=}CH_2 + CO + H_2 \longrightarrow R{-}CH_2CH_2CH{=}O}$
4. in der Fischer-Tropsch-Synthese
   - $\mathrm{n\ CO + (2n + 1)\ H_2 \longrightarrow C_nH_{2n+2} + n\ H_2O}$

Neben diesen chemisch-technischen Anwendungsbereichen kann Synthesegas auch über eine Synthesegas-Fermentation biotechnologisch genutzt werden. Produkte dieser Option können bsp. Alkohole wie Ethanol, Butanol, Aceton, organische Säuren und Biopolymere sein. Diese Nutzung befindet sich derzeit ebenfalls noch im Entwicklungsstadium und wird entsprechend großtechnisch noch nicht genutzt.

Biokraftstoffe

Auch bei der Produktion von Biokraftstoffen wird das in der Vergasung entstehende Produktgas als Synthesegas in den bereits beschriebenden Syntheseprozessen genutzt. Hierbei stehen sowohl gasförmige Kraftstoffe wie Biowasserstoff, Substitute Natural Gas (Methan, SNG) und Dimethylether wie auch Flüssigkraftstoffe wie Methanol und BtL-Kraftstoffe im Fokus.[4]

Biowasserstoff wird aus dem Synthesegas über eine Dampfreformierung gewonnen, Methan kann über eine Methanierung des Gases produziert werden. Zur Herstellung von Methanol und Dimethylether wird die Methanolsynthese eingesetzt. BtL-Kraftstoffe werden über die Fischer-Tropsch-Synthese hergestellt, wobei aufgrund der Prozessparameter sowohl Benzin- wie auch Dieselfraktionen hergestellt werden können.

Belege

[1] Hermann Hofbauer, Martin Kaltschmitt, Thomas Nussbauer: *Thermo-chemische Umwandlungsprozesse.* In: Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer (Hrsg.): *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren.* Springer Verlag, Berlin und Heidelberg 2009; S. 377-378. ISBN 978-3-540-85094-6.

[2] Sven Geitmann: *Erneuerbare Energien.* Hydrogeit-Verlag, Oberkrämer 2010; S. 149-150. ISBN 978-3-97863-14-6.

[3] Hermann Hofbauer, Alexander Vogel, Martin Kaltschmitt: *Vergasung. Vergasungstechnik.* In: Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer (Hrsg.): *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren.* Springer Verlag, Berlin und Heidelberg 2009; S. 600-601. ISBN 978-3-540-85094-6.

[4] Hermann Hofbauer, Alexander Vogel, Martin Kaltschmitt: *Vergasung.* In: Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer (Hrsg.): *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren.* Springer Verlag, Berlin und Heidelberg 2009; S. 599-600. ISBN 978-3-540-85094-6.

Literatur

- Hermann Hofbauer, Alexander Vogel, Martin Kaltschmitt: *Vergasung.* In: Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer (Hrsg.): *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren.* Springer Verlag, Berlin und Heidelberg 2009; S. 599-669. ISBN 978-3-540-85094-6.
- Heinz Hiller et al.: *Gas Production.* In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH, Weinheim 2005, doi: 10.1002/14356007.a02 143.pub2 (http://dx.doi.org/10.1002/14356007.a02+143.pub2).
- Christopher Higman, Maarten van der Burgt: *Gasification.* 2. Auflage, Gulf Professional Publishing 2008. ISBN 978-0-7506-8528-3.
- Metz, T.: *Allotherme Vergasung von Biomasse in indirekt beheizten Wirbelschichten* TU München, 2006
- Ralf Röger: *Umweltrechtliche Fragestellungen bei der Errichtung von Holzvergasungsanlagen*, in: Reinhard Hendler / Peter Marburger / Michael Reinhardt / Meinhard Schröder (Hrsg.), Jahrbuch des Umwelt- und Technikrechts 2005, S. 361-381, ISBN 978-3-503-08753-2.

Weblinks

- Allotherme Biomassevergasung (http://www.heatpipe-reformer.de/index.php?id=27)
- Marktübersicht dezentrale Holzvergaser bis 5MW (2000) – pdf (http://www.oeko.de/service/bio/dateien/de/bio-marktuebersicht-2001.pdf) ausführliche Studie (2,36 MB)
- Holzvergaser für Blockheizkraftwerke – Artikel der Fraunhofer-Gesellschaft (http://www.uni-protokolle.de/nachrichten/id/41665/) enthält Kontaktadresse der FhG
- Opel Kadett, betrieben mit Holzgas (http://www.holzgas.ch/501/index.html) Beispiel für den Aufwand
- Berichte von Oldtimer-Holzgasautos und Holzgasantrieben (http://www.oldtimer-freunde.info/Neu_Holzvergaser_oldtimer_freunde)
- (http://www.holzgasjournal.de/download/Bericht_Joos-Vergaser.pdf?085fbe87c94521c58ef899f5c9ff0dae=74b7bd19fb781cae20fd27aee06f56e6) wissenschaftlicher Dauertest durch Ingenieurbüro sesolutions (Dr. Ing. Jan Kai Dobelmann MBA MSC/Dipl.-Ing. Gunnar Böttger MSc)

Biomethan

Als **Biomethan** wird Methan bezeichnet, welches nicht fossilen Ursprungs ist, sondern aus biogenen Stoffen erzeugt wurde. Bio-basiertes Methan kann über eine Biomasse-Vergasung und das dabei entstehende Synthesegas produziert werden (Bio-SNG). Die derzeit häufiger anzutreffende Praxis verwendet jedoch noch das sogenannte "Bio-Gas", welches durch Gär-Prozesse in Gär-Bottichen erzeugt wird und einen hohen Anteil (40% bis 50%) andere Gase (überwiegend CO_2) enthält.

Vor der Einspeisung in das Gasleitungs-Netz werden die Roh-Gase auf Erdgasqualität aufbereitet. Diese Gasaufbereitung umfasst vor eine weitgehende Entfernung des Wasser-, Kohlendioxid- und des Schwefelwasserstoff-Anteils, die Konditionierung sowie eine Verdichtung. Damit Biomethan als Erdgas-Substitut verwendet werden kann, muss insbesondere eine Anpassung des Brennwerts (Wobbe-Index) erfolgen.



Rohrleitungen für Erdgas und Bioerdgas

Aufbereitung

Hauptartikel Biogasaufbereitung

Für die Erzeugung von Biogas in Biogasanlagen kommen in der Regel Energiepflanzen, Gülle und gelegentlich organische Reststoffe als Substrate zum Einsatz. Die ersten Schritte der Aufbereitung und Grobreinigung (Entfeuchtung und Entschwefelung) erfolgen bereits in der Biogasanlage. Das resultierende Rohbiogas enthält nach diesen Schritten einen Methananteil von durchschnittlich 50 bis 60% und einen Kohlendioxidanteil von 35% bis 45%. Der Rest setzt sich aus Stickstoff, Sauerstoff und anderen Gasen zusammen.

Bei der nachgeschalteten Aufbereitung zu Biomethan wird insbesondere der Bestandteil Kohlendioxid sowie verbliebene Spuren von Schwefelwasserstoff durch verschiedene physikalische oder chemische Verfahren (Absorption, Adsorption oder Filtrierung) aus dem Biogas entfernt und das Methan stark angereichert. Das resultierende Biomethan wird konditioniert (Brennwertanpassung) und nachfolgend zur Einspeisung in das Erdgasnetz oder zur Bereitstellung als Biokraftstoffs verdichtet.

Verbreitung und Ökonomie

Wegen der Höhe der erforderlichen Investitionen gilt die Biogasaufbereitung erst ab einer Kapazität von etwa 250 bis 500 m^3 Biomethan pro Stunde als wirtschaftlich. Das entspricht einer Anlagenleistung von 1 bis 2 MW_{el} bei direkter Biogasverstromung im BHKW. In Deutschland waren Anfang 2009 14 Anlagen zur Biomethanerzeugung mit Kapazitäten zwischen 148 m^3 und 1000 m^3 pro Stunde in Betrieb, 16 Anlagen sind in Bau oder Planung.[1] Für 2009 werden bundesweit zwischen 45 und 50 neue Anlagen erwartet. Erklärtes Ziel der Bundesregierung ist es, dass in Deutschland im Jahr 2020 etwa 60 Milliarden kWh Biomethan pro Jahr erzeugt werden. Das entspricht der Kapazität von rund 1200 bis 1800 Biomethananlagen.[2] Dazu müßte die Biogaserzeugung gegenüber 2007 um 150 % steigen, unter der Voraussetzung, daß sämtliches Biogas zu Biomethan aufbereitet wird. Bei Verstromung in

BHKWS könnten so etwa 4 % der Strombedarfs gedeckt werden.[3]

Nutzung

Biomethan wird energetisch, indem es entweder in das Erdgasnetz eingespeist (Bioerdgas) oder als Biokraftstoff verwendet wird. Während der Einspeisung eine zunehmende Bedeutung zukommt stellt die Nutzung von Biomethan als Kraftstoff bisher nur eine Nischenanwendung dar.

Einspeisung in das Erdgasnetz

Voraussetzung für die Einspeisung von Biomethan in das Erdgasnetz ist die Erfüllung einer Reihe von Eigenschaften. Diese betreffen vor allem die Zusammensetzung und die verbrennungstechnischen Eigenschaften (Gasbeschaffenheit). Die weiteren Aufbereitungsschritte für die Rohbiogase sind jedoch abhängig von der konkreten Zusammensetzungen und örtlichen Gegebenheiten. Zentral ist die Abtrennung von Kohlenstoffdioxid um eine Methananreicherung zu erreichen, wofür verschiedene Verfahren zur Verfügung stehen. [4] Neben der obligatorischen Entschwefelung und Trocknung wird eventuell eine Verdichtung zu einem höheren als dem Leitungsdruck notwendig, was durch Gasdruckregel- und Messanlagen im Netz sichergestellt wird. Weiterhin muss über eine Gasbeschaffenheitsmessung die Erhebung wichtiger Parameter des eingespeisten Gases (Brennwert, Heizwert, Wobbe-Index, Dichte etc.) und eine Bestimmung der übergebenen Energiemenge (Abrechnungsbrennwert) erfolgen. Hinzu kommt eine Odorierung des Gases. Ziel dieser Anforderungen an die Gasbeschaffenheit ist die Bereitstellung der gleichen Gasqualität (besonders hinsichtlich des Brennwertes) für die Nutzer und die Abrechnung der bezogenen Energiemengen. Hinsichtlich der Biogasqualität bestehen zwei Standards für die Einspeisung: Austauschgas (entspricht Erdgasqualität, unproblematische Einspeisung bei Druckanpassung) und Zusatzgas (begrenzt zumischbar, unterschiedliche Zusammensetzung und Energiemenge zu Grundgas). [5]

Für die Übernahme von Biomethan in das Erdgasnetz muss es in den wesentlichen Eigenschaften also dem Erdgas entsprechen. Innerhalb der durch die DIN 1340 festgelegten Brenngasfamilie „Methanreiche Gase“ und der darin enthaltenen Gruppen L („low“) und H („high“) muss das Biomethan folgende Werte einhalten:

1. Wobbe-Index von $W_{S,N}$ = 10,5-13,0 kWh/m^3 (Gesamtbereich), Nennwert = 12,4 kWh/m^3; darf zeitlich begrenzt bis auf 10 kWh/m^3 fallen.
2. Wobbe-Index von $W_{S,N}$ = 12,8-15,7 kWh/m^3 (Gesamtbereich), Nennwert = 15 kWh/m^3; darf zeitlich begrenzt bis auf 12 kWh/m^3 fallen.

Insbesondere innerhalb der H-Gruppe ist entsprechend aufbereitetes Biogas bei weitgehender Kohlendioxidentfernung mit einem Brennwert von etwa 11,6 kWh/m^3 nur als Zusatzgas möglich.

Bei der Gasentnahme erfolgt die Differenzierung zwischen Erdgas und Biomethan theoretisch. Eine dem eingespeisten Biomethan äquivalente Menge Erdgas wird an einer beliebigen Stelle des Netzes entnommen. Ein Großteil des in das Erdgasnetz eingespeisten Biomethans wird in Blockheizkraftwerken (BHKW) zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt, da die BHKW-Betreiber so erhöhte Stromvergütungen nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz erhalten. Zudem bieten einzelne Gasversorger gegen Aufpreis die Lieferung von Erdgas mit Biomethananteil als gegenüber reinem Erdgas umweltfreundlichere Alternative.[6]

Nutzung als Kraftstoff

Biokraftstoff	Ertrag/ha	Kraftstoffäquivalenz [l][7] [8]	Kraftstoffäquivalent pro Fläche [l/ha][9]	Preis [cent]	Preis Kraftstoff-äquivalent [cent/l][10]		Fahrleistung [km/ha][7] [11]
Pflanzenöl (Rapsöl)	1590 l[7]	0,96	1526	98,1/l (11/2009)[12]	102,2		23300 + 17600[13]
Biodiesel (Rapsmethylester)	1550 l[14]	0,91	1411	107,9/l (KW 49/2009)[15]	118,6		23300 + 17600[13]
Bioethanol (Weizen)	2760 l[7]	0,65	1794	93,2/l (E85, 11/2009)[16]	133,1		22400 + 14400[13]
Biomethan	3540 kg[14]	1,4	4956	93/kg (06/2008)[17]	66,4		67600
BtL	4030 l[14]	0,97[18]	3909	nicht am Markt	k.a		64000

|+ Vergleich von Biokraftstoffen in Deutschland

[1] Biogaspartner – Projektliste Deutschland (http://www.biogaspartner.de/index.php?id=10074)

[2] Biogasnutzung im ländlichen Raum - Der Beitrag verschiedener Anlagenkonzepte zur regionalen Wertschöpfung und ihre Umweltleistung.

[3] Entwicklung der Erneuerbaren Energien bis 2008, Statistiken und Graphiken, [[BMU (http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_in_deutschland_graf_tab_2008.pdf)] 2009]

[4] Rahmesohl, Stefan et al.: Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse, Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW, Band 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen, Wupperthal, Leipzig, Oberhausen, Essen, 2006, S.23 Bericht (http://www.wupperinst.org/de/projekte/proj/index.html?&projekt_id=11&bid=164/)

[5] Rahmesohl, Stefan et al.: Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse, Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW, Band 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen, Wupperthal, Leipzig, Oberhausen, Essen, 2006, S.50 ff Bericht (http://www.wupperinst.org/de/projekte/proj/index.html?&projekt_id=11&bid=164/)

[6] Hinrich Neumann, 2009: Run auf Biomethan überrascht die Branche. (http://nawaro.ag/assets/downloads/presse_090122.pdf) (pdf) In: top agar 2/2009, S.116-120

[7] - Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland, Stand Oktober 2009 (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174-basisdaten_biokraftstoff.pdf) Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2009, 14-seitige Broschüre, als pdf verfügbar

[8] 1 l Biokraftstoff bzw. 1 kg Biomethan entspricht dieser Menge konventionellen Kraftstoffs

[9] ohne Nebenprodukte

[10] Preis für die Menge Biokraftstoff, die äquivalent zu 1 l konventionellem Kraftstoff ist

[11] separate Berechnung, nicht auf den anderen Daten basierend

[12] - Preisentwicklung von Rapsöl als Kraftstoff (http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/pflaoelpreise.html), CARMEN e.V., aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009

[13] mit Biomethan aus Nebenprodukten Rapskuchen/ Schlempe/ Stroh

[14] Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland, Stand Januar 2008 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2008, Broschüre, wegen aktualisierter Version nicht mehr als pdf verfügbar

[15] - Preisentwicklung von Biodiesel (http://www.ufop.de/1299.php), UFOP, aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009

[16] - Preisentwicklung von Bioethanol E85 (http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/biotreibstoffe/ethanol/preis/index.htm), CARMEN e.V., aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009

[17] Biogastankstelle Jameln

[18] auf Basis von FT-Kraftstoffen

Biomethan kann, ebenso wie Erdgas, als Treibstoff in Kraftfahrzeugmotoren genutzt werden, bisher wird Biogas allerdings selten auf diesem Weg verwertet. Fahrzeuge, die für den Einsatz von reinem oder bivalentem Erdgasbetrieb umgerüstet sind, können auch mit Biomethan betrieben werden. Im Gegensatz zu Erdgas ist Biomethan allerdings nahezu CO_2-neutral. In Deutschland existiert die erste öffentliche Biomethan-Tankstelle in Jameln. Ab März 2010 sollen drei Tankstellen Biomethan bereitstellen.[1] Mit Einspeisung von Biomethan in das Erdgasnetz enthält zudem auch das als Kraftstoff genutzte Erdgas einen Anteil Biomethan.

Wegen der hohen elektrischen Wirkungsgrade könnte in Zukunft zudem die Verwertung von Biogas in Brennstoffzellen interessant sein. Der hohe Preis für die Brennstoffzellen, die aufwendige Gasaufreinigung und die

in Praxisversuchen bisher noch geringe Standzeit verhindern derzeit eine breitere Anwendung dieser Technik.

Rechtlicher Rahmen

Die Biogaseinspeisung wird von zahlreichen rechtlichen Regelungen bestimmt, darunter in Deutschland das Energiewirtschaftsgesetz, die Gasnetzentgeltverordnung sowie Regelwerke des DVGW. Durch die seit April 2008 gültige Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV) wurde der Zugang von Biomethan zum Erdgasnetz deutlich vereinfacht. Zudem konkretisiert die Verordnung die Zielsetzung der Bundesregierung für den Ausbau der Biogaseinspeisung: Bis zum Jahr 2020 sollen jährlich 60 Mrd. kWh Biogas und bis zum Jahr 2030 100 Mrd. kWh Biogas in das Gasnetz eingespeist werden[2] .[3] Das wäre rund ein Zehntel der im Jahr 2008 in Deutschland verbrauchten Erdgasmenge von 930 Mrd. kWh.

Literatur

- Studie: *Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz.* Herausgegeben von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow 2007, erstellt durch das Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (jetzt Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ)) in Zusammenarbeit mit dem DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, Prof. Dr. Stefan Klinski, Fraunhofer-Institut UMSICHT und dem Gaswärme-Institut e.V. (GWI) (pdf (http://fnr.webseiten.cc/ftp/pdf/literatur/pdf_211pdf_211_einspeisestudie_endfassung.pdf))

Weblinks

- Inormationsseite der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) zur Einspeisung von Biomethan (http://www.biogaspartner.de)
- österreichische Informationsplattform zur Einspeisung von Biomethan (http://www.biogas-netzeinspeisung.at/)

Referenzen

[1] *Biogas für die Tankstelle* (http://www.joule-online.de/?redid=320857), Joule - Journal für Agrarenergie

[2] Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV), §41a

[3] Deutsche Energie-Agentur: www.Biogaspartner.de – Politik und Recht (http://www.biogaspartner.de/index.php?id=10066)

Bioöl

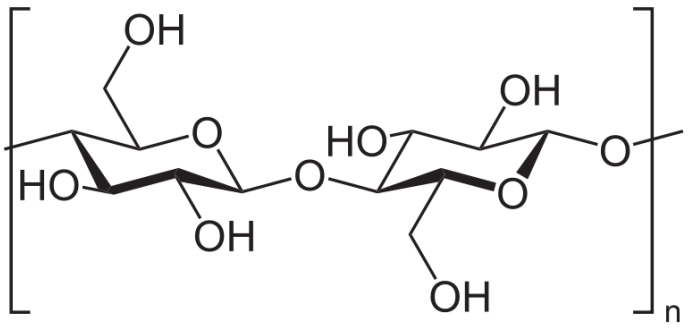
Bioöl bezeichnet:

- im ökologischen Landbau erzeugtes Pflanzenöl
- Pyrolyseöl, eine dunkelbraune Flüssigkeit, die die durch Pyrolyse von Biomasse gewonnen wird.
- biogener Kraftstoff für Dieselmotoren, auch HVO (Hydrogenetic Vegetable Oil) oder HPO (Hydrogenetic Plant Oil) genannt, siehe Palmöl.
- flüssige biogene Schmierstoffe
- andere aus nicht fossiler Biomasse produzierte Öle

Diese Seite ist eine **Begriffsklärung** zur Unterscheidung mehrerer mit demselben Wort bezeichneter Begriffe.

Biopolymere

Biopolymere sind von Lebewesen synthetisierte Polymere. In Form z. B. von Polysacchariden, Proteinen, Nukleinsäuren etc. haben sie Funktionen als Energiespeicher, strukturelle Funktion für die Zelle oder den gesamten Organismus, als Katalysator (Enzym) für Reaktionen des Metabolismus, als Erbsubstanz oder anderes.



Ein in der Natur sehr häufiges vorkommendes, aber auch in technischen Anwendungen genutztes Biopolymer ist die Cellulose. Bis zu tausende Einheiten dieser Grundstruktur (Cellobiose-Rest) sind dabei zu einem Cellulosemolekül verknüpft.

Häufig wird der Begriff Biopolymer auch zur Unterscheidung von Werkstoffen benutzt. Hier wird auch von *technischen Biopolymeren* oder *Biopolymerwerkstoffen* gesprochen, um von *nicht als Werkstoff nutzbaren Biopolymeren* abzugrenzen. Eine einheitliche Definition für technische Biopolymere hat sich noch nicht etabliert. So werden darunter z. B. Werkstoffe zusammengefasst, die aus biogenen Rohstoffen (nachwachsenden Rohstoffen) bestehen und/ oder biologisch abbaubar sind (*bio*gene und *bio*logisch abbaubare Polymere). Darunter fallen also biobasierte Biopolymere, die biologisch abbaubar oder auch nicht biologisch abbaubar sind, als auch erdölbasierte Polymere, die biologisch abbaubar sind. Damit erfolgt eine Abgrenzung von den konventionellen, erdölbasierten Werkstoffen bzw. Kunststoffen, die nicht biologisch abbaubar sind, wie z. B. Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polyvinylchlorid (PVC).[1]

Bei anderen Definitionen dagegen werden Erdölprodukte nicht zu den Biopolymeren (*bio*genen Polymeren) zählen. Sowohl native Polymere (z. B. Cellulose und Cellulosederivate) als auch biobasierte Kunststoffe, die durch umfassende chemische Veränderung der biogenen Rohstoffe hergestellt wurden (z. B. Polylactide (PLA) aus mit Hilfe der weißen Biotechnologie erzeugter Milchsäure), können dazugezählt werden.[2]

Ein verwandter Begriff ist Biokunststoff, der ebenfalls nicht einheitlich verwendet wird, und sich teilweise oder stark mit dem Begriff Biopolymer überschneidet. Auch hier wird die Vorsilbe *Bio-*, abhängig von der jeweiligen Definition, als *bio*gen oder *bio*logisch abbaubar verstanden.[3]

Natürliche Biopolymere

In der nachfolgenden Tabelle sind wichtige, in der Natur vorkommende (biogene) Biopolymere mit dem jeweiligen Monomer, der Art der chemischen Bindung und Beispielen zu ihrem Vorkommen aufgeführt:

Polymer	Monomer(e)	Bindungstyp	Vorkommen
Proteine und Peptide	Aminosäuren	Amid- bzw. Peptidbindung	in allen Lebewesen als Enzyme, Gerüstsubstanzen, Stofftransportsysteme, Chemorezeptoren usw.
Nukleinsäuren	Nukleotide	Phosphodiesterbindung	DNA in allen Lebewesen und vielen Viren als Informationsträger der Erbsubstanz, RNA z. B. als *mobiler Informationsträger* (mRNA)
α-Polysaccharide	Mono- bzw. Disaccharide	α-glykosidische Bindung	als Energiespeicher (Stärke in Pflanzen, Glykogen in Tieren)
β-Polysaccharide	Mono- bzw. Disaccharide	β-glykosidische Bindung	als Gerüstsubstanz (Cellulose in Pflanzenwänden, Chitin in Pilzen, Arthropoden und Kopffüßern, Chitosan in Pilzen)
Lipide	Carbonsäuren und Alkohole	Esterbindung	in allen Lebewesen als Energiespeicher und Bausteine von Zellmembranen, in manchen Hormonen und Pigmenten
Polyhydroxyalkanoate (PHA)	Hydroxyalkanoat	Esterbindung	als bakterieller Reservestoff, wie z. B. Polyhydroxybutyrat (PHB)
Cutin	C_{16}- und C_{18}-Hydroxyfettsäuren	Esterbindung	zur Versiegelung von Pflanzenzellen gegen Wasser
Suberin	Glycerin und Polyphenole	Ether- und C-C-Bindungen	zur Versiegelung von Pflanzenzellen für Wassertransport
Lignin	Phenylpropanderivate (Cumaryl-, Coniferyl- oder Sinapylalkohol)	Ether- und C-C-Bindungen	als Gerüstsubstanz bei verholzenden Pflanzen

Technische Biopolymere

→ *Hauptartikel: Biokunststoff*

Technische Biopolymere (Biowerkstoffe) lassen sich, laut der Definition von *Endres und Siebert-Rath*, in die drei in den nachfolgenden Absätzen erläuterten Kategorien unterteilen.[1] Diese Definition deckt sich mit der von der European Bioplastics verwendeten Definition von Biokunststoff, die jedoch keine Allgemeingültigkeit hat.[3]

Werden Biopolymere dagegen als *biologisch abbaubare Polymere* definiert, sind nicht alle im Folgenden unter *Native Polymere* und *Biobasierte Polymere* aufgeführten Beispiele dazuzuzählen.

Kunststoffe sind meist keine homogenen Produkte, sondern benötigen verschiedene Hilfs- und Zusatzstoffe, die häufig erdölbasiert sind. Nur teilweise ist ein Ersatz durch biobasierte Komponenten möglich.

Native Polymere

(siehe auch Artikel Cellulose, Stärkepolymer und Stärke als nachwachsender Rohstoff)

In der Natur bzw. in Biomasse vorkommende Polymere, wie z. B. Cellulose und Stärke, können ohne oder mit nur geringen Veränderungen bzw. unter Erhalt der Grundstruktur zur Erzeugung von Biopolymeren verwendet werden:

- Cellulose und bestimmte Cellulosederivate
  - Regeneratfasern wie Viskose und Cellophan
  - Zelluloid
- Stärke
  - Thermoplastische Stärke



Verpackung aus dem Biokunststoff Celluloseacetat

Biobasierte Polymere

Organische Verbindungen, wie z. B. Stärke bzw. Glucose, können umfassend modifiziert werden, um biobasierte Polymere herzustellen:

- Polylactid: Polymer der Milchsäure, das Monomer kann z. B. fermentativ mit Bakterien (Weiße Biotechnologie) aus organischen Verbindungen, wie z. B. Glucose, hergestellt werden
- Polyhydroxybutyrat (PHB): in der Natur als Speichersubstanz in Bakterien vorkommendes Polymer, durch Fermentation von Bakterien aus anderen organischen Verbindungen herstellbar
- Thermoplaste auf Ligninbasis
- Epoxyacrylate auf der Basis von Ölen (aktuell vor allem Lein- und Palmöl)

Abbaubare, erdölbasierte Polymere

Bestimmte erdölbasierte Kunststoffe sind biologisch abbaubar und werden daher gelegentlich als Biopolymere (oder Biokunststoffe) bezeichnet:[3]

- bestimmte Polyester
- Polyvinylalkohol
- Polybutylenadipat-terephthalat (PBAT)
- Polybutylensuccinat (PBS)
- Polycaprolactone (PCL)
- Polyglycolid (PGA)

Biologischer Abbau

→ *Hauptartikel: Biologisch abbaubarer Werkstoff*

Die biologische Abbaubarkeit ist vor allem für die spätere Entsorgung des Werkstoffs relevant. Unter ökologischen und Nachhaltigkeitsaspekten sind abbaubare Kunststoffe von zunehmendem Interesse und von zunehmender wirtschaftlicher Bedeutung.

Zu bedenken ist, dass Polymere aus natürlichen oder biobasierten Rohstoffen häufig biologisch abbaubar sind, aber auch Produkte erzeugt werden können, die beständig sind. Ebenso sind Polymere aus fossilen Rohstoffen zwar häufig von hoher Beständigkeit, aber auch abbaubare Produkte können erzeugt werden (siehe Absatz *Abbaubare, erdölbasierte Polymere*).

Je nach Anwendungsfall werden unmodifizierte Roh-Biopolymere mit anderen Roh-Biopoylmeren vermischt (geblendet), um die gewünschten Eigenschaften zu erreichen. Hersteller von solchen Blends sind z. B. Novamont, Biotec, FKuR und Limagrain.

Siehe auch

- Biowerkstoff

Weblinks

- *Biopolymer Database* [4], Datenbank mit Eigenschaften von Biopolymeren für technische Anwendungen, erstellt von der FH Hannover und M-Base Engineering + Software GmbH
- *Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung* [5], Forschung und Entwicklung unter anderem im Bereich Biopolymere

Literatur

- P. Eyerer, P. Elsner, T. Hirth (Hrsg.): *Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften.* 6. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg 2005, ISBN 3540214100, S. 1443–1482.
- Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths: *Technische Biopolymere.* Hanser-Verlag, München 2009, ISBN 978-3446416833.

Referenzen

[1] H.-J. Endres, A. Siebert-Rath: *Technische Biopolymere*, Hanser-Verlag, München 2009, ISBN 978-3446416833, in Auszügen frei einsehbar hier (http://www.amazon.de/gp/reader/3446416838/ref=sib_dp_pt#reader-link)

[2] Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung (IAP): *Flyer* (http://www.iap.fraunhofer.de/institut/flyer/Faltblatt_IAP_Fraunhofer-IAP.pdf), Übersicht über Tätigkeitsfeld des Instituts, abgerufen am 27. März 2010

[3] www.european-bioplastics.org: *Biokunststoffe* (http://www.european-bioplastics.org/index.php?id=5), Seite des Interessensverbands *European Bioplastics*, abgerufen am 27. März 2010

Bioraffinerie

Eine **Bioraffinerie** ist eine Raffinerie, in der Biomasse zu verschiedenen Produkten verarbeitet wird. Dieses sind zum einen stoffliche Produkte, wie Nahrungs- und Futtermittel, sowie chemische Verbindungen, die aus dem Rohstoff isoliert oder durch verschiedene chemische Verfahren aus diesem erzeugt werden. Zum anderen kann das Produkt Energie in Form von Kraftstoffen, Strom oder Wärme sein.

Das Prinzip der Bioraffinerie ist vergleichbar mit dem einer Erdölraffinerie, in der der komplex zusammengesetzte Rohstoff Erdöl in einzelne Fraktionen oder Komponenten getrennt wird. Teilweise werden diese durch chemische Verfahren in andere Verbindungen umgewandelt.

Bioraffinerien sollen unter anderem Erdöl als wichtigen Rohstoff der chemischen Industrie ergänzen und ersetzen. Daneben könnten durch die Vielzahl der verschiedenen chemischen Verbindungen in Biomasse auch neue Anwendungsmöglichkeiten entstehen. Weitere wichtige Faktoren sind Bemühungen zum Klima- und Umweltschutz.

Das Konzept der Bioraffinerie mit einer ganzheitlichen und hochwertigen Nutzung der Biomasse befindet sich derzeit noch in der Entwicklung. Teilweise ist dieses Konzept aber bereits umgesetzt, z. B. bei der Herstellung von Zucker und Bioethanol, wo versucht wird, auch die Neben- bzw. Koppelprodukte hochwertig zu nutzen. Auch Biogasanlagen werden gelegentlich als Bioraffinerie bezeichnet.

Rohstoff Biomasse

(siehe auch Artikel Biomasse)

Das Konzept einer Bioraffinerie hängt wesentlich vom jeweils verfügbaren Rohstoff ab. Diskutiert werden vor allem Konzepte, die Holz, landwirtschaftliche Produkte oder pflanzliche Abfälle als Rohstoffbasis vorsehen.

Biomasse ist sehr komplex zusammen gesetzt aus zahlreichen verschiedenen organischen Verbindungen in sehr unterschiedlichen Anteilen. Einen großen Anteil an der Masse machen Verbindungen aus, die zu den Fetten, Kohlenhydraten oder Proteinen (Eiweißen) gehören. Daneben finden sich zahlreiche weitere Verbindungen, die aber meist in geringeren Anteilen vorkommen, wie z. B. die Sekundärmetabolite (bzw. Sekundäre Pflanzenstoffe).

Je nach Biomasse, schwanken diese Anteile. Holz beispielsweise hat eine deutlich andere Zusammensetzung, verglichen mit Stärkepflanzen (z. B. Weizen, Mais) oder Ölpflanzen (Raps, Soja) oder Pflanzenabfällen.

Anlagenkonzepte

In einer Bioraffinerie wird versucht, bestimmte hochwertige Verbindungen aus der Biomasse zu isolieren. Dabei wird die Synthese-Vorleistung der Natur genutzt, um entweder aufwendige, künstliche Herstellungsprozesse zu ersetzen, oder um komplexe, nicht künstlich herstellbare Verbindungen zu gewinnen.

Sie können z. B. für pharmzeutische Zwecke und als Grundchemikalie verwendet werden. Da sie meist nur einen kleinen Anteil ausmachen, verbleibt ein Großteil der Biomasse, aus dem wiederum z. B. Nahrungsmittel, Futtermittel, oder weniger hochwertige Chemikalien gewonnen werden können. Nachdem stofflich nutzbare Anteile aus der Biomasse gewonnen wurden, kann der verbleibende Anteil noch energetisch genutzt werden, um Strom und Wärme für den Anlagenbetrieb oder zum Verkauf zu erzeugen.

Neben der Gewinnung von Verbindungen, die in der Biomasse vorhanden sind, ist die Erzeugung neuer Verbindungen aus dem Rohstoff ein weiteres Betätigungsfeld innerhalb eine Bioraffinerie. Hier können chemische Verfahren zum Einsatz kommen, wie insbesondere auch biotechnologische Ansätze.[1]

Die Anlagenkonzepte für Bioraffinerien unterscheiden sich zunächst vor allem durch den eingesetzen Rohstoff.

Lignocellulose-Bioraffinerie

Eine Lignocellulose-Bioraffinerie verwendet den Rohstoff Holz, der zu großen Teilen aus Lignocellulose - einer Struktur aus Lignin und Cellulose - und Hemicellulose besteht. Auch ähnlich zusammengesetzte Biomasse, wie Stroh und Gras, sowie Abfälle aus der Papierindustrie, wie z. B. die ligninreiche Schwarzlauge, können eingesetzt werden.[1] [2]

Lignin besteht vor allem aus der aromatischen Verbindung Phenol, die für die chemische Industrie nützliche sein könnte. Cellulose ist ein Polysaccharid aus dem Monomer Glucose. Diese kann zu zu verschiedenen Grundchemikalien, wie z. B. Ethanol und Ethen als Ausgangsprodukt zur Herstellung von Polyethylen (PE) und Polyvinylchlorid (PVC) oder zu Hydroxymethylfurfural als Ausgangsprodukt zur Herstellung von Nylon, weiterverarbeitet werden. Daneben ist Glucose ein Substrat für biotechnologische Herstellungsprozesse per Fermentation. Hemicellulose ist ebenfalls ein Polysaccharid, allerdings aus verschiedenen Pentosen als Monomer. Diese können ebenfalls zu einem Furfural-Derivat bzw. Nylon verarbeitet werden.[1] [3]

Ganzpflanzen-Bioraffinerie

(siehe auch Stärke als nachwachsender Rohstoff)

Eine Ganzpflanzen-Bioraffinerie verwendet die vollständige Nutzpflanze, wie z. B. Mais, Weizen, Roggen, Triticale etc.. Die Pflanzen bestehen im wesentlichen aus dem Korn und dem lignocellulosereichen Stroh. Letzteres kann in einer Lignocellulose-Bioraffinerie weiterverarbeitet werden oder durch Pyrolyse in Synthesegas (Syngas) umgewandelt werden, welches die Basis für synthetische Kraftstoffe wie Biomass-to-Liquid (BtL) oder Methanol ist. Das Korn besteht vor allem aus dem Glucose-Polymer Stärke, die vielfältig weiterverarbeitet werden kann. Sie kann direkt als Rohstoff der Lebensmittel- oder chemischen Industrie verwendet werden. Auch die Herstellung von Biokunststoffen, wie z. B. thermoplastischer Stärke und die Verwendung als Fermentationssubstrat sind möglich.[1]

Grüne Bioraffinerie

Die Grüne Bioraffinerie verwendet Pflanzenmaterial, wie z. B. Gras, Klee, Luzerne aus der Landwirtschaft, oder auch unreifes (*grünes*) Getreide.[1] Ein wesentlicher Unterschied zu den anderen beiden Konzepten ist, dass die frische Pflanze verwendet wird, deren Inhaltstoffe sich von Holz oder abgereifen Pflanzen deutlich unterscheidet. Der erste Aufbereitungsschritt ist das Abpressen des Pflanzensafts. Der Presskuchen enthält vor allem Fasern (Cellulose), wie auch Stärke, Farbstoffe und Pigmente. Im Presssaft finden sich Proteine, Aminosäuren, organische Säuren etc.. Daraus könnten z. B. Produkte wie Milchsäure, Aminosäuren, Ethanol etc. isoliert werden. Der Presskuchen kann als Futtermittel, zur Erzeugung von Syngas und Biogas oder auch zur Gewinnung von chemischen Verbindungen gewonnen werden.[1] [4] [5]

Beispiele

Grüne Bioraffinerie Utzenaich

In Österreich wurde im Mai 2009 eine Grüne Bioraffinerie als Demonstrationsanlage eröffnet. Es wird Grassilage verwendet, aus der Aminosäuren und Milchsäure gewonnen werden sollen. Feste Anteile werden in einer Biogasanlage energetisch verwertet. Es können 4 t Grassilage pro Stunde bzw. 100 l Pressaft pro Stunde verarbeitet werden. Pro t Silage-Trockensubstanz können 150 bis 210 kg Milchsäure und 80 bis 120 kg Rohprotein (Aminosäuren) gewonnen werden. Es sollen Erkenntnisse gewonnen werden, welche die Konzipierung industrieller Anlagen unterstützen.[5] [6]

Lignocellulose-Bioraffinerie-Laboranlage in Leuna

In einem von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. koordinierten Projekt wurden seit 2007 Verfahrenskonzepte für Lignocellulose-Bioraffinerien entwickelt. In einem Nachfolgeprojekt soll eine erste Versuchsanlage aufgebaut werden, die täglich 1,25 t Holz verarbeitet. Langfristig werden Anlagen mit Verarbeitungskapazitäten von 400.000 t/a für möglich gehalten.[7]

Verfahren und Produkte

In der Bioraffinerie ist eine Vielzahl von Verfahren notwendig, um den Rohstoff aufzubereiten, bestimmte Fraktionen zu isolieren und mit chemischen, chemisch-physikalischen und biotechnologischen Verfahren weitere Verbindungen abzuleiten:[4] [6]

- Aufbereitung z. B. durch:
  - Pressen
  - Zerkleinerung durch Mahlen, Häckseln, etc.
- Trennen und Isolieren durch *(siehe auch Trennverfahren (Verfahrenstechnik):*

- Sieben und Filtration
- Extraktion (Verfahrenstechnik)
- Chromatographie
- etc.

Mit diesen Verfahrne lassen sich in der Biomasse vorhandene Stoffe und Verbindungen gewinnen. Durch chemische Veränderung läßt sich das Produktspektrum noch deutlich erweitern:

- Verarbeitung mit chemischen und chemisch-physikalischen Verfahren:
  - Pyrolyse zur Herstellung von Synthesegas
  - Verwendung von Synthesegas zur Synthese neuer Verbindungen, z. B. BtL und anderen Kohlenwasserstoffen durch Fischer-Tropsch-Synthese
  - Verbrennung zur Erzeugung von Strom und Wärme
- Chemische Veränderung mit biotechnologischen Verfahren *(siehe auch Biotechnologie und Weiße Biotechnologie):*
  - Verwendung des Rohstoffs bzw. von Anteilen für Fermentationen, z. B. zur Herstellung von Grund- und Feinchemikalien, Ethanol, Biogas, Rohstoffe zur Herstellung von Biokunststoffen, Vitamine, Aminosäuren etc.
  - Biokatalyse mit isolierten Enyzme zur Modifikation bestimmter Verbindungen, z. B. zur hydrolytischen Spaltung von Stärke zu Glucose

Perspektive

Nach einer Marktstudie von Festel betrug 2001 der Anteil biotechnologisch hergestellter Chemikalien mit 30 Milliarden US-$ 2,5 % des Gesamtmarktes. Bis 2010 wird ein Anstieg auf ca. 20 % (310 Milliarden US-$ bei einem Gesamtumsatz von 1 600 Milliarden US-$) prognostiziert. Bei den durch hohe Wertschöpfung charakterisierten Feinchemikalien fällt die Wachstumsprognose besonders attraktiv aus: Von heute 16 % auf 60 % im Jahr 2010, vor allem für enantiomerenreine Pharmawirkstoffe. Die Entwicklung der Bioraffinerie steht noch am Anfang – besonders in Deutschland und Europa. In den USA werden die Aufgaben seit Jahren offensiver angegangen. Dort erwarten Experten, dass bis 2020 ein Viertel der derzeitig fossil-basierten organischen Grundstoffe und 10 % der Öle und Kraftstoffe mittels Bioraffinerie-Technologien produziert werden. Die USA investieren jedes Jahr rund 360 Mio. US-Dollar in die Förderung von Biomasse (2003: ca. 420 Mio. US-Dollar, 2005: ca. 310 Mio. US-Dollar). Dagegen hat die EU in die Forschung zur Nutzung von Biomasse in sechs Jahren insgesamt 74 Mio. Euro (innerhalb des 6. Forschungsrahmenprogramms) investiert. Derzeit prüft das EU-Parlament einen Vorschlag, in dem die EU-Kommission vorschlägt, den gesamten FuE-Bedarf im 7. Forschungsrahmenprogramm (2007–2013) zu verdoppeln.

Literatur

- G. Festel et.al.: *Der Einfluss der Biotechnologie auf Produktionsverfahren in der Chemieindustrie*, Chemie Ingenieur Technik 2004, 76, No. 3, S. 307–312
- *Biobased Industrial Products: Research and Commercialization Priorities (2000) Commission on Life Sciences (CLS).* Der Text diente als Fachvorlage zur „Präsidentenorder“ Nr.: 13101 zur Auflage eines gleichnamigen FuE-Programms in den USA bis zum Jahre 2010.
- B. Kamm, M. Kamm: *Biorefinery-Systems,* Chemical and Biochemical Engineering Quarterly 2004, 18 (1), S. 1–6, pdf-Datei [8].
- B. Kamm,P. Gruber, M. Kamm: *Biorefineries - Industrial Processes and Products*, Wiley-VCH, 2006, ISBN 978-3527310272, umfassendes, zweibändiges Werk zum status quo und zur zukünftigen Entwicklungen des *Konzepts Bioraffinerie*.

- A. Demirbas: *Biorefineries. For Biomass Upgrading Facilities.* Springer-Verlag, London 2010. ISBN 978-1-84882-720-2.

Weblinks

- *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)* [9], Internetpräsenz der FNR, öffentlich finanzierte Einrichtung zur Forschung, Entwicklung, Markteinführung, Öffentlichkeitsarbeit etc. im Bereich Nachwachsende Rohstoffe, umfassende Informationen als pdf oder Druckversionen frei verfügbar
- *MONITORING Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe* [10], Monitoring des Büros für Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestags zur „Industriellen stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe“
- *BIO-raffiniert* [11] – Nützliches rund um das Thema Bioraffinerie – Forum von Forschungseinrichtungen, Interessensverbänden und anderen, das den Themen Bioraffinerie und der weißen Biotechnologie zu mehr Beachtung verhelfen will
- *biorefinica – tagungs- und symposiennetzwerk* [12] – Tagungs- und Symposiennetzwerk biobasierte industrielle Produkte, Prozesse und Bioraffinerien, inklusive der Vorträge [13] verschiedener Tagungen
- *FABRIK der Zukunft* [14], österreichisches, öffentlich gefördertes Projekt zur Unterstützung der Entwicklung von nachhaltigen Technologien, wie z. B. Bioraffinerien; aktuelle und Hintergrundinfos zu Bioraffinerien
- *Bioraffinerien ersetzen die Petrochemie* [15], Bericht vom 6. November 2009 auf www.pflanzenforschung.de, Informationsportal des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)

Referenzen

[1] Kamm, B. und Kamm. M.: pdf-Datei *Biorefinery-Systems* (http://www.pbf.hr/cabeq/pdf/18_1_2004/Biorefinary CABEQ_2004_01.pdf), Chemical and Biochemical Engineering Quarterly 2004, 18 (1), S. 1–6, englisch, abgerufen am 28. Februar 2010

[2] J. Michels, K. Wagemann: *Lignin – Schlüsselkomponente in der Lignocellulose Bioraffinerie* (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_367-gf_band_31_lignin_100dpi.pdf), Gülzower Fachgespräche, Band 31: *Stoffliche Nutzung von Lignin*, S. 170, Konferenz am 10. März 2009, veröffentlicht am 26. Oktober 2009, als pdf

[3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V: [day (http://www.nachwachsenderohstoffe.de/presseservice/pressemitteilungen/archiv/archiv-nachricht/archive/2007/july/article/bioraffinerie-rohstoffe-aus-holz-fuer-die-chemische-industrie.html?tx_ttnews)=05&cHash=1523936871 *Bioraffinerie: Rohstoffe aus Holz für die Chemische Industrie*], Pressemitteilung vom 5. Juli 2007 zu einem dreijährigen Förderprojekt, abgerufen am 01. März 2010

[4] Brandenburgische Umwelt Berichte (BUB): *Grüne BioRaffinerie Brandenburg* (http://www.biopos.de/pdf/BUB8.pdf), B. Kamm et al., BUB 8 (2000) 260-269, ISSN 14134-2375, als pdf

[5] www.fabrikderzukunft.at: *Weltweit erste Grüne Bioraffinerie für Grassilage eröffnet* (http://www.fabrikderzukunft.at/highlights/bioraffinerie/), abgerufen am 01. März 2010

[6] www.nachhaltigwirtschaften.at: *Grüne Bioraffinerie - Aufbereitung und Verwertung der Grasfaserfraktion* (http://www.nachhaltigwirtschaften.at/nw_pdf/0667_grasfaserfraktion2.pdf), Berichte aus Energie- und Umweltforschung (2006), abgerufen am 01. März 2010

[7] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: [day (http://www.nachwachsenderohstoffe.de/presseservice/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/archive/2009/november/article/neue-bioraffinerie-koennte-saemtliche-holzbestandteile-veredeln.html?tx_ttnews)=04& *Neue Bioraffinerie könnte sämtliche Holzbestandteile veredeln*], Pressemitteilung vom 04. November 2009, abgerufen am 01. März 2010

Bioreaktor

Ein **Bioreaktor**, häufig auch als **Fermenter** bezeichnet, ist ein Behälter, in dem bestimmte Mikroorganismen, Zellen oder kleine Pflanzen [1] unter möglichst optimalen Bedingungen kultiviert (auch: *fermentiert*) werden. Der Betrieb eines Bioreaktors ist somit eine Anwendung der Biotechnologie, die biologische Prozesse (Biokonversion, Biokatalyse) in technischen Einrichtungen nutzt bzw. nutzbar macht.



Viele Produkte der roten Biotechnologie werden in Bioreaktoren produziert, wie in dieser Anlage zur Herstellung von Vakzinen

Wichtige Faktoren, die in den meisten Bioreaktor steuerbar oder kontrollierbar sind, sind die Zusammensetzung des Nährmediums (auch *Nährlösung* oder *Substrat*), die Sauerstoffzufuhr, Temperatur, pH-Wert, Sterilität und andere.[2] Zweck der Kultivierung in einem Bioreaktor kann die Gewinnung der Zellen oder von Bestandteilen der Zellen oder die Gewinnung von Stoffwechselprodukten sein. Diese können z. B. als Wirkstoff in der pharmazeutischen oder als Grundchemikalie in der chemischen Industrie verwendet werden. Auch der Abbau von chemischen Verbindungen kann in Bioreaktoren stattfinden, wie z. B. bei der Abwasserreinigung in Kläranlagen.[3] Die Herstellung von Bier, Wein und anderen, seit Jahrtausenden erzeugten Produkten findet ebenfalls in Bioreaktoren statt. Anders als bei modernen Anwendungen spricht man bei diesen klassischen Beispielen meist nicht von Bioreaktoren oder Fermentern.


Moosbioreaktor mit *Physcomitrella patens*

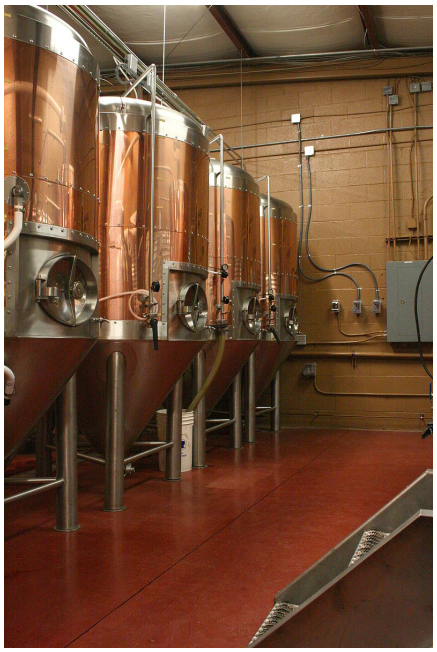
In Bioreaktoren werden unterschiedlichste Organismen für verschiedene Zwecke kultiviert. Daher stehen mehrere Reaktorvarianten in unterschiedlicher Ausführung zur Verfügung. Typisch sind Rührkesselreaktoren aus Metall, die ein Volumen von wenigen bis tausenden Litern haben können und mit flüssiger Phase gefüllt werden. Andere Varianten sind Festbettreaktoren, Photobioreaktoren etc..[4]

Geschichte

(siehe Hauptartikel Biotechnologie)

Da auch Braukessel in Brauereien technisch zu den Bioreaktoren zählen, kann man das Erscheinen der ersten Bioreaktoren mit dem Erscheinen der ersten Brauereien vor ungefähr 5500 Jahren gleichsetzen. Auch die seit Jahrtausenden verbreiteten Vorrichtungen zur Herstellung verschiedener Milchprodukte mit Hilfe von Bakterien oder Enzymen können als Bioreaktoren bezeichnet werden.

Mit der Weiterentwicklung der Biotechnologie, vor allem durch wesentliche Fortschritte in der Mikrobiologie im 19. Jahrhundert und der Genetik, Molekularbiologie und Gentechnik ab Mitte des 20. Jahrhunderts konnten immer mehr Anwendungsmöglichkeiten, z. B. in der chemischen Industrie und im Bereich der Pharmazeutik entwickelt werden. In vielen biotechnologischen Verfahren kommen dabei Bioreaktoren zum Einsatz.



Gärbottiche zur Bierherstellung sind ebenfalls Bioreaktoren

Betriebsparameter

Ein Bioreaktor hat vor allem den Zweck, möglichst hohe Produktausbeuten zu liefern. Das wird insbesondere durch Schaffung optimaler Bedingungen für den jeweils verwendeten Organismus erreicht. Dieser ist an verschiedene Parameter, die in seinem natürlichen Lebensraum herrschen, angepasst. Wichtig sind z. B. die Art und Konzentration der Nährstoffe, die Temperatur, der Sauerstoffgehalt der pH-Wert etc.. Meist ist zudem ein Rührwerk oder eine andere Einrichtung notwendig, um für eine gleichmäßige Einstellung dieser Parameter im Reaktor zu sorgen. Neben den Ansprüchen der Organismen müssen auch andere technische, organisatorische und ökonomische Faktoren berücksichtigt werden, die die Wahl der Betriebsparameter beeinflussen. Beispiele sind die Vermeidung der Schaumbildung und die Wahl entweder einer kontinuierlichen oder einer Batch-Betriebsweise.

Mit Hilfe von Sonden bzw. Sensoren werden diese Parameter direkt im Nährmedium oder der Abluft gemessen.[5] Über diese Parameter ist zudem meist der Verlauf eines Fermentationsansatzes beurteilbar, z. B. über die Zelldichte, die über die Extinktion (optische Dichte) ermittelt werden kann oder durch Messung der Konzentration einer charakteristischen chemischen Verbindung.[6]

Zu Beginn einer Fermentation wird das Nährmedium mit einem Inokulum aus einer Vorkultivierung des verwendeten Organismuses angeimpft. Die aus dem Fermentationsprozess gewonnene Suspension (*Brühe*) wird beim Downstream Processing aufbereitet.

Nährstoffversorgung

Mit dem Nährmedium müssen den Organismen alle für das Wachstum benötigten Nährstoffe zur Verfügung gestellt werden. Dazu gehören die in größeren Mengen benötigten Hauptnährelemente (Makronährelemente), wie z. B. Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor. Auch verschiedene Spurenelemente (Mikronährelemente) werden benötigt. Je nach Organismus sind weitere Verbindungen notwendig, die nicht selbst synthetisiert werden können (Vitamine, essentielle Aminosäuren, etc.). Auch eine energieliefernde Verbindung, wie z. B. häufig der Zucker Glucose, sind notwendig (außer bei phototrophen Organismen).

Temperatur

Organismen haben ein Temperaturoptimum, bei dem sie sich optimal vermehren. Ein Überschreiten dieser Temperatur kann jedoch zu irreversiblen Schädigungen durch Denaturierung der Proteine führen. Die Temperaturregelung wird durch Heiz- und Kühlkreisläufe realisiert. Beim Anfahren des Reaktors wird der gesamte Reaktorinhalt auf Betriebstemperatur geheizt. Teilweise erzeugen die kultivierten Organismen soviel Wärme, dass nur noch der Kühlkreislauf aktiv sein braucht. In den Kühlkreisläufen kann jeweils ein Wärmetauscher integriert sein oder das energietragende Medium wird direkt eingespeist. Als Wärmeaustauschflächen zum Reaktionsraum stehen hierbei meist nur die doppelte Behälterwand, in seltenen Fällen auch eingebaute Kühlregister, zur Verfügung.

Sauerstoffgehalt

Fermentationsansätze können, je nach Organismus und Produkt, aerob (sauerstoffbenötigend bzw. -tolerierend) oder anaerob durchgeführt werden. Sauerstoff ist schlecht wasserlöslich, so dass eine ausreichende Versorgung schwierig ist. Die Sauerstofflöslichkeit in einem Fermentationsmedium mit einer Temperatur von 37 °C liegt beispielsweise bei 3–5 mg/L.Der Sauerstoffpartialdruckes kann durch verschiedene Methoden reguliert werden:

- Veränderung des Gasdurchsatzes,
- Veränderung der Rührerdrehzahl,
- Veränderung der Rührwerkzeuggeometrie,
- Veränderung der Gasgemischzusammensetzung,
- Veränderung des Kopfdruckes (hierbei wird jedoch auch die Löslichkeit von anderen Gasen, zum Beispiel Kohlendioxid, erhöht).

Durch starkes Einblasen von Gas oder zu hohe Rührerdrehzahlen wird jedoch auch die störende Schaumbildung erhöht.

Bei obligat anaeroben Organismen dagegen ist eine Sauerstoffzufuhr zu vermeiden, da er toxisch wirken kann. Bei anaeroben Ansätzen mit fakultativ anaeroben Organismen würde eine Sauerstoffzufuhr ungewünschte aerobe Reaktionen ermöglichen, welche die Prozessausbeute verringern könnten.

pH-Wert

Die kultivierten Organismen besitzen meist eine begrenzte pH-Toleranzbereich mit einem pH-Optimum. Der pH-Wert kann mit automatisch an einen pH-Sensor gekoppelten Pumpen kontrolliert werden, die je nach Bedarf zum Ansäuern zum Beispiel Phosphorsäure (H_3PO_4), Salzsäure (HCl) oder zum erhöhen des pH-Werts zum Beispiel Natronlauge (NaOH) ins Nährmedium pumpen. In bestimmten Fällen kann der pH-Wert auch über die Rate der Fütterung mit Substrat erreicht werden.

Homogenisierung

Die meisten Bioreaktoren verfügen über eine Rühreinrichttung, wie z. B. ein Rührwerk oder eine Gaseinblasung, durch die das Medium umgewälzt wird. Das sorgt für eine homogene Einstellung verschiedener Parameter im gesamten Reaktor und damit für einen gleichmäßigeren Prozessablauf.

Schaumbildung

(siehe auch Artikel Entschäumer)

Problematisch ist häufig die Schaumentwicklung durch das Rühren, was die Abluftfilter verstopfen und die die kultivierten Zellen mechanisch belasten kann. Chemische Entschäumer (Antischaummitteln) wirken über die Verringerung der Oberflächenspannung. Negativ ist die Beeinflussung des Gastransports und die schlechte Abtrennbarkeit aus der Reaktionslösung beim Downstream Processing (Produktaufbereitung).

Mechanische Entschäumer wie Schaumzerstörer zerschlagen den Schaum, entfernen aber nicht die schaumbildenden Faktoren, wie z. B. abgestorbene Zellen. Bei Schaumabscheidern wird der Schaum abgeleitet und wieder verflüssigt und kann anschließend abgepumpt werden.

Kontinuierlicher oder Batch-Betrieb

(siehe auch Artikel Batch-Prozess, Fed-Batch-Prozess und Chemostat-Bioreaktor)

Bei der Betriebsweise einer Fermenters kann unterschieden werden zwischen:

- Batch-Betrieb: befüllen des Reaktors, kein Hinzufügen oder Entnehmen während der Fermentationsprozesses, einfache Steuerung, Kontaminationen unwahrscheinlich
- Fed-Batch-Betrieb: ähnlich dem Batch-Betrieb; jedoch z. B. Substratzugabe während des Prozesses, da eine anfangs hohe Substratkonzentration inhibierend sein könnte
- kontinuierlicher Betrieb im Chemostat-Bioreaktor: ununterbrochener Betrieb durch Substratzugabe und Produktentnahme, komplexe Steuerung, Kontaminationen problematisch, aber teure und aufwendige Downstream-Prozesse können ebenfalls kontinuierlich durchgeführt werden

Z. B. in der Forschung werden eher Batch-Fermentationen durchgeführt, während bei größeren Produktionsanlagen die Einrichtung eines kontinuierlichen Betriebs ökonomisch sinnvoll sein kann.

Reaktoren

Reaktortypen

Die für die verwendeten Organismen bzw. aus technischen, organisatorischen und anderen Gründen einzuhaltenden Betriebsparameter sind sehr unterschiedlich. Für die jeweilige Verwendung ist daher ein entsprechender Bioreaktor zu entwerfen oder es kann ein Reaktortyp verwendet werden, in dem die verschiedenen Parameter in einem breiten Fenster geregelt werden können, so dass er für verschiedene Zwecke eingesetzt werden kann. Ein häufiger Typ ist der begasbare Rührkesselreaktor in unterschiedlichsten Varianten (Material, Größe, usw.).

Unterscheidung nach Rührtechnik

In jedem Bioreaktor finden sich die drei Phasen fest (Biomasse), flüssig (Nährmedium) und gasförmig (zum Beispiel Luft, Sauerstoff, Kohlendioxid, Stickstoff). Im Bioreaktor wird deren Verteilung mit verschiedenen Maßnahmen homogen gehalten:

- bewegliche mechanische Einbauten (Rührwerke): z. B. im Rührkesselreaktor
- äußerer Pumpenkreislauf: die Flüssigkeit wird durch eine Pumpe umgewälzt, z. B. Freistrahlreaktor
- Einblasen von Gas: die Gasphase wird in den flüssigen Anteil eingeblasen und , z. B. Airliftreaktor, auch Blasensäulenreaktor

Werden diese Reaktorformen mit Leitrohren versehen, dann ergeben sich die folgenden Reaktortypen:

- Propeller-Schlaufenreaktor (ein Reaktor, bei dem Energie durch ein axial nach unten förderndes Rührorgan eingetragen wird und der mit einem Leitrohr versehen ist)
- Strahl-Schlaufenreaktor (ein Freistrahlreaktor mit einem Leitrohr)
- Mammutschlaufenreaktor (ein Airliftreaktor oder ein Blasensäulenreaktor mit einem Leitrohr)

Unterscheidung nach Aufbau

Eine weitere Unterscheidung ist nach der Art des Reaktoraufbaus möglich:

- Rührkesselreaktor: verbreiteter Typ; die flüssige Phase wird mit einem Rührwerk umgewälzt; nach Bedarf erfolgt eine Begasung
- Festbettreaktor: der Reaktor ist mit einer festen, porösen Matrix gefüllt, auf der die Organismen (oder Enzyme) immobilisiert werden können; die Organismen verbleiben so im Reaktor, statt mit dem Medium ausgeschwemmt zu werden, so dass das Wachstum der Organismen ein weniger limitierender Faktor ist
- Rieselstromreaktor (Tropfkörper): ein Festbett wird mit Flüssigkeit (z. B. zu klärendes Abwasser) berieselt; die abbauenden Organismen sitzen auf der Oberfläche; im Gegenstrom wird die für den Abbau notwendige Luft (Sauerstoff) eingeleitet
- Photobioreaktor (Algenreaktor, Wasserstoffbioreaktor): zur Kultivierung von Photosynthese betreibenden Organismen (Algen, Pflanzen(zellen)); der Reaktor besteht aus Glas, damit das notwendige Licht zu den Organismen gelangt; optimiert wird die Lichtausnutzung durch platten- oder röhrenförmige Reaktoren (siehe unten: Rohrreaktor)
- Rohrreaktor: in rohrförmigen Reaktoren kann eine Pfropfenströmung entstehen, die z. B. in bestimmten Fermentern in Biogasanlagen ausgenutzt wird; bereits abgebautes und frisches Material Substrat (Biogasanlage) wird nicht vollständig durchmischt, was verschiedene Vorteile haben kann

Mehrere Rührkesselreaktoren hintereinandergeschaltet bilden einen Kaskadenreaktor ('Rührkesselkaskade').

In der Forschung werden als Laborfermenter kleine Rührkesselreaktoren oder häufig auch Erlenmeyerkolben eingesetzt, die zum Rühren des Mediums auf einen sogenannten Schüttler gesetzt werden.

Früher dominierten wegen der einfacheren Prozesskontrolle in manchen Bereichen Feststoff-Bioreaktoren. Die Flüssigkultivierung, als Submersfermentation bezeichnet, war schwierig zu steuern, dominiert heute aber wegen verschiedener Vorteile, wie z. B. der besseren Möglichkeiten zur Sauerstoffversorgung durch Rühren und Begasung.

Mehrweg- und Einwegreaktoren

Meist sind Bioreaktoren aus Metall (Edelstahl) oder Glas gefertigt. Dies erlaubt eine einfache Reinigung bzw. die Sterilisation und somit die mehrfache Verwendung.

In der tierischen Zellkulturtechnik dagegen werden vermehrt Einweg-Bioreaktoren in Form von vorsterilisierte Einwegbeutel verwendet. Diese bestehen aus Verbundfolie.[7] . Durch die Einwegtechnologie werden die aufwendigen Reinigungs- und Sterilisationsverfahren vermieden, was insbesondere in der Produktion von biologischen Präparaten zu erhebliche verkürzten Rüstzeiten und damit zu Kosteneinsparungen führt. Die meisten Einweg-Bioreaktoren sind keine Rührkesselreaktoren. Die Umwälzung erfolgt statt dessen durch eine Wippvorrichtung.

Anwendungen

Kläranlagen

(siehe Hauptartikel Kläranlage)

Sehr große Bioreaktoren finden sich in Kläranlagen mit biologischen Prozessstufen. Beim Belebtschlammverfahren findet zunächst ein aerober Schritt statt, in dem gelöste Verbindungen von Mikroorganismen in Form der gebildeten Biomasse gebunden werden. Diese Biomasse kann letztlich im Faulturm zum methanreichen Klärgas (ein Faulgas) vergoren werden. Ein weiteres Verfahren ist der Tropfkörper.[8]



Faulturm

Biogasanlagen

(siehe Hauptartikel Biogasanlage)

Die Bioreaktoren von Biogasanlagen werden meist als Fermenter bezeichnet. Die eingesetzte Biomasse wird in einem anaeroben Prozess mit mehreren Schritten (Hydrolyse, Acidogenese, Acetogenese und Methanogenese) zu Biogas und Gärrest abgebaut. Die Behälter sind luftdicht abgeschlossen und verfügen über ein Rührwerk und verschiedene Mess-, Steuer- und Regeltechnik-Einrichtungen (MSR) zur Prozesskontrolle.[9]



Fermenter einer Biogasanlage

Brauereien und Winzereien

(siehe auch Brauerei, Weinherstellung und Alkoholische Gärung)

Auch in der Brauerei oder der Winzerei werden Bioreaktoren gebraucht. Die verwendeten Mikroorganismen sind hier Hefen, die den Zucker aus der Maische bzw. dem Traubensaft in Alkohol und Kohlenstoffdioxid (CO_2) umwandeln.

Pharma- und Kosmetikindustrie

(siehe Artikel Rote Biotechnologie und Weiße Biotechnologie)

Die wertvollsten in Bioreaktoren hergestellten Produkte sind medizinisch-pharmakologische Produkte wie zum Beispiel das als Dopingmittel bekanntgewordene Erythropoietin (EPO) oder moderne Insuline. Da an Medikamente ein deutlich höherer Reinheitsstandard gestellt wird als an Lebensmittel, gelten hier mit den Good Manufacturing Practice-Richtlinien besonders strenge Vorschriften. Alle Betriebsparameter des Bioreaktors müssen in engen Grenzen gehalten werden, und bereits kleinste Abweichungen von diesen haben zur Folge, dass die gesamte Charge nicht in Umlauf gebracht werden darf. Um möglichst viele Unwägbarkeiten ausschließen zu können, kommen in diesen Prozessen nur sehr selten vollbiologische Nährmedien zum Einsatz, sondern es wird ein optimiertes, synthetisches Gemisch aller Nährstoffe verwendet. Dadurch wird vermieden, dass durch Schwankungen der Substratqualität die Produktqualität mitschwankt. Je nach gewünschtem Produkt kommen in der Pharmaindustrie unterschiedliche, meist genetisch veränderte, Mikroorganismen zum Einsatz.

Modellierung

Die Prozesse in Bioreaktoren können durch die Reaktionskinetik beschrieben werden, wobei man bei der Modellierung die Besonderheiten biologischer Prozesse beachten muss (Michaelis-Menten-Theorie, Monod-Kinetik, Enzymkinetik, Enzymhemmung etc.).

Siehe auch

- Idealreaktor

Literatur

- Winfried Storhas: *Bioreaktoren und periphere Einrichtungen: Ein Leitfaden für die Hochschulausbildung, für Hersteller und Anwender*. 1. Auflage. Springer Verlag, Heidelberg 1994, ISBN 3540670548.
- Ludwig Hasler, Rudolf Butz, Ueli Hepp: *Transparenz, Form und Funktion, Fermenterbau – Kunst.* 1, Auflage. Wald: DreiPunktVerlag, 2006. ISBN 978-3-905409-10-9.
- Karl Schwister (Hrsg.): *Taschenbuch der Verfahrenstechnik.* 3. Auflage, Fachbuchverlag Leipzig, München 2007. ISBN 978-3-446-41058-9.
- Garabed Antranikian: *Angewandte Mikrobiologie*, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, ISBN 3-540-24083-7
- Chmiel, Horst (2006): München, Spektrum Akademischer Verlag, *Bioprozesstechnik*, 2. Auflage ISBN 3-8274-1607-8

Referenzen

[1] Eva L. Decker und Ralf Reski (2008): Current achievements in the production of complex biopharmaceuticals with moss bioreactor. Bioprocess and Biosystems Engineering 31, 3-9. doi: 10.1007/s00449-007-0151-y (http://dx.doi.org/10.1007/s00449-007-0151-y)

[2] Garabed Antranikian: "Angewandte Mikrobiologie", 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, ISBN 3-540-24083-7.

[7] Barbaroux M., Sette A.: *Properties of Materials Used in Single-Use Flexible Containers: Requirements and Analysis.*. In: *BioPharm International*. 11, 2006.

Biotechnologie

Die **Biotechnologie** (auch als Synonym zu **Biotechnik** und kurz als **Biotech**) ist eine interdisziplinäre Wissenschaft, die sich mit der Nutzung von Enzymen, Zellen und ganzen Organismen in technischen Anwendungen beschäftigt. Ziel ist die Entwicklung neuer oder effizienterer Verfahren zur Herstellung von chemischen Verbindungen, die Entwicklung von Diagnosemethoden und anderes.[1] [2]



Dickete bei der Käseherstellung

In der Biotechnologie werden Erkenntnisse aus vielen Bereichen, wie vor allem Mikrobiologie, Biochemie (Chemie), Molekularbiologie, Genetik, Bioinformatik und den Ingenieurswissenschaften mit der Verfahrenstechnik (Bioverfahrenstechnik) genutzt.[2] Die Grundlage bilden chemische Reaktionen, die von frei oder in Zellen vorliegenden Enzymen katalysiert werden (Biokatalyse oder Biokonversion).



Moosbioreaktor

Klassische biotechnologische Anwendungen wurden bereits vor Jahrtausenden entwickelt, wie z. B. die Herstellung von Wein und Bier mit Hefen und die Verarbeitung von Milch zu verschiedenen Lebensmitteln mit Hilfe bestimmter Mikroorganismen oder Enzyme.[2] Die moderne Biotechnologie greift seit dem 19. Jahrhundert zunehmend auf mikrobiologische und seit Mitte des 20. Jahrhunderts zunehmend auch auf molekularbiologische, genetische bzw. gentechnische Erkenntnisse und Methoden zurück. Dadurch ist es möglich, Herstellungsverfahren für chemische Verbindungen, z. B. als Wirkstoff für die Pharmazeutik oder als Grundchemikalie für die chemische Industrie, Diagnosemethoden, Biosensoren, neue Pflanzensorten und anderes zu entwickeln.[1] [2]

Biotechnologische Verfahren können vielfältig in unterschiedlichsten Bereichen angewendet werden. Teilweise wird versucht, diese Verfahren nach Anwendungsbereichen zu sortieren, wie z. B. Medizin (Rote Biotechnologie), Pflanzen bzw. Landwirtschaft (Grüne Biotechnologie) und Industrie (Weiße Biotechnologie).[1]

Geschichte

Bereits seit Jahrtausenden gibt es biotechnologische Anwendungen, wie z. B. die Herstellung von Bier und Wein. Die biochemischen Hintergründe waren dabei weitestgehend ungeklärt. Mit den Fortschritten in verschiedenen Wissenschaften, wie vor allem der Mikrobiologie im 19. Jahrhundert, wurden auch optimierte oder neue biotechnologische Anwendungenmöglichkeiten erschlossen. Weitere wichtige Schritte waren die Entdeckung der Desoxyribonucleinsäure (DNA oder DNS) in den 1950ern, das zunehmende Verständnis ihrer Bedeutung und Funktionsweise und die anschließende Entwicklung molekularbiologischer und gentechnischer Labormethoden.

Erste biotechnologische Anwendungen

Die ältesten Anwendungen der Biotechnologie, die schon seit über 5.000 Jahren bekannt sind, sind die Herstellung von Brot, Wein oder Bier (alkoholische Gärung) mit Hilfe der zu den Pilzen gehörenden Hefe. Durch die Nutzung von Milchsäurebakterien konnten zudem Sauerteig (gesäuertes Brot) und Sauermilchprodukte wie Käse, Joghurt, Sauerteig oder Kefir hergestellt werden. Eine der frühesten biotechnologischen Verwendung abseits der Ernährung war die Gerberei und Beize von Häuten mittels Kot und anderen enzymhaltigen Materialien zu Leder. Auf diese Produktionsverfahren bauten große Teile der Technologie bis in das Mittelalter auf, um 1650 entstand ein erstes

biotechnologisches Verfahren zur Essigherstellung.

Entwicklung der Mikrobiologie

(siehe auch Artikel Mikrobiologie, Louis Pasteur und Robert Koch)

Die moderne Biotechnologie basiert wesentlich auf der Mikrobiologie, die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entstand. Vor allem die Entwicklung von Kultivierungsmethoden, der Reinkultur und der Sterilisation durch Louis Pasteur legten Grundsteine zur Untersuchung und Anwendung (Angewandte Mikrobiologie) von Mikroorganismen. Im Jahre 1867 konnte Pasteur mit diesen Methoden Essigsäurebakterien und Bierhefen isolieren. Um 1890 entwickelten er und Robert Koch erste Impfungen auf der Basis isolierter Krankheitserreger und setzten damit die Grundlage für die Medizinische Biotechnologie. Der Japaner Jokichi Takamine isolierte als erster ein einzelnes Enzym für die technische Verwendung, die Alpha-Amylase. Wenige Jahre später nutzte der deutsche Chemiker Otto Röhm tierische Proteasen (eiweißabbauende Enzyme) aus Schlachabfällen als Waschmittel und Hilfsstoffe für die Lederherstellung ein.



Louis Pasteur isolierte erstmals Essigsäurebakterien und Bierhefen.

Biotechnologie im 20. Jahrhundert

Die großtechnische Herstellung von Butanol und Aceton durch Fermentation des Bakteriums *Clostridium acetobutylicum* wurde 1916 von dem Chemiker und späteren israelischen Staatspräsidenten Charles Weizmann beschrieben und entwickelt.[3] Es handelte sich hierbei um die erste Entwicklung der Weißen Biotechnologie. Das Verfahren wurde bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts angewendet, danach aber durch die wirtschaftlichere petrochemische Synthese aus der Propen-Fraktion des Erdöls abgelöst. Die Herstellung von Citronensäure erfolgte ab dem Jahr 1920 durch Oberflächenfermentation des Pilzes *Aspergillus niger*. Im Jahre 1957 wurde erstmals die Aminosäure Glutaminsäure mit Hilfe des Bodenbakteriums *Corynebacterium glutamicum* produziert.



Alexander Fleming auf einer Briefmarke

1928/29 entdeckte Alexander Fleming im Pilz *[Penicillium chrysogenum]]* das erste medizinisch verwendete Antibiotikum Penicillin. 1943 folgte das Antibiotikum Streptomycin durch Selman Waksman, Albert Schatz und Elizabeth Bugie. Im Jahr 1949 wurde die Herstellung von Steroiden in industriellen Maßstab umgesetzt. Anfang der 1960er Jahre wurden Waschmitteln erstmals biotechnisch gewonnene Proteasen zur Entfernung von Eiweißflecken zugesetzt. In der Käseherstellung kann das Kälberlab seit 1965 durch das in Mikroorganismen hergestellte Rennin ersetzt werden. Ab 1970 konnten biotechnisch Amylasen und andere stärkespaltende Enzyme hergestellt werden, mit denen z. B. Maisstärke in den sogenannte „high-fructose corn syrup“, also Maissirup, umgewandelt und als Ersatz für Rohrzucker (Saccharose), z. B. in der Getränkeherstellung, verwendet werden konnte.

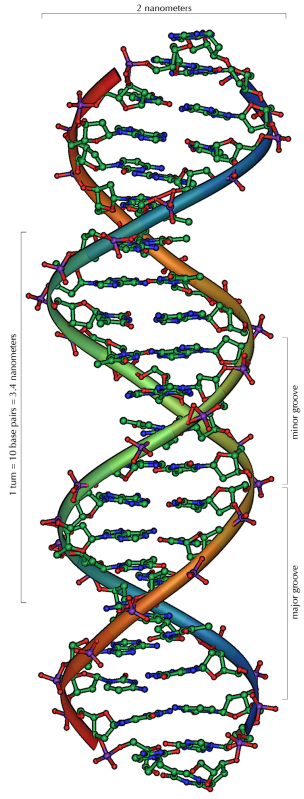
Moderne Biotechnologie seit den 1970er Jahren

Aufklärung der DNA-Struktur

1953 hatten Francis Crick und James Watson die Struktur und Funktionsweise der Desoxyribonucleinsäure (DNA) aufklären können. Damit wurde der Grundstein für die Entwicklung der modernen Genetik gelegt.

Seit den 1970er Jahren kam es zu einer Reihe von zentralen Entwicklungen in der Labor- und Analysetechnik. So gelang 1972 den beiden Biologen Stanley Cohen und Herbert Boyer mit molekularbiologischen Methoden die erste in-vitro-Rekombination von DNA (Veränderung von DNA *im Reagenzglas*), sowie die Herstellung von sogenannten Plasmidvektoren als Werkzeug zur Übertragung (ein Vektor) von Erbgut, z. B. in Bakterienzellen.

Cesar Milstein und Georges Köhler stellten 1975 erstmals monoklonale Antikörper her, die ein wichtiges Hilfmittel in der medizinischen und biologischen Diagnostik darstellen. seit 1977 können rekombinante Proteine (ursprünglich aus anderen Arten stammende Proteine) in Bakterien hergestellt und in größerem Maßstab produziert werden. Im Jahr 1982 wurden erste transgene Nutzpflanzen mit einer gentechnisch erworbenen Herbizidresistenz erzeugt, so dass bei Pflanzenschutzmaßnahmen das entsprechende Herbizid die Nutzpflanze verschont. Im selben Jahr gelang die Erzeugung von Knock-out-Mäuse für die medizinische Forschung. Bei ihnen ist ein (oder mehrere) Gen inaktiviert, um so dessen Funktion bzw. die Funktion des homologen Gens beim Menschen zu verstehen und zu untersuchen.



Strukturmodell eines Ausschnitts aus der DNA-Doppelhelix (B-Form) mit 20 Basenpaarungen

Genomsequenzierungen

Im Jahr 1990 starteten das Humangenomprojekt, welches das Ziel, das gesamte menschliche Genom ($3{,}2 \times 10^9$ Basenpaare (bp)) zu entschlüsseln und zu sequenzieren, bis 2001 (bzw. 2003 in den angestrebten Maßstäben) erreichte. Die Sequenziertechnik basiert direkt auf der 1975 entwickelte Polymerase-Kettenreaktion (PCR), die eine schnelle und mehr als 100.000-fache Vermehrung bestimmter DNA-Sequenzen ermöglichte, um so ausreichende Mengen dieser Sequenz, z. B. für Analysen, zur Verfügung zu haben. Bereits 1996 war das erste Genom, das der Bäckerhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) (2×10^7 bp) vollständig aufgeklärt. Durch die rasante Weiterentwicklung der Sequenziertechnik konnten weitere Genome, wie im Jahr 1999 das der Taufliege *Drosophila melanogaster* (2×10^8 bp), relativ schnell sequenziert werden.

Die Bestimmung von Genomsequenzen führte zur Etablierung weiterer, darauf basierender Forschungsgebiete, wie der Transkriptomik, Proteomik, Metabolomik und der Systembiologie und zu einer Bedeutungszunahme, z. B. der Bioinformatik.

Anwendungen der Gentechnik

In 1995 kam mit der Flavr-Savr-Tomate die erste transgene Produkt auf den Markt und wurde in den USA und Großbritannien zum Verkauf zugelassen. Im Jahr 1996 erfolgten erste Versuche der Gentherapie beim Menschen und 1999 konnten humane Stammzellen erstmals in Zellkultur vermehrt werden. Im gleichen Jahr überschritt das Marktvolumen rekombinant hergestellter Proteine in der Pharmaindustrie erstmals den Wert von 10 Milliarden US-$ im Jahr. Das geklonte Schaf *Dolly* wurde 1998 geboren.

Durch die neu entwickelten gentechnischen Methoden boten sich der Biotechnologie neue Entwicklungsmöglichkeiten, die zur Entstehung der Molekularen Biotechnologie führten. Sie bildet die Schnittstelle zwischen der Molekularbiologie und der klassischen Biotechnologie. Wichtige Techniken sind z. B. die Transformation bzw. Transduktion von Bakterien mit Hilfe von Plasmiden oder Viren. Dabei können gezielt bestimmte Gene in geeignete Bakterienarten eingeschleust werden. Weitere Einsatzgebiete der molekularen Biotechnologie sind analytische Methoden, zum Beispiel zur Identifikation und Sequenzierung von DNA- oder RNA-Fragmenten.[4]

Einteilung

Biotechnologie ist ein sehr weit gefasster Begriff. Entsprechend den jeweiligen Anwendungsbereichen wird sie daher in verschiedene Zweige unterteilt. Zum Teil überschneiden sich diese Zweige, so dass diese Unterteilung nicht immer eindeutig ist. Teilweise sind die Bezeichnungen noch nicht etabliert oder werden unterschiedlich definiert.

Einteilung der Biotechnologie in verschiedene Zweige

Zweig	Anwendungsgebiete
Grüne Biotechnologie	Einsatz in der Landwirtschaft; Pflanzenbiotechnologie
Rote Biotechnologie	Einsatz in der Medizin und Pharmazeutik; Medizinische Biotechnologie
Weiße Biotechnologie	Einsatz in der Industrie; Industrielle Biotechnologie
Graue Biotechnologie	Einsatz in der Abfallwirtschaft
Braune Biotechnologie	Technische bzw. Umwelt-Biotechnologie
Blaue Biotechnologie	Biotechnologische Nutzung von Meeresressourcen

Die *Grünen* Biotechnologie betrifft pflanzliche Anwendungen, z. B. für landwirtschaftliche Zwecke. Die *Rote* Biotechnologie ist der Bereich, der sich mit medizinisch-pharmazeutischen Anwendungen, wie z. b. der Herstellung von Medikamenten und Diagnostika befasst. Die *Weiße* Biotechnologie oder *Industrielle Biotechnologie* umfasst biotechnologische Herstellungsverfahren, vor allem zur Herstellung chemischer Verbindungen in der Chemieindustrie, aber auch Verfahren in der Textil- oder Lebensmittelindustrie.[1]

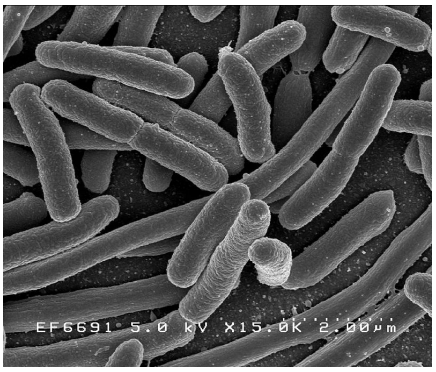
Weniger gängig sind die Einteilungen in die Bereiche *Blaue* Biotechnologie, welche sich mit der Nutzung von Organismen aus dem Meer befasst, und die *Graue* Biotechnologie, welche sich mit biotechnologischen Prozessen im Bereich der Abfallwirtschaft (Kläranlagen, Dekontamination von Böden und ähnliches) befasst.

Unabhängig von dieser Einteilung gibt es die als *konventionelle* Form bezeichnete Biotechnologie, die die Abwasserreinigung, das Kompostieren sowie weitere ähnliche Anwendungen umfasst.

Produktionsmethoden

Organismen

In der modernen Biotechnologie werden mittlerweile sowohl Bakterien als auch höhere Organismen wie Pilze, Pflanzen oder tierische Zellen verwendet. Häufig verwendete Organismen sind oft bereits genau erforscht, wie etwa das Darmbakterium *Escherichia coli* oder die Backhefe *Saccharomyces cerevisiae*, bzw. gut erforschte Organismen werden häufig für biotechnologische Anwendungen eingesetzt, weil sie gut verstanden sind und bereits Methoden zur Kultivierung oder auch gentechnischen Manipulation entwickelt wurden. Einfache Organismen können zudem mit weniger Aufwand genetisch modifiziert werden.



Das Bakterium *Escherichia coli* stellt einen der am häufigsten genutzten Organismen der Biotechnologie dar.

Zunehmend werden aber auch höhere Organismen (mehrzellige Eukaryoten) zu bedienen. Grund hierfür ist etwa die Fähigkeit, posttranslationale Veränderungen an Proteinen vorzunehmen, die z. B. bei Bakterien nicht stattfinden. Ein Beispiel dafür ist das Glykoprotein-Hormon Erythropoetin, unter der Abkürzung *EPO* als Dopingmittel bekannt. Allerdings wachsen etwa tierische Zellen langsamer als Bakterien und sind auch aus anderen Gründen schwieriger zu kultivieren. Teilweise können Pharmapflanzen, die im Feld, im Gewächshaus oder im Photobioreaktor kultiviert werden, eine Alternative zur Herstellung dieser Biopharmazeutika sein.[5]

Bioreaktoren

(siehe Artikel Bioreaktor)

Vor allem Mikroorganismen können in sogenannten Bioreaktoren oder auch Fermenter kultiviert werden. Dieses sind Behälter, in denen die Bedingungen gesteuert und optimiert werden können, so dass die kultivierten Organismen den gewünschten Stoffe produzieren bzw. in höheren Konzentrationen produzieren. In den Reaktoren können verschiedene Parameter, wie z. B. pH-Wert, Temperatur, Sauerstoffzufuhr, Stickstoffzufuhr, Glukosegehalt oder Rührereinstellungen geregelt werden. Da die einsetzbaren Organismen sehr unterschiedliche Ansprüche haben, stehen unterschiedlichste Fermentertypen zur Verfügung, wie z. B. Rührkesselreaktoren, Schlaufenreaktoren, Airliftreaktoren etc., sowie lichtdurchlässige Photobioreaktoren zur Kultivierung von Algen und Pflanzen.

Anwendungen

(siehe entsprechende Absätze in Artikeln Weiße Biotechnologie, Rote Biotechnologie, Grüne Biotechnologie, Graue Biotechnologie und Blau Biotechnologie)

Durch die Vielfältigkeit der Biotechnologie sind zahlreiche Anwendungsbereiche und Produkte mit ihr verknüpft bzw. auf sie angewiesen:

- Antikörpertechnologien: Herstellung z. B. von monoklonalen Antikörpern für verschiedenste diagnostische Methoden in medizinische und biologischer Anwendung und Forschung
- Bioelektronik: Verknüpfung von Biologie und Elektronik, z. B. zur Entwicklung von Biosensoren
- Bioinformatik: Verarbeitung von Daten, die mit biotechnologischen Methoden, wie z. B. Genomsequenzierungen, gewonnen wurden; aber auch Grundlage für die Entwicklung neuer biotechnologischer Methoden und Anwendungen
- Bioverfahrenstechnik: Umsetzung biotechnologischer Anwendungen, wie z. B. Entwicklung von Fermentationsverfahren

- Bioremediation: Beseitigung von Altlasten, wie z. B. giftigen organischen Verbindungen in Böden, durch Nutzung der biochemischen Fähigkeiten, z. B. von Bakterien
- DNA-Chip-Technologie: Nutzung sogenannter DNA-Chips für umfangreiche Screenings, z. B. in Genetik (z. B. Diagnose von Erbkrankheiten), Gentechnik, etc.
- Downstream Processing: Aufbereitung (Aufreinigung) von biotechnisch hergestellten Verbindungen, z. B. aus Fermentationsprozessen bzw. -ansätzen
- Ethanol-Kraftstoff: Herstellung des [[Biokraftstoff]s Bioethanol, z. B. aus Getreidestärke, mit Hilfe von Mikroorganismen, die alkoholische Gärung betreiben, und von Enzymen, die den Verfahrensablauf verbessern
- Gentest-Entwicklung: z. B. Nachweis von Mutationen, die Erbkrankheiten wie Chorea Huntington auslösen
- Gentherapie: z. B. Einbringen einer intakten Genvariante zur vorübergehenden oder dauerhaften Behebung eines Gendefekts
- Klonen: z. B. therapeutisches Klonen, um aus den gewonnen Zellen in vitro Ersatzorgane für den Patienten, von dem die Ausgangzellen stammen, zu erzeugen
- Klontechnologien (Klonierung): Übertragung einer bestimmten DNA-Sequenz in einen Organismus, z. B. des menschlichen Insulin-Gens in ein Bakterium, zur rekombinanten Herstellung von Insulin
- Kriminalistische Anwendungen (siehe auch Genetischer Fingerabdruck): Identifizierung eines Täters anhand der Untersuchung von Spuren mit biotechnologischen Methoden
- Nanobiotechnologie (siehe auch Nanotechnologie)
- Nutrigenomik: z. B. Entwicklung von Functional Food zur medizinischen Prävention
- Pharmakogenomik: Entwicklung individualisierter (optimierter) Arzneimitteltherapien, z. B. für spezifische Populationen bzw. Bevölkerungsanteile
- Pharmazeutische Biotechnologie (Teilgebiet der Roten Biotechnologie)
- Protein-Engineering: gezieltes Entwerfen von verändertern oder neuen Proteinen für spezifische Anwendungen
- Reprogenetik
- Stammzelltherapie: Nutzung von omni- oder pluripotenten Stammzellen zur Therapie verschiedener Krankheiten
- Tissue Engineering oder Gewebezüchtung: in-vitro-Erzeugung von Geweben für die Anwendung in der Regenerative Medizin
- Transgene Technologien
- Xenotransplantation: Übertragung von Zellen oder Geweben zwischen verschiedenen Spezies
- Cellulose-Ethanol: Erzeugung von Bioethanol aus der bisher enzymatisch nicht effizient zugänglichen Cellulose durch Nutzung rekombinant hergestellter Enzyme
- u. v. m.

Kritik

(siehe Artikel Gentechnik und Gentechnikgesetz)

Die Kritik in der Biotechnologie richtet sich vor allem auf den Bereich der Gentechnologie sowie einzelner weiterer Aspekte moderner Biotechnologie, während die Biotechnologie in ihrer Gesamtheit aufgrund ihrer Beedutung für die Ernährung und Medizin selten Gegenstand kritischer Äußerungen ist.

Gentechnische Methoden sind ein wichtiges Hilfmittel in vielen biotechnologischen Anwendungen. Da das Gefährdungspotential der Gentechnik unklar bzw. umstritten ist, stehen solche Anwendungen oft in der Kritik. Die Freisetzung von gentechnisch veränderten Organismen (GVOs), insbesondere Pflanzen durch die Grüne Gentechnik, ist vor allem in Europa bzw. der EU strittig. In anderen Staaten erfolgt dagegen großflächiger Anbau transgenen Pflanzen, wie z. B. Soja, Mais und Baumwolle.[6] Weniger in der Diskussion sind Anwendungen in der Weißen und Roten Biotechnologie.

Perspektive

(siehe auch Artikel Zukunftstechnologie)

Viele biotechnologische Anwendungen basieren auf dem guten Verständnis der Funktionsweise von Organismen. Durch neue Methoden und Ansätze, wie z. B. der Genomsequenzierung und daran angeschlossene Forschungsbereiche wie Proteomics, Transcriptomics, Metabolomics, Bioinformatik etc., wird dieses Verständnis immer weiter ausgebaut. So werden immer mehr medizinische Anwendungen möglich, in der Weißen Biotechnologie können bestimmte chemische Verbindungen, z. B. für pharmazeutische Zwecke oder als Grundstoff der chemischen Industrie, erzeugt werden und Pflanzen können für bestimmte Umweltbedingungen oder ihren Nutzungszweck optimiert werden. Häufig können auch bisherige Anwendungen durch vorteilhaftere biotechnologische Verfahren ersetzt werden, wie z. B. umweltbelastende chemische Herstellungsverfahren in der Industrie. Es wird daher erwartet, dass das Wachstum der Biotechnologie-Branche sich in Zukunft fortsetzen wird.[7]

Literatur

- Moselio Schaechter, John Ingraham, Frederick C. Neidhardt: *Microbe: Das Original mit Übersetzungshilfen*. Spektrum Akademischer Verlag 2006. ISBN 3-8274-1798-8
- Reinhard Renneberg, Darja Süßbier: *Biotechnologie für Einsteiger*. Spektrum Akademischer Verlag 2005. ISBN 3-8274-1538-1
- R. Ulber, K. Soyez: *5000 Jahre Biotechnologie: Vom Wein zum Penicillin*, in: *Chemie in unserer Zeit* **2004**, *38*, 172–180; doi:10.1002/ciuz.200400295 [8].
- G. Festel, J. Knöll, H. Götz, H. Zinke: *Der Einfluss der Biotechnologie auf Produktionsverfahren in der Chemieindustrie*, in: *Chemie Ingenieur Technik* **2004**, *76*, 307–312; doi:10.1002/cite.200406155 [9]
- K. Nixdorff, D. Schilling, M. Hotz: *Wie Fortschritte in der Biotechnologie missbraucht werden können: Biowaffen*, in: *Biologie in unserer Zeit* **2002**, *32*, 58–63.
- Björn Lippold: *Der Regenbogen der Biotechnologie*. bionity.com [10]
- Nikolaus Knoepffler, Dagmar Schipanski, Stefan Lorenz Sorgner (Hrsg.): *Humanbiotechnologie als gesellschaftliche Herausforderung.* Alber Verlag, Freiburg i. B. 2005.
- Volkart Wildermuth: *Biotechnologie. Zwischen wissenschaftlichem Fortschritt und ethischen Grenzen.* Parthas Verlag 2006. ISBN 978-3-86601-922-5

Siehe auch

- PubMed (Datenbank mit wissenschaftlichen Artikeln aus Medizin und verwandten Bereich aus der nationalen medizinischen Bibliothek der USA (NLM)
- Transhumanismus

Weblinks

- biotechnologie. de – Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zum Thema Biotechnologie [11] inklusive einer Definition "Was ist Biotechnologie?" [12]
- *Nachhaltige Bioproduktion*, Förderschwerpunkt des BMBF [13]
- NCBI [14], Seite des National Center for Biotechnology Information (NCBI), National Institute of Health, National Library for Medicine, Zugang zu Daten (u. a. komplette Genomsequenzen), Suchfunktionen und Standardprogrammen für Sequenzvergleiche etc. (englisch)
- *Transgen - Transparenz für Gentechnik bei Lebensmitteln* [15], umfassende Informationsseite des *Forum Bio- und Gentechnologie - Verein zur Förderung der gesellschaftlichen Diskussionskultur e.V.*, abgerufen am 22. Februar 2010

Referenzen

[1] biotechnologie.de *Was ist Biotechnologie?* (http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Hintergrund/basiswissen.html), Informationsseite des BMBF, abgerufen am 22. Februar 2010

[2] Nachhaltige Bioproduktion: *Biotechnologie* (http://www.fz-juelich.de/ptj/projekte/index.php?index=1290)], Förderschwerpunkt des BMBF:"Nachhaltige Bioproduktion*, Informationsseites des Projektpartners* Forschungszentrum Jülich*, abgerufen am 22. Februar 2010*

[3] Charles Weizmann: *Production of Acetone and Alcohol by Bacteriological Processes.* (http://www.google.com/patents?id=CCpcAAAAEBAJ) US Patent 1.315.585 vom September 1919.

[4] Technische Universität München (TUM): *Molekulare Biotechnologie* (http://portal.mytum.de/studium/studiengaenge/molekulare_biotechnologie_bachelor), Beschreibung des Studiengangs, abgerufen am 21. Februar 2010

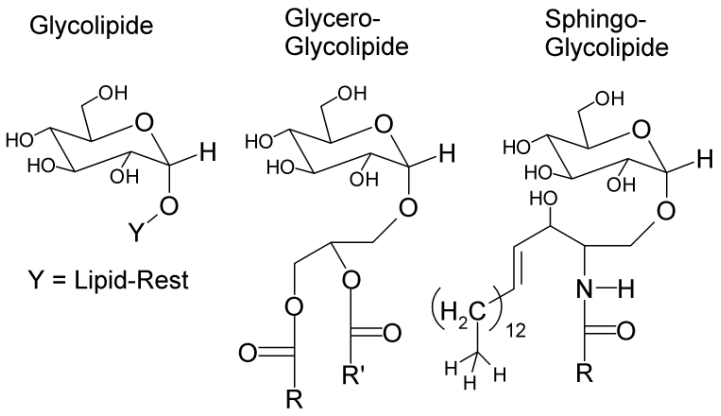
[5] Eva L. Decker, Ralf Reski (2007): Moss bioreactors producing improved biopharmaceuticals. Current Opinion in Biotechnology 18, 393-398. (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VRV-4PNF9TF-1&_user=1634520&_coverDate=10/31/2007&_rdoc=6&_fmt=high&_orig=browse&_srch=doc-info(#toc#6244#2007#999819994#674488#FLA#display#Volume)&_cdi=6244&_sort=d&_docanchor=&_ct=17&_acct=C000054038&_version=1&_urlVersion=0&_userid=1634520&md5=3cc187e05180e5eb05d3205e71b31e83)

[6] transgen.de: *Globale Anbauflächen 2008* (http://www.transgen.de/anbau/eu_international/531.doku.html), abgerufen am 22. Februar 2010

[7] biotechnologie.de: *Biotechnologie-Firmenumfrage 2009* (http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Hintergrund/studien-statistiken,did=95732.html), Informationsseite des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), abgerufen am 22. Februar 2010

Biotenside

Biotenside sind Tensidemoleküle mikrobieller Herkunft, die auf der Basis von Pflanzenöl- und Zuckersubstraten hergestellt werden können. Ebenso wie Tenside nicht-mikrobieller Herkunft sind Biotenside amphiphil, besitzen also sowohl einen hydrophoben als auch einen hydrophilen Molekülteil. Dank dieses amphiphilen Charakters werden sie eingesetzt, um Oberflächenspannungen oder Grenzflächenspannungen herabzusetzen.



Glycolipide stellen die größte Gruppe der Biotenside dar. Hier dargestellt ist die Struktur der Glycolipide sowie der Untergruppen *Glycero-* und *Sphingo-Glycolipide* (als Zucker α-D-Glucopyranose)

Biotenside werden derzeit nur in sehr geringen Mengen produziert und eingesetzt, da sie im Vergleich zu synthetischen Tensiden auf der Basis von Erdöl wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig sind.[1] Ihre Kritische Mizellbildungskonzentration (CMC) ist jedoch technisch mit konventionellen nichtionischen Tensiden vergleichbar.[2]

Eigenschaften

Oberflächenaktive Substanzen mikrobieller Herkunft können in chemisch unterschiedlicher Gruppen eingeteilt werden. Dabei kommt den Glykolipiden, den Lipopeptiden und Lipoaminosäuren, den Lipoproteinen und Lipopolysacchariden sowie den Phospholipiden, Mono- und Diglyceriden und Fettsäuren besondere Bedeutung zu.

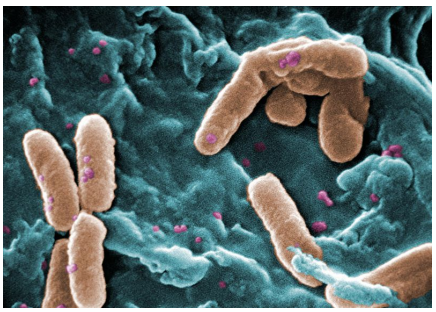
Die Glykolipide sind die am weitesten verbreitete Gruppe niedermolekularer Biotenside und können unterteilt werden in:

- Rhamnoselipide
- Sophoroselipide
- Trehalose- und andere mycolsäurehaltige Glycolipide
- Cellobiose- und Mannosylerythritollipide

Der hydrophile „Molekülkopf“ kann sowohl nicht-ionischer als auch ionischer Natur sein. Hierzu gehören sowohl Mono-, Di- und Polysaccharide als auch Karbonsäure-, Aminosäure- und Peptidgruppen. Der hydrophobe „Molekülschwanz“ besteht normalerweise aus ungesättigten, gesättigten oder hydroxylierten Fettsäuren.

Biotechnologische Herstellung von Biotensiden

Biotenside, die mit Hilfe von Bakterien oder Pilzen hergestellt werden, sind von großem Interesse für die Industrielle Biotechnologie. Ein Vorteil gegenüber der petrochemischen Herstellung von Tensiden ist, dass Biotenside auf Basis nachwachsender Rohstoffe (z.B. pflanzliche Öle, Zucker in Form von Dicksaft oder Melasse) hergestellt werden können. Eine hoher tensidischer Wirkungsgrad und gute biologische Abbaubarkeit sind weitere Gründe, die für die Anwendung von Biotensiden sprechen.



Pseudomonas aeroginosa als Hauptproduzent für Rhamnolipide

Bereits seit einiger Zeit ist die biotechnologische Herstellung von Biotensiden etabliert, jedoch werden sie aufgrund der hohen Produktionskosten bisher nur in Nischenbereichen eingesetzt. Dabei werden bsp. Rhamnose-Lipide (Rhamnolipid) vor allem von *Pseudomonas aeruginosa*, Surfactin von *Bacillus subtilis*, Emulsan von *Acinetobacter calcoaceticus* und Liposan von *Candida lipolytica* sowie Sophorose-Lipid (Sophorolipid) von *Torulopsis bombicola* produziert. Cellobiose-Lipide können in Anwesenheit von Alkanen oder Triglyceriden von dem Maisbeulenbrand (*Ustilago maydis*) gebildet werden während Corynomycolate und Trehalose-Lipide durch Bakterien der Gattungen *Corynebacterium* und *Arthrobacter* produziert werden. Besonders hohe Ausbeuten werden bei der Produktion von Sophorolipiden mit mehr als 400 g/l Suspension erreicht während bei den meisten anderen Biotensiden bis zu 110 mg/l Suspension erreicht werden können.[2]

Die Prozessoptimierung ist ein Schwerpunkt aktueller biotechnologischer Forschung zu Biotensiden. Durch die sehr guten Tensideigenschaften stellt sich vor allem auch das Problem des Schäumens. Zwar existieren gute chemische Antischaummittel (v.a. Silikonöle), diese können jedoch Einfluss auf die Produktqualität nehmen. In der aktuellen Forschung sind deshalb Alternativen im Test, wie etwa die mechanische Schaumzerstörung[3] .

Einige Biotensid-produzierende Organismen wie beispielsweise *Pseudomonas aeruginosa*, der einzige Produzent signifikanter Rhamnolipidmengen[1] , sind opportunistische Krankheitserreger und werden daher als potenziell gefährliche Mikroorganismen eingestuft. Der Umgang mit ihnen ist an entsprechende technische Maßnahmen gekoppelt und sehr aufwändig, alternative Produzenten befinden sich in der Erforschung.[1] Das Surfaction des *Bacillus subtilis* besitzt sehr gute Tensideigenschaften, aufgrund seiner haemolytischen Wirkung wird es allerdings nicht angewendet.[2]

Anwendungspotential von Biotensiden

Die Anwendung von Biotensiden umspannt im Grundlegenden die Anwendungsbereiche chemisch synthetisierter Tenside. Aufgrund der potentiell besseren biologischen Abbaubarkeit der Biotenside können zusätzlich spezielle, umweltrelevante Anwendungsgebiete erschlossen werden, welche nicht für chemisch synthetisierte Tenside möglich sind. Entsprechende Anwendungsbereiche für Biotenside sind bsp. Nutzungen im Bereich der Bioremediation oder Umweltsanierung (z.B. nach größeren Ölkatastrophen Behandlung mit Trehalosedicorynomycolat) und der Tertiären Erdölförderung („Enhanced Oil Recovery“). Die Hauptanwendungen entsprechen allerdings denen synthetischer Tenside in Haushalts- und Reinigungsprodukten, Kosmetik, Medizin, in der Lebensmittelverfahrenstechnik und in der Landwirtschaft und dem Pflanzenschutz, in denen auch Tenside aus der oleochemischen Produktion (direkte chemische Umsetzung von Pflanzenölen) eingesetzt werden.

Vor allem Rhamnolipide finden Anwendungen in Haushaltsreinigern (Henkel, Ecover), Sophorolipide werden vor allem in Japan in Hautcremes eingesetzt.[2]

Literatur

- Lang und Trowitzsch-Kienast: *Biotenside.* B. G. Teubner, Stuttgart,Leipzig,Wiesbaden 2002
- Georgiou, G., S. C. Lin, et al.: *Surface-Active Compounds from Microorganisms*. Bio-Technology 10(1): 60-65. 1992
- Leitermann, F.: *Biotechnologische Herstellung mikrobieller Rhamnolipide.* Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe 2008
- Lin, S.-C.: *Bisurfactants: Recent Advances.* J. Chem. Tech. Biotechnol. 66: 109-120, 1996

Weblinks

- Universität Karlsruhe: Prozessentwicklung zur Produktion von Biotensiden (Projekt) [4]

Referenzen

[1] R. Hausmann, B. Hörmann, M.M. Müller, V. Walter, C. Syldatk: *Herstellung mikrobieller Rhamnolipide.* Abstract zum Vortrag auf der ProcessNet-Jahrestagung/27. Jahrestagung der Biotechnologen, veröffentlicht in CIT - Chemie Ingenieur Technik 81 (8), 2009; S. 1212.

[2] Rolf D. Schmid: Taschenatlas der Biotechnologie und Gentechnik. 2. Aufl. Wiley-VCH, Weinheim 2006; S.58-59. ISBN 978-3-527-31310-5.

[3] F. Leitermann: *Biotechnologische Herstellung mikrobieller Rhamnolipide*. Karlsruhe 2008, Universität Karlsruhe (TH)

Biowasserstoff

Als **Biowasserstoff** wird Wasserstoff (H_2) bezeichnet, der *aus* Biomasse oder *mittels* lebender Biomasse hergestellt wird. Per Elektrolyse produzierter Wasserstoff wird nicht als Biowasserstoff bezeichnet, auch wenn Strom aus Biomasse verwendet wird. Wasserstoff ist ein energiereiches Gas, das z. B. in Brennstoffzellen zur Stromerzeugung, in Verbrennungsmotoren als Treibstoff oder in der chemischen Industrie genutzt werden kann. Derzeit spielt die energetische Nutzung noch keine wirtschaftlich relevante Rolle. Im Rahmen der Energiewende wird Wasserstoff als Speicher- und Transportform von Energie in einer sogenannten Wasserstoffwirtschaft diskutiert.

Herstellung

Die Herstellung von Wasserstoff benötigt Energie, die bei Biowasserstoff entweder aus der als Rohstoff verwendeten Biomasse oder aus Sonnenenergie stammt, die von lebender Biomasse bei der Photosynthese absorbiert wird. Zum anderen wird das Element Wasserstoff benötigt. Dieses stammt aus der als Rohstoff verwendeten Biomasse oder wird als Bestandteil von Wasser dem Herstellungs- bzw. Erzeugungsprozess zugeführt.

Herstellung *aus* Biomasse

Die Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse kann durch biologische und chemische Prozesse erfolgen:

Gärung

Aus energiereichen organischen Verbindungen in der Biomasse (z. B. Kohlenhydrate, Fette, Proteine) kann durch vergärende Bakterien neben CO_2 und oxidierten organischen Verbindungen auch H_2 gebildet werden. [1] Bei diesem anaeroben Prozess kann von den Bakterien nur ein Teil der in der Biomasse enthaltenen Energie erschlossen werden, da Sauerstoff als Oxidationsmittel nicht zur Verfügung steht. Der gebildete Biowasserstoff kann somit einen großen Anteil der verbliebenen Energie enthalten.

Vergasung und Dampfreformierung

Biowasserstoff kann aus Biomasse (Holz, Stroh, Grasschnitt, etc.); aber auch aus Bioenergieträgern (Biogas, Bioethanol, etc.) durch thermochemische Vergasung und anschließende oder direkte Dampfreformierung („steam reforming“) in industriellem Maßstab hergestellt werden. Das bei der Vergasung gebildete Synthesegas besteht, je nach verwendetem Rohstoff, aus unterschiedlichen Anteilen Kohlendioxid (CO_2), Kohlenmonoxid (CO), Methan (CH_4), Wasserstoff und anderen Komponenten. Bei der Dampfreformierung finden chemische Reaktion zwischen dem Wasserdampf und Synthesegasanteilen statt, wodurch die Wasserstoff-Ausbeute erhöht werden kann:[2]

$$\mathrm{CH_4 + H_2O \rightleftarrows CO + 3\ H_2,\ \ \Delta H = +206,2 kJ/mol}$$

(Methan + Wasserdampf → Kohlenstoffmonoxid + Wasserstoff; endotherm; andere Gleichungen ebenfalls denkbar)

$$\mathrm{CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2,\quad \Delta H = -41,2 kJ/mol}$$

(Shiftreaktion; leicht exotherm)

Dieses Verfahren der Wasserstoffherstellung kommt in großem Maßstab bei der Herstellung von Wasserstoff aus Erdgas zum Einsatz, z. B. zur Herstellung von Ammoniak für Stickstoffdünger (Haber-Bosch-Verfahren).

Als Endprodukte entsteht so im Wesentlichen Wasserstoff (mit einem Umwandlungs-Wirkungsgrad von ungefähr 78%), Kohlendioxid und mineralische Asche. Zum Anfahren der Anlage kann das energiereiche Synthesegas verwendet werden. Anschließend soll sich der Prozess durch exotherme Reaktionen energetisch selbst tragen. Bisher gibt es noch keine betriebsfähige Großanlage, da Biowasserstoff in großen Mengen noch nicht nachgefragt wird.

Vor- und Nachteile von Biowasserstoff aus Biomasse

Die Nutzung von Biowasserstoff bietet verschiedene Vor- und Nachteile. Die Bewertung hängt dabei im Einzelnen von den verwendeten Rohstoffen, den Herstellungsverfahren und der Art der Nutzung ab.[2] Erschwert wird die Bewertung durch die fehlende praktische Erfahrung und bisher fehlenden Relevanz der Biowasserstofferzeugung.

Vorteile

- Biowasserstoff kann ähnliche Vorteile haben, wie andere Erneuerbare Energien bzw. Bioenergien (*siehe Artikel Bioenergie*):
  - Bei der Nutzung von Biomasse wird nur soviel CO_2 freigesetzt, wie zuvor bei der Bildung der Biomasse aufgenommen wurde. Der Kohlenstoffkreislauf ist somit geschlossen. Weitere energetische Aufwendungen und Emissionen während des Gesamtprozesses (Pflanzenanbau, Düngung, Verarbeitung, Transport, etc.) sind aber in der Klimabilanz zu berücksichtigen.
  - Die begrenzten fossilen Ressourcen (Erdöl, Erdgas, Kohle) werden geschont.
  - Die politische und wirtschaftliche Abhängigkeit von Staaten mit großen Vorkommen fossiler Energieträger kann verringert werden.
- Es wird diskutiert, ob das Erdgasnetz auch für den Transport von Wasserstoff in einer Wasserstoffwirtschaft genutzt werden kann.
- Wasserstoff kann in Brennstoffzellen effizient verstromt werden. Auch eine Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist dabei möglich.

Nachteile

- Die Biomasse, die Zwischenprodukte in der Herstellung und das Endprodukt müssen unter Umständen aufwendig aufbereitet werden.
- Ein Nährstoffmanagement ist notwendig, um Nährstoffe aus der Biomasse auf die Anbauflächen zurückzuführen. Bei der Vergasung können Nährstoffe (Stickstoff, Schwefel) verloren gehen.
- Es ist bisher unklar, ob die Gewinnung von Wasserstoff aus Biomasse konkurrenzfähig zu anderen Verwendungsmöglichkeiten für Biomasse, wie z. B. der Herstellung und direkten Nutzung von Biogas, ist.
- Der Energieertrag pro Fläche ist geringer als z. B. bei Photovoltaik. Jedoch sind die Investitionskosten deutlich geringer.
- Bisher finden sich die meisten Verfahren zur Biowasserstoff-Erzeugung noch in der Entwicklung, so dass Bewertungen zur Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit schwierig sind.

Herstellung *mittels* Biomasse

Zur Biowasserstoff-Herstellung kann auch lebende Biomasse (z. B. Cyanobakterien, Algen) verwendet werden. Bei einigen Stoffwechselprozessen (z. B. Photosynthese, Stickstofffixierung) durch bestimmte Enzyme (z. B. Nitrogenasen, Hydrogenasen) kann Wasserstoff entstehen. Unterschieden werden kann zwischen oxygener und anoxygener Photosynthese.



Wasserstoffherstellung mittels Algen im Labormaßstab

Oxygene Photosynthese

Die typische Photosynthese, z. B. von Landpflanzen und Algen, wird als oxygen (sauerstoffbildendend, siehe oxygene Photosynthese) bezeichnet, da als Produkt der Wasserspaltung Sauerstoff freigesetzt wird:

$$6\ CO_2 + 12\ H_2O \xrightarrow{h\nu} C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 + 6\ H_2O \qquad \Delta H^0 = +2870\ \frac{kJ}{mol}$$

Brutto-Reaktionsgleichung für die oxygene Photosynthese

Zweck der Photosynthese ist die Energiebereitstellung. Die Freisetzung von energiereichem Biowasserstoff bedeutet jedoch einen Verlust von Energie. Diese Prozesse treten daher nur unter bestimmten Umständen auf:

- Cyanobakterien sind in der Lage, durch Nitrogenasen den wichtigen Nährstoff Stickstoff aus der schwer zugänglichen Form N_2 (z. B. in der Luft vorliegend oder in Wasser gelöst) in biologisch zugängliche Verbindungen umzuwandeln. Basis ist diese Reaktion der Stickstofffixierung:

  $$N_2 + 8\ H^+ + 8\ e^- \longrightarrow 2\ NH_3 + H_2$$

  Die Elektronen (e^-) und Protonen (H^+) können aus der photosynthetischen Wasserspaltung der parallel betriebenen, sauerstoffbildenden Photosynthese stammen. Das Produkt bzw. Produktgas enthält somit sowohl Sauerstoff, als auch Wasserstoff.
- Grünalgen betreiben ebenfalls die oxygene Photosynthese. Unter bestimmten Umständen werden die bei der photosynthetischen Wasserspaltung bereitgestellte energiereichen Elektronen nicht zur Reduktion von Kohlendioxid verwendet, sondern in einer Art Leerlaufreaktion mit Protonen (aus der umgebenden wässrigen Phase) zu Wasserstoffmolekülen umgesetzt. Diese von Hydrogenasen katalysierte Reaktion wird beispielsweise in Abwesenheit von Sauerstoff induziert. [1] [3]

Die aufgenommene Sonnenenergie wird also nicht zunächst in Biomasse gespeichert, sondern kann direkt in Wasserstoff umgewandelt werden. Es wird versucht, in Wasserstoffbioreaktoren diesen Prozess nutzbar zu machen.[4]

Anoxygene Photosynthese

Bei der anoxygenen Photosynthese können aus organischen Substraten oder reduzierten Schwefelverbindungen durch phototrophe Bakterien unter Verwendung der Sonnenenergie H_2 und CO_2 oder oxidierte Schwefelverbindungen gebildet werden.[5]

Vor- und Nachteile von Biowasserstoff aus Sonnenenergie

Die Herstellung von Biowasserstoff aus Sonnenenergie mittels Stoffwechselprozessen unterscheiden sich deutlich bzw. vollständig von der Herstellung *aus* Biomasse. Somit sind auch andere Vor- und Nachteile geben.

Vorteile

- In Algenreaktoren bzw. Photobioreaktoren kultivierte, photosynthese betreibende Algen können eine deutlich höhere energetische Produktivität pro Fläche haben als Pflanzen.
- Bei der photosynthetischen Erzeugung von Wasserstoff wird die Sonnenenergie direkt in einen Endenergieträger umgewandelt. Umwandlungsverluste gegenüber der Erzeugung und Nutzung von kohlenstoffbasierter Biomasse (Holz, Bioethanol, Biodiesel, Biogas, etc.) könnten theoretisch verringert werden.

Nachteile

- Die Kultivierung von Algen und Bakterien ist mit hohen Investitions- und Betriebskosten verbunden. Eine kommerzielle Erzeugung von Wasserstoff *mittels* Biomasse ist derzeit nicht gegeben.[6]
- Die Stoffwechselprozess, bei denen Wasserstoff erzeugt wird, treten in der Natur nur in geringem Maße oder unter besonderen Bedingungen (Stresssituationen) auf. Eine Übertragung von Labor- auf Produktionsbedingungen ist bisher nicht absehbar.

Perspektive

Die Beurteilungen der Rolle der Wasserstoffwirtschaft für eine effiziente Energieversorgung ist unklar, da sich die Einschätzung der Energieverluste (bzw. der Wirkungsgrade) bei Herstellung, Umwandlung, Speicherung und Transport stark unterscheiden. Grund dafür sind fehlende praktische Produktionserfahrungen, da sich viele Verfahren noch in der Entwicklung befinden. Die Verwendung von Wasserstoff im Verkehr ist nach Auffassung des Umweltbundesamts wegen der hohen Verluste der Wasserstoffspeicher, Kosten der Produktion, der Aufbereitung und des Transportes nicht zu befürworten. Stattdessen sei der akku-elektrische Fahrzeug-Antrieb empfehlenswert, da die Aufladung des Traktions-Akkus mit dem Strom aus der häuslichen (Mini-) KWK-Anlage (z. B. auf Brennstoffzellen-Basis) preiswert und umweltfreundlich erfolgen könne. Eine Umstellung auf eine Wasserstoffwirtschaft wäre entscheidend für die zukünftige Bedeutung von Biowasserstoff.

Siehe auch

- Erneuerbare Energien
- Wasserstoffbioreaktor
- Wasserstoffherstellung
- Wasserstofftechnologie

Weblinks

- Wired-Mutant Algae Is Hydrogen Factory [7] (englisch)
- FAO [8]
- Maximizing Light Utilization Efficiency and Hydrogen Production in Microalgal Cultures [9] (englisch, 384 kB, PDF-Datei)

Referenzen

[1] *Biowasserstoff.de* (http://www.htwm.de/~wuenschi/biowasserstoff/?BioWasserstoff), private Informationsseite von Prof. Dr. Röbbe Wünschiers (Hochschule Mittweida), aufgerufen am 30.11.2009

[2] *Wasserstoff aus Biomasse*, Gülzower Fachgespräche, Band 25, (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_276gfg25_endversion.pdf) herausgegeben von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2006

[3] - "Lichtgetriebene Wasserstoffproduktion mit "lebendem" Katalysator" (http://www.innovations-report.de/html/berichte/biowissenschaften_chemie/designzelle_energielieferant_bmbf_foerdert_projekt_135614.html), Artikel zu einem BMBF-Projekt auf www.innovations-report.de

[4] - www.biotechnologie.de (http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Hintergrund/themendossiers,did=66228.html?view=renderPrint), Informationsseite des BMBF, abgerufen am 30.11.2009

[5] Universität Köln (http://hydaba.uni-koeln.de/BioWasserstoff/?BioWasserstoff:Perspektive), Originaltext vom Autor PD Dr. Röbbe Wünschiers (http://www.hydaba.uni-koeln.de/contact.php) zur Verfügung gestellt (Version vom 18. Juli 2007 21:27:32, abgerufen 15. Juli 2008 11:13)

[6] - Bericht des Bundesumweltamts zur Nutzung von Mikroalgen (http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/meere/mikroalgen.htm#Wasserstoffproduktion), letzte Aktualisierung am 16.03.2009, aufgerufen am 04.12.2009

Biowerkstoff

Der Begriff „Biowerkstoff“ wurde als Oberbegriff für Werkstoffe geschaffen, die vollständig oder zu relevanten Anteilen auf nachwachsenden Rohstoffen (Naturstoffe oder Holz) basieren.

Zu den Biowerkstoffen zählen die Biokomposite, die sich im Wesentlichen in Naturfaserverstärkte Kunststoffe und Wood-Plastic-Composites (WPC, Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffe) gliedern, sowie Biokunststoffe. Neben diesen neuartigen Materialien gehören aber auch traditionelle Werkstoffe wie Span- und Tischlerplatten (Holzwerkstoffe) zu den Biowerkstoffen.

Der Anteil an Rohstoffen biologischen Ursprungs im Endprodukt kann je nach Herstellungs- und Verarbeitungsprozess stark schwanken. Um zu den Biowerkstoffen gezählt zu werden sollte die Minimalmenge an biogenen Anteilen in einem Werkstoff bei 20 % im Endprodukt liegen, meist werden jedoch deutlich höhere Anteile erreicht.[1] [2] .

Als Rohstoffe für Biokunststoffe kommen zum Beispiel in der Natur vorkommende Polymere wie Stärke oder Cellulose, Lignin und Kautschuk oder auch Pflanzenöle oder Zucker in Frage, aber auch technische Biopolymere wie Polylactid (PLA) oder Polyhydroxyalkanoate (PHAs), die durch technische Verfahren aus natürlichen Polymeren und Monomeren gewonnen werden[3] .

Weblinks

- Informationen der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe zu Biowerkstoffen [4]
- Cluster Biopolyere/Biowerkstoffe Baden-Württemberg [5]

Referenzen

[1] Pressemitteilung der nova-Institut GmbH, Hürth, 5. November 2008. (PDF Online (http://www.biowerkstoff.info/bws/data/File/08-12-08a PM zum BIB_nova.pdf))

[2] Branchenführer Innovative Biowerkstoffe BIB´09; ISBN 978-3-9812027-1-7.(PDF Online (http://www.biowerkstoff.info/bws/data/File/Endversion 09/BIB09.pdf))

[3] Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths: Technische Biopolymere. Hanser-Verlag, München 2009; Seite 162. ISBN 978-3-446-41683-3

Birkenholz

Birke	
	
Baumarten	Hänge-Birke, Moor-Birke
Herkunft	Europa, Asien
Farbe	gelblichweiß, rötlichweiß bis hellbräunlich
Materialeigenschaften	
Rohdichte Mittelwert	610–650 kg/m^3
Rohdichte Grenzwerte	460–830 kg/m^3
Axiales Schwindmaß	0,6 %
Radiales Schwindmaß	5,3 %
Tangentiales Schwindmaß	7,8 %
Biegefestigkeit	120 N/mm^2
Druckfestigkeit	60 N/mm^2
Zugfestigkeit	137 N/mm^2
Wärmeleitfähigkeit	0,142 W/Km[1]
Brennstoffeigenschaften	
Brennwert	4,3 kWh/kg[2]

Als **Birkenholz** wird das Holz zweier Arten der Birken (Gattung *Betula*), der Hänge-Birke (*Betula pendula*) und der Moor-Birke (*Betula pubescens*), bezeichnet, die als Nutzhölzer verwendet werden. Die ebenfalls in Mitteleuropa heimischen Arten Strauch-Birke (*Betula humilis*) und Zwerg-Birke (*Betula nana*) haben aufgrund ihrer geringen Größe holzwirtschaftlich keine Bedeutung.

Beide Birkenarten haben nur geringe Ansprüche an die Bodenbeschaffenheit, die Hänge-Birke wächst sogar auf ärmsten und trockensten Böden, was ihr auch den Namen Sand-Birke eingebracht hat. Die Moor-Birke wächst auch auf stark sauren und staunassen Bruchwaldböden und Mooren. Es sind mittelgroße Bäume, die Höhen zwischen 20 und 30 Metern erreichen können, bei Stammdurchmessern von 50 bis 70 Zentimetern, selten auch bis 100 Zentimeter. Sie erreicht ein Höchstalter von 100 bis 120 Jahren, das Höhenwachstum ist etwa mit 60 Jahren beendet.

In Deutschland hat die Birke als Nutzholz nur eine geringe Bedeutung. In den skandinavischen und baltischen Ländern und in Russland spielt sie aber eine wichtige Rolle. Verarbeitet wird Birke hauptsächlich als Schälfurnier und zu Sperrholzplatten. Vollholz und gemesserte Furniere werden zur Herstellung von Möbel verwendet. Als Brennholz wird Birkenholz nur in sehr geringen Mengen und dabei überwiegend im Hausbrand eingesetzt.

Nach DIN 4076 ist das Kurzzeichen für Hänge-Birke und Moor-Birke „BI“[3]

Aussehen

Birken sind Splintholzbäume und bilden meist keinen Farbkern aus, Splintholz und Kernholz haben die gleiche Farbe. Das Holz ist hell, gelblichweiß, rötlichweiß bis hellbräunlich gefärbt und glänzt leicht seidig. Im Alter kann ein gelblich-rötlicher bis brauner Falschkern ausgebildet werden. Die Jahresringe sind durch schmale Spätholzstreifen deutlich ausgeprägt. Das Holz weist nur wenige, kleine bis mittelgroße, zerstreutporig angeordnete Gefäße auf. Charakteristisch für Birkenholz ist das Auftreten von rötlichbraunen Markflecken.

Die Hänge-Birke weist zwei Wuchsbesonderheiten auf, die als besonders wertvoll gelten:

- Die Flammenbirke oder Eisbirke zeigt eine flammenartige, oft auch als eisblumenartig beschriebene Zeichnung auf, die durch besonders unruhige Maserung entsteht. Bei der Maserung der Birke handelt es sich um kleine Rindeneinschlüsse, die die flammenartige Zeichnung ergeben. Die Flammenzeichnung ist genetisch bedingt und kann durch vegetative Vermehrung und durch Kreuzung auf neue Generationen weitergegeben werden.
- Die Braunmaserbildung entsteht durch Rindeneinschlüsse, die durch eine Virusinfektion ausgelöst werden. [3]

Eigenschaften

Die Hölzer von Hänge-Birke und Moor-Birke sind sehr ähnlich. Die Moor-Birke hat ein etwas feinfaseriges, schwereres und zäheres Holz. Das Birkenholz ist mit einer Rohdichte von 650 kg/m^3 bei einer Holzfeuchte von 12 bis 15 % ein mittelschweres bis schweres Holz, jedoch eher weich. Es wird daher manchmal zu den Weichlaubhölzern gezählt, wie etwa Pappel oder Linde, doch ist ihr Holz deutlich härter. Das Holz ist zäh und elastisch und weist eine mittlere Bruchfestigkeit auf. Es ist wenig witterungsfest und auch unter Wasser wenig haltbar. Birkenholz ist geruchlos.

Birkenholz kann sowohl maschinell als auch händisch gut bearbeitet werden, was sich besonders beim Schälen, Messern, Profilieren, Drechseln und Schnitzen zeigt. Gehobelte Flächen werden glatt, das Holz lässt sich auch gut biegen aber nur schwer spalten. Die Oberflächen können gut gebeizt und poliert werden, die Behandlung mit Lacken ist problemlos, nur bei der Behandlung mit Polyesterlacken kann es Verzögerungen beim Trocknen geben. Nägel und Schrauben halten gut, das Verleimen kann aber Probleme bereiten. [3]

Verwendung

Birkenholz wird als Rundholz, Schnittholz, als gemesserte oder geschälte Furniere und als Sperrholz angeboten. In Deutschland hat die Birke als Nutzholz im Vergleich zu anderen Arten nur geringe, in Russland, den baltischen und skandinavischen Ländern aber eine große Bedeutung, in Finnland zum Beispiel ähnlich der Buche in Deutschland. Birke wird hauptsächlich als Schälfunier und zu Sperrholzplatten verarbeitet, weiters als Vollholz und als gemessertes Furnier zur Herstellung von Möbel eingesetzt. Neben schlichter Ware werden für Wohnmöbel besonders gerne geflammte und gemaserte Furniere verwendet. Es eignet sich auch zur Imitation von wertvolleren Holzsorten wie Nussbaum, Kirschbaum oder Mahagoni und wird auch zur Herstellung von Parkettböden verwendet.

Birke wird gerne zum Drechseln gebraucht, manchmal auch zum Holzschnitzen. Als Spezialholz wird sie zur Herstellung von Speeren und Diskusscheiben eingesetzt. Im Musikinstrumentenbau werden die Hammerstiele von Klavieren aus Birke gefertigt aber auch Böden und Zargen preiswerter Gitarren. Birkenholz wird in der Kupfer-Raffinerie in der Reduktionsphase verwendet. Da es geruchlos ist, werden aus Birkenholz Lebensmittelfässer gefertigt, zum Beispiel Heringstonnen. Aus Birke wird ein hochwertiger Zellstoff hergestellt, das zu Papier, Pappe

und zu Chemiefasern weiter verarbeitet. Birkenholz ist auch ein ausgezeichnetes Brennholz und besonders als Kaminholz beliebt.

Früher wurde Birke häufiger eingesetzt, so etwa in der Wagnerei, im Waggon- und Fahrzeugbau. Im Flugzeugbau wurden während des zweiten Weltkriegs vor allem leichte Flugzeugteile aus Birkenholz gefertigt, was den Bäumen die Bezeichnung „Fliegerbirken“ einbrachte.[4] Auch Skier und Schlittenkufen wurden aus Birkenholz hergestellt. Die hölzernen Nähgarnrollen wurden beinahe nur aus Birkenholz gefertigt. Weitere Sonderverwendungen waren die Herstellung von Holznägeln, Werkzeugstielen, Wäscheklammern, Zündhölzern und Holzschuhen. [3] Früher waren bei Burschenschaftern „Birkenmaier“ beliebt, birkene Bierkrüge, bei denen die Rinde nicht abgehobelt wurde.[4]

Nachweise

Literatur

- D. Grosser, W. Teetz: *Birke.* In: *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung).* Nr. 18, Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond - Absatzförderungfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn 1998, ISSN 0446-2114 [1].
- Doris Laudert: *Mythos Baum.* 7. Auflage. BLV, München 2009, ISBN 978-3-8354-0557-8, S. 57-63.

Referenzen

[1] Foglia, Sonderegger, Niemz, Bader, Weber: *Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit neuartiger Holzwerkstoffe und Werkstoffverbunde.* (http://www.bafu.admin.ch/wald/01234/01238/08417/index.html) In: *Forschungsbericht für das Kuratorium des Fonds zur* Förderung der Wald- und Holzforschung Nr. 2004.02. *Institut für Baustoffe, ETH Zürich, Juli 2006, S. 4, abgerufen am 25. Oktober 2009 (pdf).*

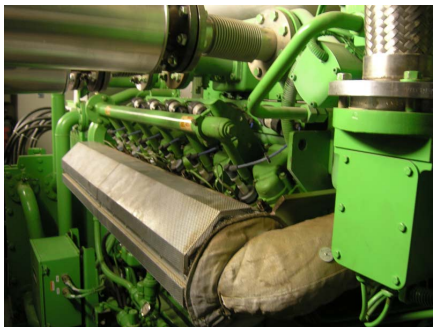
[2] *Brennwert von Holz (Teil2).* (http://www.oel-alle.de/brennwert-von-holz/133/) In: *Informationen zu Alternativenergien.* Abgerufen am 25. Oktober 2009.

[3] Grosser, Teetz: *Birke*

[4] Laudert: *Mythos Baum*, S. 59

Blockheizkraftwerk

Ein **Blockheizkraftwerk (BHKW)** ist eine modular aufgebaute Anlage zur Gewinnung von elektrischer Energie und Wärme, die vorzugsweise am Ort des Wärmeverbrauchs betrieben wird, aber auch Nutzwärme in ein Nahwärmenetz einspeisen kann. Sie setzt dazu das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung ein.



Biogas-BHKW in Güssing, Österreich

Als Antrieb für den Stromerzeuger können Verbrennungsmotoren, d. h. Diesel- oder Gasmotoren, aber auch Gasturbinen oder Brennstoffzellen verwendet werden.

Der höhere Gesamtnutzungsgrad gegenüber der herkömmlichen Kombination von lokaler Heizung und zentralem Kraftwerk resultiert aus der Nutzung der Abwärme der Stromerzeugung direkt am Ort der Entstehung. Der Wirkungsgrad der Stromerzeugung liegt dabei, abhängig von der Anlagengröße, zwischen etwa 25 und 50 %. Durch die ortsnahe Nutzung der Abwärme wird die eingesetzte Primärenergie aber zu 80 bis über 90 % genutzt. Blockheizkraftwerke können so bis zu 40 % Primärenergie einsparen.

Übliche BHKW-Module haben elektrische Leistungen zwischen fünf Kilowatt und fünf Megawatt. Unter 50 kW spricht man auch von Mini-Kraft-Wärme-Kopplung (Mini-KWK), unter 15 kW von Mikro-KWK. Mini- und Mikro-KWK wird in Ein- und Mehrfamilienhäusern, Betrieben und im Siedlungsbau verwendet. Die Kraft-Wärme-Kopplung wird ebenfalls in Heizkraftwerken genutzt, dort typischerweise mit elektrischen Leistungen von einigen hundert MW.

Betriebsarten

Im Idealfall ist der Netzbezug abgedeckt, eine Überproduktion kann ins Stromnetz eingespeist werden. Die Wärme dient zu Heizzwecken und für die Warmwasserbereitung.

Wenn die Leistungsabgabe des BHKW sich nach dem lokalen Wärmebedarf richtet, handelt es sich um ein *wärmegeführtes* BHKW. Durch Regelung der Heizleistung werden in modular aufgebauten Anlagen einzelne Aggregate je nach Bedarf ab- oder zugeschaltet. Bei Konfiguration mit nur einem Aggregat wird dessen Leistungsabgabe entsprechend gedrosselt. Der erzeugte Strom solcher Anlagen wird, so weit es geht, selbst verbraucht; der Überschuss wird in das öffentliche Netz gespeist und entsprechend verrechnet.



Notkühler (horizontale Ventilatoren in Bildmitte) auf dem Containerdach eines Biogas-BHKW.

Wenn sich die Leistungsabgabe nach dem Strombedarf richtet – *stromgeführtes* BHKW –, wird die in diesem Zeitraum nicht nutzbare Wärme in einem Wärmespeicher für eine spätere Nutzung zwischengepuffert oder über einen Notkühler als Abwärme an die Umgebung abgegeben, obwohl dies den Wirkungsgrad reduziert. Diese Betriebsart findet sich zum einen häufig in Inselnetzen, das heißt vom öffentlichen Netz getrennten Stromnetzen. Zum anderen werden BHKW, die mit nachwachsenden Rohstoffen betrieben werden, in Deutschland in der Regel stromgeführt betrieben, da es durch die höheren Einspeisetarife für den produzierten Strom durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz gewinnbringender ist, ein Maximum an Elektrizität zu produzieren. Die Verwertung der dabei anfallenden Wärme wurde bisher häufig vernachlässigt und ist nur in wenigen Ausnahmesituationen zur Gänze möglich.

Wird das Leistungsniveau von einer zentralen Stelle für mehrere Anlagen vorgegeben, spricht man von einem *netzgeführten* BHKW. Die Zentrale optimiert dabei systemübergreifend die Einsatzplanung der dezentralen KWK-Aggregate anhand wirtschaftlicher Randbedingungen, wie z. B. gemeinsamen Gas- und Reststrombezugsverträgen. Die Netzführung ist die Kernidee eines virtuellen Kraftwerks. Wie bei der Stromführung muss zur zeitlichen Entkoppelung von Wärmeerzeugung und -last ein Speicher eingebunden sein.

Auslegung

Üblicherweise wird die Leistung einer (meist wärmegeführten) BHKW-Anlage so ausgelegt, dass bei Volllastbetrieb nur ein Teil des maximalen Heizenergiebedarfes der angeschlossenen Abnehmer gedeckt wird. So wird sichergestellt, dass die teuren stromerzeugenden Einrichtungen besser genutzt werden und höhere Betriebsstundenzahlen erreichen (pro Jahr werden mindestens 7900 Stunden angestrebt, in der Regel aber nur etwa 3000 bis 4000 Stunden realisiert).

Mit Hilfe von Pufferspeichern werden Mini-BHKW für Wohngebäude monovalent betrieben, das heißt ohne Spitzenlastkessel. Ein solches BHKW wird nicht – wie oben als üblich bezeichnet – nach der Grundlast an Wärmeenergiebedarf ausgelegt, sondern wie eine herkömmliche Heizungsanlage nach der Spitzenlast. Diese Auslegungsweise wird vor allem bei den sogenannten „Mini-KWK“ (s. u.) propagiert. Bei einer solchen Auslegung kommt es zum Aus- und Abschalten des BHKW (sogenanntes „Takten“), was seine Lebensdauer verkürzt und den Kosten-Wirkungsgrad verringert.

Eine bestehende Heizungsinstallation kann bei Umstellung auf ein Mini-BHKW meist mit geringfügigen Änderungen weitergenutzt werden. Zum einen gibt es die Möglichkeit des monovalenten BHKW-Einsatzes unter Einbeziehung größerer Wärmespeicher. Reicht wiederum die Heizung im Winterhalbjahr nicht aus, kann mit dem vorhandenen Brenner oder einem Spitzenlastkessel hinzugeheizt werden (bivalenter Einsatz). Bei nur selten auftretendem zusätzlichem Heizbedarf kann auch die Installation einer einfachen elektrischen Zusatzheizung (Tauchsieder-Prinzip) kostengünstig sein.

Auch größere BHKW können durch den Einsatz von Wärmespeichern optimiert werden. Diese dienen dazu, die Spitzenlast abzupuffern und dadurch die Anforderung von zusätzlicher Wärme aus Nicht-KWK-Erzeugung (Heizkessel) zu vermeiden. Weiterhin erlauben sie einen zeitweisen stromgeführten Betrieb, d. h. eine Speicherladung zu Zeiten mit hohem Strompreis.

Ökologie- und Umweltaspekte

Der wirtschaftliche und ökologische Grundgedanke des wärmegeführten Betriebes liegt darin, erzeugte Wärme vollständig und auch den Strom möglichst vor Ort zu nutzen. Nicht gebrauchter Strom wird gegen Vergütung ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Da auf diese Weise weniger an herkömmlicher Kraftwerkskapazität für die Stromerzeugung benötigt wird, substituiert die verstärkte Nutzung von BHKW den Strom aus fossilen Kondensationskraftwerken und ermöglicht damit einen geringeren Kohlenstoffdioxid-Ausstoß. Dies soll in Deutschland auch durch gesetzliche Regelungen wie das KWK-G unterstützt werden.

Ein BHKW erreicht einen insgesamt deutlich höheren Nutzungsgrad (Nutzenergie Strom plus Nutzenergie Wärme dividiert durch Energieeinsatz) gegenüber dem herkömmlichen Mischbetrieb aus lokaler Heizung und zentraler Stromversorgung. So erreicht ein modernes Großkraftwerk auf Steinkohlenbasis einen Wirkungsgrad von ca. 45 Prozent. Das heißt, dass rund die Hälfte der erzeugten Energie als Abwärme anfallen, deren Nutzung als Fernwärme aber deutliche Transportverluste (10–15 %) sowie ein aufwendiges und teures Rohrleitungsnetz bedingen würde, da bei zentralen Großkraftwerken Wärmeerzeuger und Wärmeabnehmer in der Regel weit auseinanderliegen. Auch durch Umspannen und Transport der Elektrizität gehen nochmals ca. 2 bis 5 Prozent der Energie verloren. BHKW besitzen einen elektrischen Wirkungsgrad von ca. 25 bis 46 Prozent (je nach Größe und Art); der Gesamtwirkungsgrad von ca. 90 Prozent resultiert aus kombinierter Nutzung von Strom und Wärme und deren

Einsatz direkt vor Ort.

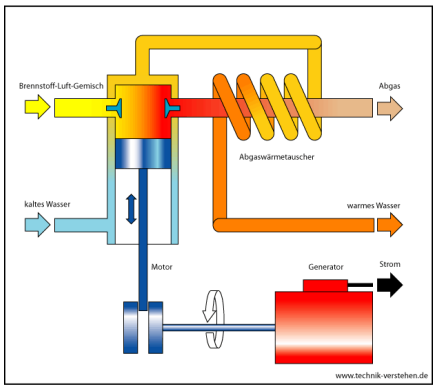
Aus Kostengründen wird in der Praxis manchmal auf nützliche, aber teure Rauchgasfilter verzichtet, was zu erhöhter, gesundheitsschädlicher Feinstaubbelastung führt.

Der Vorteil, die Prozesswärme vor Ort nutzen zu können, setzt außerdem geeignete Abnehmer voraus. Wohngebäude brauchen aber abhängig von der Jahreszeit unterschiedlich viel Wärme, wodurch der Vorteil, die Prozesswärme nutzen zu können, im Sommer nur teilweise gilt. Auch die hohen Werte für die Gesamtwirkungsgrade gelten nur dann, wenn die Prozesswärme optimal genutzt werden kann, was nur dann der Fall ist, wenn die Anlage, wie oben beschrieben, wärmegeführt betrieben wird.

Zur ökologischen Bilanz gehört auch der Aufwand zur Wartung der Motoren (wie Ölwechsel, Luftfilter, bei Gasmotoren die Zündkerzen, etc.) mit den damit verbundenen An- und Abfahrten des Servicepersonals, der bei kleineren und dezentralen Anlagen, speziell den Mikro-KWK, spezifisch nennenswert ansteigt.

Technik

Ursprünglich beruhten BHKW-Anlagen auf Verbrennungsmotoren, deren Wärme aus dem Abgas und dem Kühlwasserkreislauf zur Aufheizung von Heizungswasser verwendet wird. Inzwischen werden auch andere Systeme wie Stirling-Motor, Dampfmotor und Holzvergaser zur Stromerzeugung in BHKW-Anlagen eingesetzt. Der Einsatz von Blockheizkraftwerken ist, je nach Art der Verbrennungskraftmaschine, nicht auf die Bereitstellung von Raumwärme beschränkt, sondern dient auch zur Erzeugung von Prozesswärme über Wasserdampf, Heißluft oder Thermoöl oder der Klimatisierung per Absorptionswärmepumpe, die die Abwärme der BHKW-Anlage zur Erzeugung von Kälte nutzt.



Funktionsschema einer BHKW-Anlage

Als Kraftstoffe kommen vorwiegend fossile oder regenerative Kohlenwasserstoffe wie Heizöl, Pflanzenöl (zumeist Palmöl), Biodiesel (für einen Dieselmotor) oder Erdgas bzw. Biogas (für einen Ottomotor, Zündstrahlmotor oder eine Gasturbine) zum Einsatz, daneben auch Holzhackschnitzel und Holzpellets als nachwachsende Rohstoffe in Stirlingmotoren, Dampfkraftanlagen und Holzvergasern mit externer Verbrennung bzw. Pyrolyse (Vergasung).

Bei BHKW-Anlagen auf Basis von Verbrennungsmotoren oder Gasturbinen fällt Abwärme im Kühlkreislauf und im Abgas an. Sie wird über Wärmeübertrager in den Heizkreislauf der Gebäude-Zentralheizung überführt. So ist ein Nutzungsgrad von bis zu 95 Prozent erreichbar, abhängig von der jeweiligen Auslastung des Motors und dem Motorwirkungsgrad. Der reine elektrische Wirkungsgrad bei Motorvolllast beträgt je nach Brennstoff, Größe und Bauweise (z. B. mit/ohne Turbolader) des Motors und Generators zwischen 20 (bei Mini-BHKW) und 43 % (Dieselmotoren mit Leistungen über 1 MW).

Kleine BHKW (Mikro-KWK) von ca. ein bis fünf kW elektrischer und ca. 3–15 kW thermischer Leistung eignen sich für den Heizbetrieb von Ein- und Mehrfamilienhäusern im Winter. Mittelgroße BHKW mit einer elektrischen Leistung von mehreren Hundert kW werden häufig von Stadtwerken zur Beheizung von Wohnsiedlungen oder Hallenbädern genutzt und der Strom ins eigene Netz gespeist. Große BHKW mit Schiffsdieselmotoren über 10.000 kW werden für die Strom- und Wärmeversorgung von größeren Wohn- und Gewerbegebieten sowie Fabriken verwendet.

Wirtschaftlichkeit

Wesentlich für die Wirtschaftlichkeit einer BHKW-Anlage ist eine große jährliche Betriebsstundenzahl im hohen Lastbereich der Kraftmaschine (typisch etwa 4.000 Volllaststunden pro Jahr). Dabei wird angestrebt, die Investitionen in die Anlage betriebswirtschaftlich durch die finanzielle Vergütung für erzeugte Strom- und Wärmemengen (oder Reduktion der hierfür entstehenden Kosten) auszugleichen.

Bei wärmegeführten BHKW wird dazu mit Hilfe der Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs (einer Kurve, in der aufgetragen ist, wie viele Stunden im Jahr welche Wärmeleistung für die Gebäude erforderlich ist) die Wärmeleistung festgestellt, die etwa 3000 Stunden im Jahr gefordert wird. Die Spitzenwärmeleistung des BHKW wird auf diese Leistung festgelegt; in der Regel sind dies 25–30 Prozent des Spitzenwärmebedarfes. Um die Leistung in Stufen erbringen zu können, sind die BHKW meist modular mit mehreren Motoren ausgestattet.

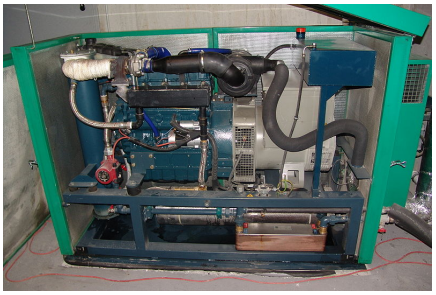
Im Wohnbereich schwankt der Heizenergiebedarf jahreszeitlich sehr stark, im Hochsommer entsteht er nur für die Brauchwassererwärmung. Zurzeit existieren erst wenige BHKW-Modelle, welche die erzeugte Wärme und damit auch den gekoppelt produzierten Strom verändern können („modulierender Betrieb“). Bedarfsschwankungen – begrenzt durch Wärmespeicher – können jedoch ausgeglichen werden; anderenfalls ist ein Parallelbetrieb mit einem herkömmlichen Brenner anzuraten. Fehlen für solche Schwankungen des Wärmebedarfs ausgleichende Maßnahmen, kommt es zu häufiger An- und Abschaltung („Takten“) der BHKW-Anlage, was zu einer Minderung von Effizienz und Lebensdauer führen kann.

Bei einer umfassenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden alle Investitions- und Betriebskosten – also Abschreibungen, Brennstoff und Wartung – eingerechnet und den Erlösen für Strom und Wärme bzw. den eingesparten Beträgen hierfür gegenübergestellt.

Im Sommer kann zum Beispiel für die Abnahme der Wärme bei fehlendem Heizenergiebedarf eine zusätzlich zu investierende Absorptionskältemaschine eingesetzt werden, die Kälte zur Klimatisierung erzeugt. Man spricht dann von Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. Zukünftig ist auch der Einsatz von BHKW als Virtuelles Kraftwerk geplant, indem eine Vielzahl dezentraler BHKW zentral gesteuert werden. Bedingt durch den zunehmenden Anteil an Wind- und Solarenergie, die nicht bedarfsgerecht Strom liefern und ebenfalls keine Grundlast gewähren können, könnten BHKWs mit nachgeschaltetem Puffer noch rentabler arbeiten: Lokal liefern sie die notwendige elektrische Leistung, wärmeseitig können Wärmespeicher gefüllt werden.

Ein Grundproblem der Vermarktung von BHKW speziell in Ein- und Mehrfamilienhäusern ist der im Vergleich zu üblichen Erdgas- oder Ölheizungen höhere Anschaffungspreis.

Öffentliche Förderung



BHKW, betrieben mit kaltgepresstem Rapsöl

BHKW werden in Deutschland seit dem 1. Januar 2009 durch das *Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung*, kurz Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz gefördert. Netzbetreiber sind verpflichtet, eine BHKW-Anlage an ihr Stromnetz anzuschließen und den ins öffentliche Netz eingespeisten Strom zu vergüten. Die Vergütung setzt sich zusammen aus dem Durchschnittspreis für Basislaststrom (Baseloadpreis) [1] an der Leipziger Strombörse EEX, einem KWK-Zuschlag gemäß dem KWK-Gesetz sowie einem Netzentgelt für die dezentrale Einspeisung. Außerdem erhalten ab dem 1. Januar 2009 die KWK-Anlagen auch für den Strom, der z. B. im Versorgungsobjekt (Hotel, Wohnhaus, etc.) selbst genutzt wird, einen KWK-Zuschlag. Auch KWK-Anlagen, die nach dem (alten) KWK-Gesetz vom 1. April 2002 kategorisiert wurden bzw. werden können, erhalten ab dem 1. Januar 2009 für den außerhalb der öffentlichen Netze verwendeten Strom einen KWK-Zuschlag. Die Höhe orientiert sich dabei an den Vorgaben des KWK-Gesetzes von 2002.

Zur staatlichen Förderung gehören weiterhin auch Steuererleichterungen, wie z. B. die Erstattung der Energiesteuer für den eingesetzten Brennstoff gemäß Energiesteuergesetz. Diese Regelung trägt sehr stark zu einer wirtschaftlichen Betriebsweise von KWK-Anlagen bei.

In der Praxis hat das KWK-Gesetz aus dem Jahre 2002 den Zubau von kleinen KWK-Anlagen (bis zwei MW gemäß §3(3) KWK-G), zu welchen die BHKW im Allgemeinen zählen, nicht die erhoffte Dynamik erzeugt, obwohl hier große Potenziale[1] brachliegen, die man wirtschaftlich erschließen könnte (Plädoyer für das 7-Liter-Haus im Bestand[2] , z. B. durch innovative Heizungsanlagen).

Mit Biomasse als Rohstoff erzeugter KWK-Strom, der im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) in das Stromnetz eingespeist wird, wird nach den Regeln des EEG mit einem zusätzlichen Bonus von 2 Cent pro Kilowattstunde vergütet (KWK-Bonus des EEG).[3] Seit dem 1. Januar 2009 können Biomasse-KWK-Anlagen nach dem neuen EEG 2009 einen KWK-Bonus in Höhe von 3 Cent/kWh erhalten.[4]

Weblinks

- BHKW-Infozentrum [6]
- ARD-Ratgeber über Blockheizkraftwerke [7]

Referenzen

[1] A cost curve for greenhouse gas reduction, McKinsey Quarterly, 2007(1) (http://www.epa.gov/air/caaac/coaltech/2007_05_mckinsey.pdf) (PDF)

[2] Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland, Studie von McKinsey Deutschland im Auftrag des BDI, 2007 (http://www.mckinsey.de/downloads/presse/2007/070925_Kosten_und_Potenziale_der_Vermeidung_von_Treibhausgasemissionen_in_Deutschland.pdf)

[3] Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (http://bundesrecht.juris.de/eeg_2004/index.html)

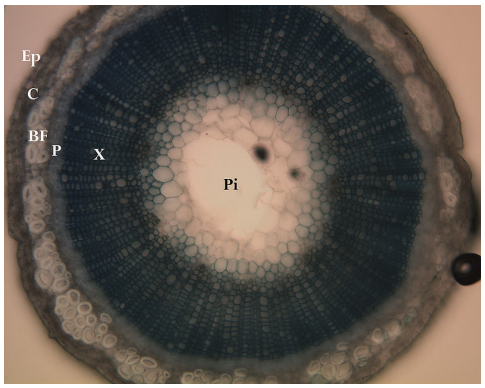
[4] Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich und damit zusammenhängender Vorschriften. 25. Oktober 2008 (PDF) (http://www.bhkw-infozentrum.de/download/eeg_2009_bundesgesetzblatt.pdf)

Brechen (Faserpflanzen)

Das **Brechen** von Pflanzenfasern ist der zentrale Aufbereitungsschritt bei der Gewinnung von Bastfasern aus den Stängeln einjähriger Faserpflanzen wie Lein, Hanf oder auch Jute[1] im mechanischen Verfahren. Durch das Brechen werden die Epidermisschichten und die verholzten Kerne aufgebrochen und zerkleinert. Das Brechen dient mit den nachfolgenden Schritten wie dem Hecheln dazu, die Fasern mechanisch von Lignin und von anderen Pflanzenresten zu befreien.

Verfahren

Stängel von Flachs und anderen Faserpflanzen sind in der Regel so aufgebaut, dass ein hohler Holzkern (Xylem) von Fasersträngen des Bastgewebes umgeben ist. Um die Fasern nutzen zu können, muss daher das Holz zuerst zerkleinert (*Brechen*) und gelockert und dann entfernt werden (*Hecheln*). Das Brechen zielt nicht darauf, die Pflanzenstängel durchzubrechen, da dabei die Fasern gebrochen würden; vielmehr geht es darum, den Pflanzenstängel anzubrechen bzw. zu quetschen. Dies geschieht, indem die Stängel mit einem größerem Gewicht belastet werden. In den modernen Brechverfahren werden die Stängel mit Hilfe von Walzen bearbeitet. Das *Brechen* erfolgt dabei maschinell mit einem System übereinander angeordneter Walzenpaare, die mit Zähnen besetzt sind. Die elastischen Cellulosefasern werden bei diesen mechanischen Prozessen nicht beschädigt, wenn diese gleichmäßig verlaufen und das Verfahren adäquat auf das Brechgut eingestellt ist.



Mikroskopischer Querschnitt durch einen Lein-Stängel, der einen Überblick über die Lage der Gewebe gibt. Ep = Epidermis; C = Cortex; BF = Bastfasern; P = Phloem; X = Xylem; Pi = Mark

Begleitende Verfahrensschritte

Dem Brechen voran gehen unter Umständen Verfahrensschritte wie die fermentative Behandlung der Stängel (*Rotte*) und – teilweise damit kombiniert – eine Wärmebehandlung durch Rösten. Auf diese Weise werden die Pektine, die die Fasern im Stängel zusammenhalten, aufgelöst.[2] Im Anschluss an das Brechen werden die Nichtfaseranteile in Schwingturbinen abgetrennt (Ausschwingen). Beim Hecheln werden dann die rohen Faserbündel in feinste Fasern aufgespalten und diese gesäubert. Dazu werden die kürzeren Fasern in Apparaten, die Kardiermaschinen ähneln, ausgekämmt. Ein weiteres Ergebnis des Hechelns ist eine parallele Anordnung der Fasern, wie sie für das Spinnen notwendig ist.

Nebenprozesse

Je nach Pflanzenart ist der Anfall von Holz beträchtlich. So fällt bei der Flachsbreche 60 % Holz in Form von Schäben an, was eine Verwertung als Rohstoff nahe legt. Wegen der geringen Transportwürdigkeit der Schäben bietet sich unter Umständen sogar die räumliche Koppelung mit die Schäben verwertenden Produktionsverfahren an.[3]

Alternative Verfahren

Als Alternativen zum mechanischen Aufschluss der Stängelfasern sind chemische Verfahren (z.B. Tensidaufschluss) und energetische Verfahren (wie der Dampfdruckaufschluss) bekannt.[4]

Historische Verfahren

Früher wurden die hölzernen Stängel mechanisch gebrochen, ursprünglich mit der Hand oder einem einfachen Werkzeug, der Breche. Der Deckel der Breche wurde auf- und niederbewegt, während die Leinstängel von den Wurzelenden zu den Spitzen immer weiter aus der Breche hervorgezogen werden. Die hölzernen Stängelteile fallen dabei zu Boden, die Fasern verbleiben in einem Büschel. Dabei wurde die Faser aber stark beschädigt und die Ausbeute an spinnbarer Faser verringert.[5] Bereits um 1880 wurden zum Flachsbrechen Brech- oder Knickmaschinen eingesetzt, bei denen der Stängel zwischen verschieden tief und stark gekerbten hölzernen oder eisernen Walzen hindurchgeschoben wurden.[6]



Flachsbreche

Da sich beim Brechen nicht alle hölzernen Stängelteile von den Fasern lösen, war historisch das Schwingen der Fasern der nächste Arbeitsschritt. Dazu legte man die gebrochenen Stängel so auf einen Schwingstock, dass die eine Hälfte der Faserlänge herunterhing, und schlug senkrecht dazu mit der sogenannten Schwinge, wodurch Stängelteile und kürzere, unbrauchbare Fasern aus den Büscheln herausgestreift werden.

Ausbeute

Beim Flachs entfallen nach Angaben der CMA neun Prozent des Erntegewichts auf die sogenannten Langfasern und sieben Prozent auf das Schwungwerg, also auf Kurzfasern. Der jeweilige Anteil von gewonnenen Lang- und Kurzfasern ist allerdings stark abhängig einerseits von der Qualität des verarbeiteten Flachsstrohs sowie andererseits vom technischen Stand der Aufbereitungsverfahren. Ein Verhältnis von 2/3 Langfasern und 1/3 Schwungwerg kann nach von Gleich mit modernen Verfahrenskombinationen erreicht werden.[7]

Literatur

- Arnim von Gleich Flachsanbau und Leinenverarbeitung. EURES discussion paper 6 (1990) [8] (pdf)
- Indra Ottich (Hrsg.): Ein Buch von alten Fasern. 2. erweiterte Auflage, 2006 [9] (pdf; 3,52 MB)
- TU: Freiberg: Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe. 3. 2 Gewinnung von Naturfasern [10] (PDF-Datei)

Weblinks

- http://www.die-spinnerey.de/fasern/lein.html
- Erich Gruber: Unterlagen zur Vorlesung „Makromolekulare Chemie, Ökologie und Ökonomie der Nachwachsenden Rohstoffe“ [11](pdf)

Referenzen

[1] vgl. Deutsches Kolonial-Lexikon (1920), Band II, S. 136 (http://www.ub.bildarchiv-dkg.uni-frankfurt.de/Bildprojekt/Lexikon/php/suche_db.php?suchname=Jute)

[2] Diese vorgelagerten Schritte sind nicht immer erforderlich. Wenn beispielsweise aus Hanf nur gröberes Fasermaterial gewonnen werden soll, etwa für Stricke, ist ein rein mechanisches Brechen und Hecheln ohne vorangehenden Röstprozess („Grünhanf“) ausreichend.

[3] Vgl. Karl Häusler, Flachs – ein nachwachsender Rohstoff. Unterricht Chemie 26 (1995) (http://www.friedrichonline.de/pdf_preview/d510026_1620.pdf), sowie von Gleich, Flachsanbau und Leinenverarbeitung, S. 30

[4] Vgl. von Gleich, a.a.O., S. 54

[5] Daher wurden die Stängel vor dem eigentlichen Brechen geklopft. Dazu wurden die Pflanzenstängel locker festgehalten und mit einem flachen Stück Holz geschlagen. Dadurch wurde die Ausbeute an langen, brauchbaren Flachsfasern erhöht, da beim anschließenden Handbrechen die Fasern nicht so schnell zerrissen.

[6] Vgl. Meyers Konversations-Lexikon, 1888 Artikel Flachs (Bearbeitung) Seite 6.329 (http://www.peter-hug.ch/lexikon/06_0329)

[7] Vgl. A. von Gleich, a.a.O., S. 31

Brennerei

Eine **Brennerei**, oft auch **Destillerie** genannt, dient der Herstellung von stark alkoholhaltigen Spirituosen aus nur schwach alkoholhaltigen Ausgangsstoffen. Die Aufkonzentrierung des Alkohols erfolgt nach dem Prinzip der Destillation, in diesem Zusammenhang spricht man jedoch auch von Brennen. Als Brennerei oder Destillerie wird sowohl das Gebäude, in dem die benutzten Apparaturen stehen, als auch das betreffende Unternehmen bezeichnet.



Die Brennerei in Pentenried, errichtet Anfang des 20. Jahrhunderts

Verfahren

Meist wird in einer Brennerei nicht nur gebrannt, sondern es werden alle Schritte der Spirituosenherstellung durchgeführt. Dies sind:

- Annahme der gelieferten Rohstoffe, Qualitätskontrolle, Lagerung
- Verarbeitung zur Maische,
- Vergärung des Zuckers in der Maische zum Alkohol
- das Brennen der Maische,
- Lagerung des Destillats zur Reifung,
- das Verdünnen auf Trinkstärke, filtrieren,
- Abfüllung und Vertrieb.

Der Betrieb einer Brennerei unterliegt der Brennereiordnung[1] , einer Anlage zum Branntweinmonopol.

Steuerrechtliche Einteilung

Spirituosen werden in Deutschland mit der Branntweinsteuer belegt. Der Umfang der Besteuerung wird je nach Anlage unterschiedlich ermittelt, Struktur und Verteilung der Brennrechte haben starke historische Wurzeln. Bei den vor allem in Süd- und Südwestdeutschland verbreiteten 29.000 Abfindungsbrennereien Deutschlands erfolgt die Besteuerung anhand der Menge der verarbeiteten Rohstoffe und der daraus zu erwartenden Alkoholmenge, die jährlich erzeugte Menge ist auf 300 Liter reinen Alkohols begrenzt. Als Stoffbesitzer werden Personen bezeichnet, die bis zu 50 Liter Alkohol aus selbst erzeugtem Obst in Abfindungsbrennereien brennen lassen dürfen. Dieses Privileg nutzen jährlich 100.000 bis 200.000 Personen. Bei den größenmäßig nicht beschränkten Verschlussbrennereien wird die tatsächlich produzierte Alkoholmenge besteuert.[2]

Illegal betriebene Brennereien, bei der keine Steuern entrichtet werden, heißen Schwarzbrennerei. Ihr Betrieb wird als Steuerhinterziehung verfolgt.

Rohstoffe und Produkte

Brennereien verarbeiten insgesamt eine Vielzahl zucker- und stärkehaltiger Rohstoffe, die Betriebe spezialisieren sich jedoch meist auf die Verarbeitung eines Rohstoffs oder einer Gruppe von Rohstoffen zu bestimmten Erzeugnissen. Unter den Betrieben, die Ware zur direkten Verwendung als Genussmittel herstellen, gibt es beispielsweise Kartoffelbrennereien und Obstbrennereien (für Obstbränden wie Obstler), daneben Whisky- und Absinthdestillerien.

Bei Betrieben, die Agraralkohol (Ethylalkohol landwirtschaftlichen Ursprungs) produzieren, ist das Endprodukt zu mindestens 96% reines Ethanol und dabei geruchs- und geschmacksneutral. Der Großteil des weltweit erzeugten Agraralkohols wird unter der Bezeichnung Bioethanol als Biokraftstoff eingesezt. Neben der Weiterverarbeitung zu Spirituosen wie Liköre oder Wodka wird Agraralkohol auch bei der Herstellung von Arzneimitteln, Kosmetika, Reinigungsmitteln, Desinfektionsmitteln, Frostschutzmitteln, Farben und Lacken verwendet. In Deutschland wird ein erheblicher Teil des Agraralkohols von kleinen landwirtschaftliche Brennereien hergestellt. Die Bioethanolherstellung für die Kraftstoffherstellung erfolgt weitgehend in großindustriellen Bioethanolanlagen, auch im Biokraftstoffsektor jedoch gibt es regionale Erzeugerstrukturen mit landwirtschaftlichen Brennereien[3] .[4]

Referenzen

[1] bundesrecht.juris.de, *Brennereiordnung (Anlage zur Branntweinmonopolverordnung)*, abgerufen am 30. November 2007 (http://bundesrecht.juris.de/brenno_1998/index.html)

[2] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Klein- und Obstbrennereien in Deutschland (http://www.bmelv.de/cln_163/sid_F6BDD2745156C2FD3ED9D2B6D9A2E82E/SharedDocs/Standardartikel/Landwirtschaft/Agrarmaerkte/Produkte/Klein-undObstbrennereien.html), abgerufen am 24.2.2010

[3] E85 Regionol (http://www.bhd-mr-westfalen.de/index.php?si=188&li=2&fl=176&lang=de&css=css/standard), abgerufen am 24.2.2010

[4] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Agraralkohol (http://www.bmelv.de/SharedDocs/Standardartikel/Landwirtschaft/Agrarmaerkte/Produkte/Agraralkohol.html?nn=741826), abgerufen am 24.2.2010

Brennholz

Mit **Brennholz** oder **Feuerholz** wird Holz bezeichnet, das zum Heizen, bzw. zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt wird.

Trockenes Holz wird zur Verbrennung in einem Nutzfeuer verwendet. Es ist der älteste Brennstoff der Menschheit und wird seit ca. 400.000 Jahren genutzt. Während im 20. Jahrhundert in den Industrieländern eine Abkehr von der Brennholznutzung zugunsten von Brennmitteln mit höherer Energiedichte und geringern Preisen erfolgte, ist seit Beginn des 21. Jahrhunderts wieder eine zunehmende Wärmegewinnung durch Brennholz zu beobachten.

Brennholz oder Feuerholz sind weitgefasste umgangssprachliche Begriffe für *Energieholz*, welcher der Oberbegriff für die verschiedenen Handelsformen, wie z. B. *Ofenfertiges Stückholz*, *Scheitholz*, *Rundholz/Blockholz* und *Brennreisig*, ist.

Zentral für den Wert von Brennholz ist der Heizwert. Weitere relevante Eigenschaften können die Brenndauer sowie die Optik und der Geruch beim Verbrennen sein.



Brennholzstapel



Brennholz unter Kachelofen



Holzsammler in Mozambique

Eigenschaften

Heizwert

Da Holz ein Naturprodukt ist, unterliegt sein Aufbau und seine Zusammensetzung Schwankungen. Das kann sich auch auf den *Heizwert* pro Masse (z. B. in kWh/kg)oder pro Volumen (z. B. in kWh/Kubikdezimeter) auswirken.

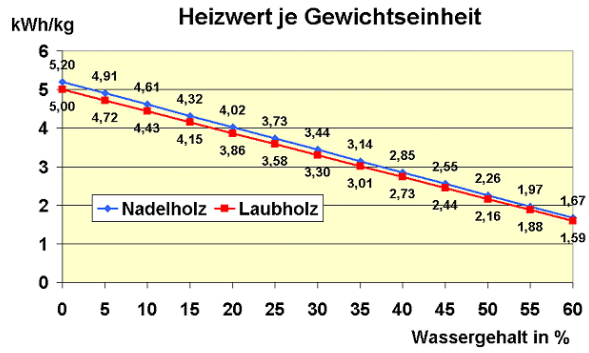
Beim *Heizwert je Masseneinheit (kWh/kg oder MWh/t)* spielt die unterschiedliche Dichte der Holzarten keine Rolle. Wichtig ist jedoch der Wasseranteil, er wird angegeben als *Wassergehalt w%* (Wassermasse bezogen auf Gesamtmasse) oder als *Holzfeuchte u%* (Wassermasse bezogen auf Trockenmasse). Ein Wassergehalt von z. B. 50 % entspricht einer Holzfeuchte von 100 %.

Der Heizwert von feuchtem Holz ergibt sich aus dem Heizwert der in ihm enthaltenen Trockenmasse, von welchem die Energie abgezogen werden muss, die zum Verdampfen des Wasseranteils benötigt wird. Diese beträgt 0,63 Kilowattstunden je kg Wasser.

Absolut trockenes Laubholz hat einen Heizwert von ca. 5 kWh/kg. Der Heizwert von Nadelholz liegt mit 5,2 kWh/kg aufgrund der anderen chemischen Zusammensetzung des Holzes etwas höher.



Holzmarkt in Afrika



Heizwert je Gewichtseinheit (Nadelholz/Laubholz) in Abhängigkeit vom Wassergehalt

Beispielberechnung für den Heizwert von 1 Kilogramm Brennholz mit 20 % Wassergehalt:				
80 % * 5,2 kWh	–	20 % * 0,63 kWh	=	4,03 kWh
Heizwert der absoluten Trockenmasse	minus	Verdampfungs-Wärme des Wasser-Anteils	gleich	Heizwert normal
Heizwert von 1 kg Brennholz (Trockenmasse): 5,2 kWh Energie zum Verdampfen von 1 kg Wasser: 0,63 kWh				

Aus der Beispielrechnung ergibt sich, dass die Abnahme des massebezogenen Heizwertes mit zunehmendem Wasseranteil hauptsächlich auf der Verringerung des Trockenmasseanteils und erst zweitrangig auf der zunehmenden Verdampfungswärme des Wassers beruht (, die die Energieausbeute beim Verbrennen verringert).

Wassergehalt und Lagerung

Die folgende Tabelle zeigt den genäherten Zusammenhang zwischen Lagerungsart/-zeit und dem zugehörigen Wassergehalt, der entscheidend ist für den Heizwert. Große Holzstücke trocknen wesentlich langsamer. Weniger als 15% Wasseranteil ist nur mit besonderem Aufwand zu erreichen.

Wassergehalt	Holzfeuchte	Heizwert kWh/kg	Heizwert MJ/kg	Lagerung		
				Rundholz	Spaltholz	Scheitholz
60 %	150 %	1,7	6	frisch		
35 %	54 %	3,2	12	1 Jahr	1/2 Jahr	1/3 Jahr
20 %	25 %	4,0	15	2 Jahre	1 Jahr	2/3 Jahr
11 %	13 %	4,4	16	Sonne und Wind und Dach		

Heizöläquivalent und Energiedichte

Als Heizöläquivalent bezeichnet man die Heizölmenge, die den gleichen Heizwert wie die vorgegebene Holzmenge hat. Da der Brennholz-Heizwert vom Wassergehalt abhängt, muss dieser zu jeder Heizwertangabe mit angegeben werden. Absolut trockenes Holz (atro) mit 0 % Wassergehalt ist nicht durch natürliche Trocknung, sondern nur durch technische Trocknung erreichbar. Der Endpunkt der natürlichen Trocknung ist der Zustand „lufttrocken = lutro“ mit ca.15 % Wassergehalt.

Das Heizöläquivalent kann benutzt werden, wenn man seinen Holzeinkauf mit den Kosten der äquivalenten Heizölmenge vergleichen will. Zu beachten ist dabei allerdings, dass der Heizwert je Raummeter (Rm) einer Holzart eine starke Schwankungsbreite besitzt, die aus der Schwankungsbreite der Holzdichte und der Schwankungsbreite des Umrechnungsfaktors Festmeter nach Raummeter resultiert. Unten stehende Tabelle enthält den Mittelwerte des Heizwertes je Rm einer Holzart.

Holzart lufttrocken	Heizwert kWh/kg	Heizwert MJ/kg	Heizwert MWh/Rm	Rohdichte in kg/dm³	Handelsdichte kg/Rm
Buche, Esche	4,2	15	2,0	0,69	480
Eiche	4,2	15	2,0	0,67	470
Birke	4,2	15	1,9	0.65	450
Lärche	4,3	15,5	1,8	0,59	420
Kiefer	4,3	15,5	1,6	0,52	360
Fichte	4,3	15,5	1,4	0,47	330
(Steinkohle)	8,3	30	-	1,3-1,9	-
(Heizöl)	12	42	10	0,84	840
(Erdgas L)	11,3	40	0,0093	0,00082	0,82

Ein Raummeter trockenes Laubholz ersetzt ca. 200 l Heizöl oder 200 m³ Erdgas. Nadelhölzer haben dagegen einen leicht höheren Heizwert je Gewichtseinheit, nehmen aber aufgrund ihrer geringeren Massedichte mehr Raum ein und brennen schneller ab.

Entzündung

Um Brennholz zu entzünden, können kleine trockene Äste als Zunder eingesetzt werden. Brennholz seinerseits kann benutzt werden, um Kohle beispielsweise in Kachelöfen zu entzünden.

Emission

Bei der Verbrennung werden als Hauptbestandteile Kohlendioxid (CO_2) und Wasserdampf (H_2O) freigesetzt. Holz enthält geringe Anteile an Stickstoff (~900 mg/kg). Dieser wird bei der Verbrennung zu Stickoxiden umgewandelt und belastet die Umwelt. Der darüber hinaus im Holz vorhandene Schwefel (~120 mg/kg) wird überwiegend in der Asche gebunden, so dass nur wenig Schwefeldioxid emittiert wird. In unterschiedlichem Umfang werden bei der Holzverbrennung je nach Holzfeuchte und Art der Verbrennungsführung (zum Beispiel offenes Feuer, Kamin) durch unvollständige Verbrennung auch Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (C_xH_y) und Aschefeinstäube emittiert.

Neuere Untersuchungen zeigen, dass die Gesamtbelastung durch Feinstaub, der beim Verbrennen von Holz entsteht, die Summe der Feinstaubemissionen der in Deutschland zugelassenen Kraftfahrzeuge überschreitet [1] . Die Emissionen von Holzheizungen können jedoch durch die Wahl geeigneter Kessel beeinflusst werden.

Brennholz hat als nachwachsender Rohstoff gegenüber fossilen Energieträgern (z. B. Erdöl, Kohle, Erdgas) den Vorteil, dass es CO_2-neutral verbrennt, da die Menge an freigesetztem Kohlendioxid der Menge entspricht, die der Baum während der Wachstumsphase der Luft entzogen hat.

Holzarten



Buchenholz ist ein beliebtes Brennholz

Zu Heizzwecken finden verschiedene Holzarten Verwendung. Zu unterscheiden ist hauptsächlich nach Heizwert, Brenndauer, und Nutzungskomfort (Flammenbild, Geruch u. Ä.).

Pro Volumen (Raummeter) haben Laub- bzw. Harthölzer einen deutlich höheren Heizwert als Laubweichhölzer oder Nadelhölzer. Pro Gewicht liegt aber der Heizwert bei Nadelholz etwas über dem von Hartholz. Nadelholz brennt schneller und unter Entwicklung höherer Temperaturen ab als Hartholz. Dies ist im Wesentlichen im höheren Harzgehalt begründet.

Für Heizzwecke ist meist eine kontinuierliche Wärmeentwicklung erwünscht. Vor allem die Verbrennungstechnik entscheidet darüber, welche Holzarten sich jeweils besser eignen. In modernen Holzvergaserkesseln zur reinen Wärmegewinnung können durch die hochtemperaturige Verbrennung alle Brennholzarten ohne Einschränkung optimal genutzt werden.

Für offene Kamine oder Kaminöfen eignen sich alle Laubharthölzer sehr gut als Energieträger. Es brennt langsamer und anhaltender als Nadelholz, bildet aber etwas mehr Asche (Wartung). In größeren Anlagen kommt daher bevorzugt billigeres Nadelholz zum Einsatz.

Für Küchenöfen ist das schneller brennende Nadelholz erwünscht, da es schnell Wärme bereitstellt („Hochheizen“ eines kalten Ofens, direktere Regelung der Kochplattentemperatur). Es ist aber *langflammiger* und braucht daher mehr Flammraum und höhere Sauerstoffzufuhr. Daher sind Küchenöfen meist gänzlich anders konstruiert als Heizöfen.

Die verschiedenen Holzarten haben bei der Verwendung als Brennholz Vor- und Nachteile:

- Fichte ist ein relativ schnell an- und abbrennendes Holz und eignet sich daher sehr gut zum Anbrennen. Häufig wird es auch in Grundöfen / Vergaserkesseln verwendet. In Europa ist Fichtenwaldholz weit verbreitet und das Holz günstig zu erwerben. Für den offenen Kamin eignet es sich nicht, da aufplatzende Harzblasen zum

„Spritzen“ von Glut führen.

- Tanne brennt ähnlich schnell wie Fichte, verursacht aber durch die geringere Ausprägung von Harzblasen deutlich weniger Funkenflug. Tanne ist das klassische Brennholz des Alpenraums für offene Herdfeuer, ist aber kaum noch sortenrein zu erhalten.
- Kiefer und Lärche sind – bei ähnlichen Brennverhalten – von weitaus besserer Qualität, spielen aber nur regional als Heizmittel eine Rolle.
- Birke wird gerne für offene Kamine verwendet, da es im trockenen Zustand kaum Funkenflug verursacht und neben seinem schönen Flammenbild (hell, leicht bläulich) auch gut riecht. Birkenholz brennt ebenfalls relativ zügig ab.
- Buche gilt als das klassische Kaminholz, da es ein schönes Flammenbild und gute Glutentwicklung aufweist. Zugleich zeigt es nahezu keine Funken(spritzer) und hat einen sehr hohen Heizwert. Der Brennwert/Heizwert von Buchenholz wird oft als Referenzwert im Vergleich zu anderen Hölzern verwendet. Aufgrund des geschätzten Geruchs und Geschmacks wird meist Buchenholz zum Räuchern von Lebensmitteln verwendet. Buchenholz ist universal einsetzbar und liegt daher im oberen Preisbereich.
- Weißbuche oder Hainbuche wird oftmals auch Buche genannt, ist jedoch eine eigene Holzsorte. Weißbuche ist auch getrocknet extrem schwer und hat daher, bezogen auf das Volumen, (ebenso wie Eiche) einen besonders hohen Brennwert. Weißbuche hat ein schönes Flammenbild, wenig Funkenspritzer und brennt sehr lange. Es ist besonders schwer zu sägen und zu spalten.
- Eiche ist einsetzbar in allen Öfen (Kachelofen, Kaminofen, Werkstattofen), die tatsächlich der Wärmegewinnung dienen. Für offene Kamine wird es nicht bevorzugt, da es zwar gut Glut, aber kein so schönes Flammenbild entwickelt. Der Heizwert ist noch etwas höher als der von Buche, und die Brenndauer ist sehr lang. Eichenholz enthält relativ viel Gerbsäure, die bei unsachgemäßem Abbrand (zu geringe Luftzufuhr) Abgasrohre angreift (Versottung). Es ist daher für Öfen gut geeignet, jedoch nicht für offenen Kamine.
- Esche hat einen ähnlichen Heizwert wie Buche und entwickelt das schönste Flammenbild. Es ist ideal für offene Kamine, da es ebenfalls kaum Funken spritzt. Eschenholz ist hart und zäh (leicht zu sägen aber schwer zu spalten) und dadurch ähnlich hochpreisig wie Buche.

Für den heimischen Ofen oder Kamin als Brennholz eher ungeeignet sind z. B. die Laubhölzer Pappel oder Weide, da sie eine geringe Energiedichte besitzen und schnell abbrennen. Die Pappel stellt aber im Anbau speziell für die Brennholzwirtschaft in Hybridsorten durch ihr enorm rasches Wachstum eine der ergiebigsten Holzarten dar, so wird deshalb z. B. in Großfeueranlagen mit kontrollierter Brennstoffzufuhr Pappel als Hackschnitzel bevorzugt genutzt.

Handel, Aufarbeitung und Lagerung

Handelsformen

Holz kann prinzipiell als *Frischholz* kurz nach den Schnitt *schlagfrisch* oder aber *trocken* gekauft werden. Frisches Holz lagert mindestens einen, besser zwei Winter über. Je höher der Wassergehalt des Gehölzes ist, desto länger muss es lagern um ohne Rauch- und mit möglichst wenig Rußbildung zu verbrennen.

Handelsformen sind z. B.:

- *Rundholz*, *Blochholz* (österr.): gelängt aber ungespalten
- *Spaltholz, Meterscheiter*: grob gespalten, ca. einmetrig gelängt
  - *Scheitholz*, *Brennscheitholz:* ca. drittelmetrig gelängt
  - *Stückholz*: ofenfertig, halbmetrig (50 cm), drittelmetrig (33 cm) und viertelmetrig (25 cm) abgelängt; es wird auch nur „Brennholz“ genannt, umfasst aber auch Holz zur Holzkohleherstellung
- *Brennreisig* ist Holz, welches keine Derbholzstärke von 7 cm Durchmesser erreicht (Zweige und Äste)



Brennreisig



Wellen: Bündel aus Brennreisig

Traditionell wird Brennholz im Raum- oder Volumenmaß gehandelt und verrechnet. Der Heizwert pro Volumen von Brennholz wird von unterschiedlichen Feuchtigkeitswerten viel geringfügiger beeinflusst, als bei Maß nach Gewicht. Zudem kann der Endverbraucher das Volumen besser bestimmen, als das Gewicht. Gängige Maße sind:

1 Raummeter oder Ster = 1 m³ geschichtete Holzscheite 1 m lang mit Zwischenräumen und entspricht ca. 0,7 Festmeter

1 Festmeter = 1 m³ Holzmasse ohne Zwischenräume.

1 Schüttraummeter (SRM)= ca. 0,71 Raummeter wieder aufgesetztes, ofenfertiges Holz

Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft hat ein Merkblatt zum Thema Brennholz herausgebracht, worin u. a. eine Umrechnungstabelle für die verschiedenen Maßeinheiten enthalten ist.[2]

Die Gewichtseinheit Kilogramm bekommt im Rahmen moderner Energiewirtschaft, der Hauszustellung auf Palette und in der Verwendung von getrockneten Presslingen (Holzpellets oder Holzbriketts) zunehmend Bedeutung. Beim Gewicht spielt das im Holz enthaltene Wasser (Restfeuchte, Wassergehalt) eine deutlich größere Rolle als beim Raummaß. Ein Kauf nach Gewicht sollte nur in Erwägung gezogen werden, wenn die Möglichkeiten des Wiegens sowie zur labortechnischen Überprüfung der Qualität (Zusammensetzung, Restfeuchte, Wassergehalt) gegeben sind.

Berechnungsgrundlage des Preises ist ab Wald, ab Waldstraße/Forststraße oder ab Lager (Selbstabholung, je nach Zugänglichkeit) oder frei Haus zugestellt, zunehmend aber auch im Detailverkauf, etwa in Baumärkten.

Ofenholz ist ein Projekt des Waldverbands der Landwirtschaftskammer Österreich, ein Gütesiegel verlässlicher und standardisierter Qualität anzubieten, das neben Mindestkriterien zu Trockenheit und Format auch definierte Holzsorten (Eiche, Buche/Hainbuche, Hartholz Esche/Ahorn u. a., Nadelholz, Birke) sowie Kriterien an einen Zustellungsservice umfasst, und eine Ergänzung zu den Qualitätsnormen zu Pellets und Brikettes darstellt.[3]

Aufarbeitung



Holzspalter zum maschinellen Zerkleinern von Brennholz

Brennholz kann am besten als Meterholz zu Scheitholz aufgearbeitet werden und wird in dieser Form auch von der Forstwirtschaft angeboten. Ist das Meterholz für den Endverbraucher zu groß, wird es mit einer Säge (vorwiegend einer Wippsäge) auf die gewünschte Länge gebracht.

Für das Spalten von Brennholz per Hand werden zunächst, z. B. mit der Motorsäge, Baumscheiben von ca. 30 cm abgeschnitten und im feuchten (frisch geschlagenen) Zustand gespalten. Wird das Holz zuerst getrocknet, ist es bei den meisten Arten sehr viel schwerer spaltbar. Beim Spalten ist es vorteilhaft, das Holz von oben nach unten zu spalten wird (Krone → Wurzel), weil dadurch weniger Kraft benötigt wird. Ein derber Merksatz lautet: „Das Holz reißt wie der Vogel scheißt."

Zum Spalten kann man einen motorgetriebenen Holzspalter oder einen Spalthammer benutzen.

Arbeitssicherheit

Bei der Aufarbeitung von Brennholz ist aus Gründen der Arbeitssicherheit auf die Persönliche Schutzausrüstung (PSA-Forst) zu achten. Diese umfasst zum Beispiel Arbeitshandschuhe, Sicherheitsschuhe, Gehörschutz und Schutzbrille. Beim Einsatz von Motorsägen ist zudem eine Schnittschutzhose der entsprechenden Schutzkategorie anzulegen. Vor allem bei Arbeiten mit der Kreissäge, aber auch beim Holzspalter oder Spalthammer/Spaltaxt besteht eine erhöhte Wahrscheinlichkeit beziehungsweise ein erhöhtes Risiko für Unfälle.

Lagerung



Lagerung von Brennholz in einer Holzmiete



Buchen-Brennholz im Wald aufgearbeitet

Frisch geschlagenes Nadelholz hat eine Holzfeuchte von etwa 55 bis 70 % (Wassergehalt = 35 bis 41 %), bei Laubhölzern liegt der Wert zwischen 70 und 100 % (Wassergehalt = 41–50 %). Daher sollte die Holzfeuchte durch Lagerung oder technische Trocknung auf den für die Verbrennung von Holz üblichen Restwert von unter 20 % (Wassergehalt < 16 %) gemindert werden. Ausschlaggebend für die Dauer der Trocknungslagerung ist zunächst die Ausgangsfeuchte des Holzes. Diese kann je nach Witterung und Baumart und eventueller Vorlagerung (Stammlagerung im Wald oder auf Rundholzplätzen) variieren. Üblicherweise wird bei der Lagerungstrocknung jedoch ein Zeitraum von mindestens ein Jahr bis zu zwei Jahren angesetzt. Die Art der Lagerung – z. B. aufgeschichtet, geschüttet oder im Silo – hängt von der Verarbeitungsform des Brennholzes ab. Bei optimalen Bedingungen für Brennscheitholz (fein gespaltene und nicht zu lange Scheite in abgedeckten, dem Wind offenen Gitterboxen im Freien) reichen manchmal auch schon sieben Monate. Sehr gut lagert Brennholz auch im Freien in einer Holzmiete oder unter einem Dach bei gleichzeitig guter Belüftung. Die Luftdurchströmung mit Wind ist eine entscheidende Voraussetzung für das Trocknen. An einer (idealerweise südlichen) Hauswand unter einem Vordach sollte man daher auch mindestens 5–10 cm Abstand zur Hauswand halten. Die

technische Trocknung ermöglicht den Verzicht auf längere Lagerung, sie hat allerdings zum Nachteil, dass sich die Brenneigenschaften gegenüber dem langsam getrockneten Holz verschlechtern. Kammer- oder Trommeltrocknungsanlagen können in ca. 1 Woche das Holz, abhängig von der Ausgangsfeuchtigkeit, auf die ideale Feuchte bringen. Um die Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu gewährleisten, wird häufig Abwärme anderer Einrichtungen genutzt.

Literatur

- Hendrik Eimecke: *Brennholz leicht gemacht & die Motorsäge. Anleitung zum Baumfällen und Heizen mit dem nachwachsenden Rohstoff Holz als alternative Energiequelle im Sinne des Umweltschutzes und einer ökologischen Waldwirtschaft*. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Better-Solutions-Verlag Gierspeck, Göttingen 2005, 91 S., ISBN 3-9808662-6-2
- Hans-Peter Ebert: *Heizen mit Holz in allen Ofenarten*. Ökobuch Faktum. 11., überarbeitete Auflage. Ökobuch, Staufen bei Freiburg 2006, 158 S., ISBN 3-936896-21-6
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): " Bioenergie - Basisdaten Deutschland (Stand Oktober 2009)", Gülzow 2009, 14-seitige Broschüre, als pdf [4] erhältlich

Weblinks

- Energie aus Holz [5] - Scheitholz, Hackschnitzel und Pellets. Eine Information der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
- Dossier Energieholz auf Waldwissen.net [6]
- Feuerholz (Firewood Quality) engl. [7] (im unteren Drittel)

Siehe auch

- Nachwachsender Rohstoff
- Bioenergie
- Biogener Brennstoff

Referenzen

[1] Umweltbundesamt – Bericht über die Feinstaubbelastung durch Öfen und offene Kamine (http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2006/pd06-013.htm)

[2] Merkblatt (http://www.lwf.bayern.de/publikationen/daten/merkblatt/p_33124.pdf)

[3] Ofenholz (http://www.waldverband.at/de/menu87/), www.waldverband.at

Brennnesseln

Brennnesseln	
	
Große Brennnessel (*Urtica dioica*)	
Systematik	
	Rosiden
	Eurosiden I
Ordnung:	Rosenartige (Rosales)
Familie:	Brennnesselgewächse (Urticaceae)
Tribus:	Urticeae
Gattung:	Brennnesseln
Wissenschaftlicher Name	
Urtica	
L.	

Die **Brennnesseln** (*Urtica*) bilden eine Gattung in der Familie der Brennnesselgewächse (Urticaceae) und gehören somit zu den Bedecktsamern (Magnoliophyta). In Mitteleuropa kommen vier Arten dieser Gattung vor.

Botanische Merkmale

Beschreibung

Brennnesseln sind krautige Pflanzen, selten auch Halbsträucher. Sie erreichen, je nach Art, Standort und Nährstoffsituation, Wuchshöhen von 10 bis 150 Zentimetern. Ihre Stängel sind zumeist unverzweigt und mit Brenn- sowie Borstenhaaren besetzt.

Die auf der Oberseite ebenfalls behaarten, länglichen Laubblätter sind bis zu acht Zentimeter lang und von tiefgrüner Farbe, nach vorne zugespitzt, am Ansatz herzförmig und am Rande meist grob gezähnt. Innerhalb einiger Arten gibt es jedoch auch Vertreter mit glattrandigen Blättern, dieses Merkmal wird etwa bei der Pillen-Brennnessel (*U. pilulifera*) rezessiv vererbt. Diese glattrandigen Pflanzen ähneln dem Majoran und waren besonders im 18.

Jahrhundert als „Spanischer Majoran“ Mittelpunkt einiger derber Scherze. Bei den meisten Arten sind die Blätter kreuz-gegenständig angeordnet und besitzen häufig kleine Nebenblätter in den Blattachseln. Hier stehen auch die Blüten.

Die länglichen, in rispigen Blütenständen stehenden, winzigen bis kleinen, unauffälligen Blüten sind von weißer, gelegentlich blass-violetter Farbe und locken kleine Insekten als Bestäuber an. Die Blüten sind vorwiegend eingeschlechtig, enthalten also entweder die männlichen Staubbeutel oder einen weiblichen Fruchtknoten. Männliche und weibliche Blüten können je nach Art auf einer Pflanze (einhäusig = monözisch: u. a. Kleine Brennnessel, Pillen-Brennnessel) oder auf verschiedenen Pflanzen (zweihäusig = diözisch: Große Brennnessel) anzutreffen sein. Die Blüte selbst setzt sich meist aus vier Blütenhüllblättern (seltener können auch zwei bis fünf vorkommen) und einer ebenso großen Anzahl von Staubblättern zusammen. Der Fruchtknoten liegt zentral in der Blüte und wird von nur einem Fruchtblatt gebildet.

Die Vermehrung erfolgt vorwiegend vegetativ über Rhizome, ansonsten sind die Pflanzen windbestäubend, wenn sich die männlichen Hüllblätter öffnen, schnellen ihre Staubblätter hervor; dabei wird explosionsartig eine Wolke von Pollen in die Luft geschleudert. Der Wind überträgt anschließend den Pollen auf die weiblichen Blüten. Die Brennnessel blüht von Juni bis Oktober. Die oval elliptischen Früchte sind ein bis 14 Millimeter groß und werden als Nüsschen bezeichnet.

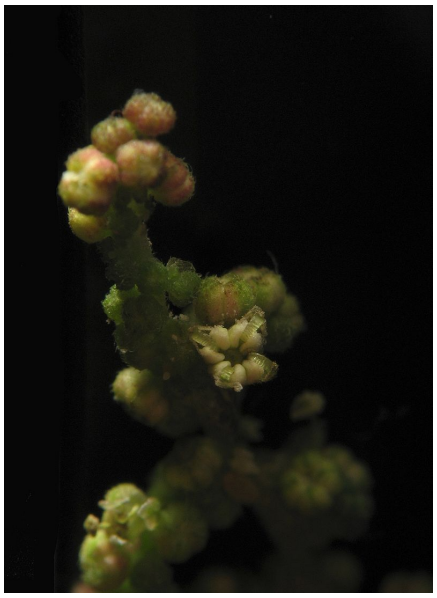


Nahaufnahme einer Brennnesselblüte

Verbreitung

Die Brennnesseln, auch rotes Feuer genannt, sind auf Grund ihrer geringen Ansprüche an die Umwelt nahezu weltweit verbreitet. Lediglich in Permafrostgebieten sind sie nicht anzutreffen. Einzelne Arten finden sich nicht überall, die Große Brennnessel (*Urtica dioica*) zum Beispiel fehlt in den Tropen, in Südafrika, auf den Balearen und auf Kreta.

Die Große Brennnessel kommt schwerpunktmäßig in Hochstauden- und ausdauernden Ruderalfluren vor, aber auch in Bruch- und Auenwäldern. Sie ist eine Zeigerpflanze für hohe Stickstoff-Vorkommen im Boden und besiedelt als Pionierpflanze sehr schnell unbewachsene Flächen. Wenn sich die Pflanze erst einmal etabliert hat, die Nährstoffe zur Verfügung stehen und es nicht extrem trocken wird, hat die Brennnessel keine Probleme, sich über viele Jahre (bis zu 20 Jahre) gegen alle anderen Pflanzen zu behaupten. Viele Arten leben auch als Bodenpflanzen, vornehmlich in tropischen und subtropischen Wäldern.



Nahaufnahme einer männlichen Blüte, bei der Blüte in der Bildmitte sind die Hüllblätter bereits geöffnet, die Staubblätter aber noch gespannt.

Brennhaare



Brennhaare am Blattstängel einer Brennnessel, die Köpfchen sind erahnbar

Bekannt und unbeliebt sind die Brennnesseln wegen der schmerzhaften Quaddeln (Schwellungen), die auf der Haut nach Berührung der Brennhaare entstehen.

Diese Brennhaare hat die Pflanze als Schutzmechanismus am Stängel entwickelt. Es sind lange Röhren, deren Wände im oberen Teil durch eingelagerte Kieselsäure hart und spröde wie Glas sind. Das untere, flexiblere Ende ist stark angeschwollen und in einen Zellbecher eingesenkt, die Spitze besteht aus einem seitwärts gerichteten Köpfchen, unter dem durch die hier sehr dünne Wand eine Art Sollbruchstelle vorhanden ist.



Brennhaare (groß) und normale Haare (klein) auf einem Blatt

Brennnesseln lassen sich gefahrlos anfassen, indem man sie von unten nach oben überstreicht. Andernfalls kann das Köpfchen schon bei einer leichten Berührung abbrechen und hinterlässt eine schräge, scharfe Bruchstelle, gleich der einer medizinischen Spritzenkanüle. Bei Kontakt sticht das Härchen in die Haut des Opfers, und sein ameisensäurehaltiger Inhalt („Methansäure“) fließt in die Wunde und verursacht brennenden Schmerz und oft auch Entzündungen.

Weitere Wirkstoffe sind Serotonin, Histamin, Acetylcholin und Natriumformiat. Bereits ein Zehnmillionstel Gramm dieser Brennflüssigkeit reicht aus, um die bekannte Wirkung zu erzielen. Histamin erweitert die Blutkapillaren und kann Reaktionen hervorrufen, die allergischen Reaktionen ähneln (diese werden unter Anderem durch Freisetzung körpereigenen Histamins verursacht). Acetylcholin ist auch die Überträgersubstanz vieler Nervenendungen und für den brennenden Schmerz verantwortlich.

Frischer Brennnessel-Schnitt (z. B. bei Barfußgehen im Brennnessel-Gras-Mulch nach dem Rasenmähen) verursacht bei Hautkontakt keine Schmerzen, weil gebrochene Brennhaare nicht mehr in die Haut einstechen können. Eine Nesselsucht (Urtikaria) folgt aber später und intensiver an den Kontaktstellen mit empfindlichen Hautschichten über der Fußsohle (Knöchel- und Spannbereich). Die von Kieselsäure spröden Brennhaare brechen beispielsweise bei der Mähmesser-Rotation, und das flüssige Gift (Ameisensäure) fließt frei aus. Es verteilt sich bei Kontakt auf der nervenlosen Oberhaut (Epidermis) und dringt schnell durch Poren in die darunterliegende Lederhaut (Dermis), aber erreicht dort erst nach Stunden freie Nervenendigungen (Nozizeptoren). Dagegen schmerzt es bei Hauteinstich ungebrochener Brennhaare schon innerhalb von Sekunden. Die relativ lange Gift-Kontaktzeit ist der späteren Verätzungsintensität direkt proportional. Das in die Lederhaut eingedrungene Gift ist von außen (z. B. Waschen) nicht mehr erreichbar. Das intakte Immunsystem kann nur langsam unter stechenden Schmerzen mit Schwellungen das in die Lederhaut eingedrungene Gift abbauen und die großflächig verätzte Oberhaut kann durch eine neue ersetzt werden.

Als Gegenmittel gegen eine Verbrennung hilft der Saft vom Spitzwegerich, der auf die Stelle gerieben wird. Dies nimmt den Schmerz sofort. [1]

Die Brennnessel hat auch einer allergischen Reaktion der Haut ihren Namen gegeben, der Nesselsucht oder Urtikaria. Genau wie bei einer Reizung durch Brennnesseln verursacht sie juckende Quaddeln. Hierbei wird das Histamin aus Mastzellen der Haut freigesetzt.

Schmetterlingsweide


Raupe Kleiner Fuchs auf Brennnessel

Für die Raupen von rund 50 Schmetterlingsarten sind die Brennnesseln eine Futterpflanze.

Die Schmetterlingsarten Admiral, Tagpfauenauge, Kleiner Fuchs (auch als Nesselfalter bekannt), Silbergraue Nessel-Höckereule, Dunkelgraue Nessel-Höckereule, Brennnessel-Zünslereule (*Hypena obesalis*) und das Landkärtchen sind dafür sogar auf die Brennnessel angewiesen, andere Pflanzen kommen für diese Arten nicht in Betracht (Monophagie). Trotzdem scheinen sich diese Schmetterlingsarten kaum gegenseitig Konkurrenz zu machen, denn sie bevorzugen jeweils andere Wuchssorten der Brennnessel oder sind relativ selten.

- Die Raupen des Kleinen Fuchses sind an trockenen und sonnigen Stellen zu finden
- Das Tagpfauenauge mag es zwar gleichfalls sonnig, aber dennoch luftfeucht und bevorzugt daher Plätze an Gewässern.

Beide Arten benötigen überdies größere Brennnesselbestände.

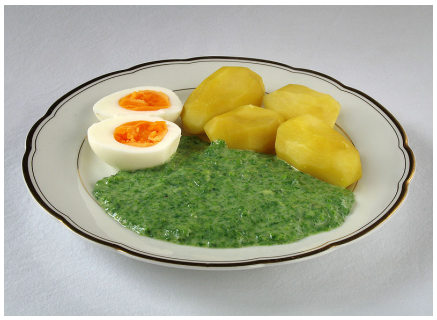
- Der Admiral dagegen gibt sich schon mit Ansammlungen einiger weniger Pflanzen zufrieden und bevorzugt eher kümmerliche Brennnesseln.
- Das Landkärtchen sucht sich die schattigsten Wuchsorte der Brennnessel aus, die oft großen und dichten Bestände in den fluss- und bachbegleitenden Auwäldern.

Auf fast jeder Brennnessel sind Fraßspuren einzelner Insekten zu sehen. Dabei müssen diese eine Strategie entwickelt haben, mit der sie die Brennhaare umgehen. Sie fressen sich um die Haare herum und bevorzugen dabei die Wege entlang der Blattnerven und den Blatträndern, da sich dort keine Brennhaare befinden. Vorteilhaft für die Insekten: Das Gift dringt nicht aus der Spitze, wenn das Haar unten an der Wurzel angefressen wird.

Verwendung

Die meisten der folgenden Aspekte beziehen sich auf die Große Brennnessel (U. dioica), die unter anderem als Heil- und Nutzpflanze dient.

Lebensmittel


Brennnesselspinat mit Salzkartoffeln und Ei

Junge Brennnesseltriebe werden wegen ihres Vitamingehalts und ihres feinsäuerlichen Geschmacks als Salat und Gemüse geschätzt. Besondere Verbreitung fanden Brennnesselgerichte in Notzeiten, in denen Blattgemüse wie Spinat oder Gartensalat zugunsten nahrhafterer Pflanzen kaum angebaut wurden, und bei der armen Bevölkerung, da Brennnesseln auf Brachflächen und in lichten Wäldern reichlich gesammelt werden können.

Den besten Geschmack haben die ersten, etwa 20 Zentimeter langen Pflanzen im Frühjahr oder bei größeren Pflanzen die Triebspitzen. Der unangenehmen Wirkung der Nesselhaare kann man entgegenwirken, indem man die Triebe in ein Tuch wickelt und stark wringt, sie kurz blanchiert oder ihnen eine kräftige Dusche verabreicht. Ist die Pflanze getrocknet, verliert sie ebenfalls ihre reizende Wirkung.

Übliche Zubereitungen sind roh als Salat (wobei die Nesselhaare durch das Vermischen mit der Sauce zerstört werden) oder blanchiert und wie Spinat verwendet als „Brennnesselspinat“ oder Brennnesselsuppe.

Die Blätter können auch getrocknet und als Tee zubereitet werden, eines der ältesten Hausmittel, das eine reinigende, entgiftende, stoffwechselfördernde und blutbildende Wirkung hat.[2]

Früher wurden gelegentlich Butter, Fisch und Fleisch in Brennnesselblätter gewickelt, um sie länger frisch zu halten. Tatsächlich verhindern die Wirkstoffe der Brennnessel die Vermehrung bestimmter Bakterien. Diese Praxis ist sogar gerichtsnotorisch: 1902 wurde eine Berliner Milchhändlerin auf Grund der Brennnesselblätter in ihrer Milch wegen Lebensmittelverfälschung angeklagt. Mit der Begründung, dass dies ein „allgemein geübtes Verfahren“ sei, wurde die Händlerin jedoch freigesprochen. In Mitteleuropa, unter anderem den Niederlanden, Luxemburg, Österreich und Deutschland, werden Brennnesseln auch als Zutat für Brennnesselkäse verwendet.

Noch heute gibt man Brennnesseltriebe oder gehackte Brennnesseln als Vitaminträger in das Futter von Küken, Ferkeln und Kälbern, damit sie schneller wachsen; auch als ganze Pflanzen gibt man sie Hausschweinen in der biologischen Landwirtschaft gern als Beifutter.

Ethnobotanik

Die lange Geschichte der Brennnessel als Heilpflanze und Nahrungsmittel führt dazu, dass es eine Vielzahl ethnobotanischer Traditionen und Ansichten über die Pflanze gibt, die teils dem Bereich der Mythen und des Aber- und Wunderglaubens entstammen[3] .

Einige der Bräuche:

- Am Gründonnerstag Brennnesselgemüse zu essen, was für das folgende Jahr vor Geldnot schützen soll.
- Fünf Nesselblätter in der Hand zu halten, um frei von Furcht und bei kühlem Verstand zu bleiben.
- Am Johannistag Brennnesselpfannkuchen zu essen, um gegen Nixen- und Elfenzauber gefeit zu sein.
- Am 1. Januar Brennnesselkuchen zu essen, um sich ein gutes Jahr zu sichern.

Fasergewinnung

Hauptartikel: Fasernessel und Nesseltuch

Stoffe aus Brennnessel gab es bereits vor Jahrtausenden. Im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts lebte das Interesse an der heimischen Faserpflanze aufgrund einer Baumwollknappheit wieder auf. Um 1900 galt Nessel als das „Leinen der armen Leute“. Zuletzt wurde sie im Zweiten Weltkrieg verstärkt in Deutschland für Armee-Bekleidung verwendet.



Brennnesselfeld

Färberpflanze

Lange Zeit gehörte die Brennnessel zu den Färbekräutern. Wolle kann man mit ihrer Wurzel, nach Vorbeizen mit Alaun, wachsgelb färben. Mit einer Zinnvorbeize, Kupfernachbeize und einem Ammoniak-Entwicklungsbad erzielen die oberirdischen Teile ein kräftiges Graugrün. Man benötigt etwa 600 Gramm Brennnessel pro 100 Gramm Wolle; besonders bei der Brennnessel kann der Farbton vom Zeitpunkt des Pflückens und Färbens abhängen, deshalb ist die Technik bei Massenproduktion von Kollektionen in Vergessenheit geraten.

Gartenbau

Die Brennnesseln finden insbesondere im biologischen Gartenbau vielfältige Verwendung. Ein scharfer Kaltwasserauszug (nur 24 Stunden angesetzt) als Pflanzenstärkungsmittel festigt durch die enthaltene Kieselsäure die Zellwände der damit gegossenen Pflanzen und stärkt sie so gegen den Befall beißender wie saugender Insekten. Eine Jauche löst zusätzlich den Stickstoff der Brennnessel sowie Spurenelemente heraus und hat dadurch auch Düngewirkung (Herstellung und Anwendung siehe Pflanzenjauche). Die anfallenden Reste können im Kompost verwertet werden.



Abbildung der Großen Brennnessel in Otto Wilhelm Thomés „Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz“, die 1885 in Gera erschien.

Systematik

Die Gattung der Brennnesseln unterteilt sich in zahlreiche Arten, von denen im deutschsprachigen Raum vier vorkommen. Die bekanntesten sind die zweihäusige Große Brennnessel (*Urtica dioica*) und die einhäusige Kleine Brennnessel (*Urtica urens*); außerdem existieren hier noch die Röhricht-Brennnessel (*Urtica kioviensis*) und die aus dem Mittelmeerraum eingeschleppte Pillen-Brennnessel (*Urtica pilulifera*)[4] , deren gelegentliche mitteleuropäische Vorkommen auf die Kulturflucht aus Kräutergärten zurückzuführen ist, in denen sie wegen ihrer schleimigen Samen kultiviert wurde.

Gattung Brennnesseln (*Urtica*)

• Große Brennnessel (*Urtica dioica*)	• *Urtica ardens*	• *Urtica chamaedryoides*	• *Urtica himalayensis*	• Maulbeerblättrige Brennnessel (*Urtica morifolia*)
• Kleine Brennnessel (*Urtica urens*)	• *Urtica balaerica*	• *Urtica circularis*	• *Urtica hyperborea*	• *Urtica parviflora*
• Röhricht-Brennnessel (*Urtica kioviensis*)	• *Urtica ballotifolia*	• *Urtica cordifolia*	• *Urtica incisa*	• *Urtica platyphylla*
• Pillen-Brennnessel (*Urtica pilulifera*)	• *Urtica buchtienii*	• *Urtica dodartii*	• *Urtica magellanica*	• *Urtica simensis*
• Geschwänzte Brennnessel (*Urtica membranacea*)	• *Urtica integrifolia*	• *Urtica echinata*	• *Urtica mairei*	• *Urtica spatulata*
• Sibirische Hanfnessel (*Urtica cannabina*)	• *Urtica laetivirens*	• *Urtica flabellata*	• *Urtica massaica*	• *Urtica thunbergiana*
• *Urtica angustifolia*	• *Urtica lilloi*	• *Urtica gracilenta*	• *Urtica membranacea*	• *Urtica virulenta*

Zeigerfunktion

Ein starker Brennnesselwuchs gilt allgemein als Zeiger für einen stickstoffreichen Boden und bildet sich oft als Ruderalflora auf früher besiedelten Stellen aus. Eine große Anzahl Brennnesseln in einem Gebiet erlaubt es somit, auch ohne chemische Untersuchungen, Rückschlüsse auf die Bodenbeschaffenheit zu ziehen.

Ähnliche Arten

Die Vertreter der mit den Brennnesseln nicht verwandten Gattung der Taubnesseln (*Lamium*), zu der z. B. die verbreitete Goldnessel (*Lamium galeobdolon*) gehört, sehen den Brennnesseln in Wuchs und Blattform sehr ähnlich, besitzen aber keine Brennhaare und auch sehr viel größere und auffälligere Blüten.

Ähnliche Blätter wie die Brennnessel – allerdings wechselständig – hat die Nesselblättrige Glockenblume (Campanula trachelium).

In Neuseeland lebt eine Nesselart, der Ongaonga, bei dem die Berührung mit den Blättern schwere Vergiftungen hervorrufen kann.

Literatur

- Eva Hanke, Ernst Wegner: *Brennnessel.* Droemer Knaur, München 1999, 2000, ISBN 3-426-87041-X
- Heidelore Kluge: *Brennnessel.* Haug, Heidelberg 1999, 2001, ISBN 3-7760-1751-1
- Renate Spannagel: *Heilkraut Brennnessel.* Weltbild, Augsburg 1998, ISBN 3-89604-731-0
- Wolf-Dieter Storl: *Heilkräuter und Zauberpflanzen zwischen Haustür und Gartentor.* AT Verlag, Aarau/Baden 2000, ISBN 3-85502-693-9

Weblinks

- Brennessel [5] - Urtica-Diolca / Heilpflanze
- BR-Radiowissen-Beitrag: Warum brennt die Brennnessel? [6]
- Brennnessel als Heilpflanze [7]
- Große Brennnessel [8]
- Pillen-Brennnessel [9]
- Australischen Brennnessel [10]

Referenzen

[1] vgl. Sendung *Grünzeug* (http://www.swr.de/gruenzeug/-/id=100758/nid=100758/did=5248764/9gxl7b/index.html). In: *SWR.* 22. September 2009.

[2] Wirkung (http://www.kraeuter-welt.de/tee/kraeutertee/brennesseltee-wirkung.html)

[3] Heinrich Marzell: *Die Brennessel im Volksglauben.* Ein Beitrag zur Volkskunde. In: *Naturwissenschaftliche Wochenschrift.* Jena 26.1911, 401–406. ISSN 0369-3430 (http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=0369-3430)

[4] Manfred A. Fischer (Red.): *Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol*. Oberösterreichisches Landesmuseum, Linz 2005. ISBN 3-85474-140-5; Erich Oberdorfer: *Pflanzensoziologische Exkursionsflora*. 7. Auflage. Ulmer, Stuttgart 1994. ISBN 3-8252-1828-7; Werner Rothmaler: *Exkursionsflora für die Gebiete der DDR und der BRD. Bd 2. Gefäßpflanzen*. 13. Auflage. Volk und Wissen, Berlin 1987. ISBN 3-06-012557-0; Hans Ernst Hess, Elias Landolt, Rosemarie Hirzel: *Bestimmungsschlüssel zur Flora der Schweiz*. 3. Auflage. Birkhäuser, Basel 1991. ISBN 3-7643-2606-9

Brennstoff



Holzfeuer in einem Kamin

Ein **Brennstoff** ist ein chemischer Stoff, dessen gespeicherte Energie sich durch Oxidation in Form einer Verbrennung in nutzbare Energie umwandeln lässt. Der Begriff „Brennstoff“ steht für brennbare Energieträger, während der Begriff "Kernbrennstoff" für Energieträger, die durch Kernspaltung (wie Uran und Plutonium) oder durch Kernfusion (wie Deuterium und Tritium) Energie freisetzen können, steht.

Unterschieden werden Brennstoffe in Heizstoffe, die zur Wärmegewinnung eingesetzt werden, und Kraftstoffe (Treibstoffe), die in Verbrennungsmotoren verwendet werden. Die chemische Zusammensetzung muß sich dabei nicht unterscheiden, wie z. B. bei einer bestimmten Erdölfraktionen die unter der Bezeichnung 'Heizöl EL' als Heizstoff und unter der Bezeichnung Diesel als Kraftstoff Verwendung findet.

Weiterhin wird zwischen natürlichen und künstlichen Brennstoffe unterschieden. Natürliche Brennstoffe werden in der Form eingesetzt, in der sie der Umwelt entnommen werden. Künstliche Brennstoffe werden durch einzelne Verfahrensschritte aus natürlichen Brennstoffen gewonnen.

Brennstoffe können zudem als fossile Brennstoffe (Erdöl, Kohle, Erdgas) und als Brennstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (biogene Brennstoffe wie Holz, Biokraftstoffe, Biogas) vorliegen.

Die Qualität eines Brennstoffes wird vor allem durch den Heizwert oder den Brennwert charakterisiert. Der Brennwert berücksichtigt auch die Nutzung der Kondensationswärme des im Rauchgas als Dampf enthaltene Wassers (Brennwertnutzung). Bei absolut trockenen Brennstoffen, die keinen chemisch gebundenen Wasserstoff enthalten, sind Brennwert und Heizwert identisch.

Brennstoffpreise



Steinkohle

Der Weltmarktpreis für Brennstoffe schwankt aufgrund vieler Faktoren. Gemessen an der Steinkohleeinheit schwankte der Preis im Zeitraum 1970 bis 2004:

- bei Erdöl um 900 %
- bei Steinkohle um 200 %

Die Preise für die wichtigsten Brennstoffe haben einen erheblichen Einfluss auf die nationalen Volkswirtschaften. Stark steigende Preise können z. B. eine bereits vorhandene Inflation verstärken.

Aggregatzustand und Verwendung


Brennendes Erdgas

Brennstoffe kommen in allen drei klassischen Aggregatzuständen (fest, flüssig und gasförmig) zum Einsatz. Sie werden verschiedensten Verwendungszwecken zugeführt.

- **Festbrennstoffe**, wie vor allem Steinkohle, Braunkohle und Holz, dienen heutzutage in erster Linie der Erzeugung von elektrischem Strom im Dampfkraftwerk. Daneben werden Festbrennstoffe für die Verfahrenstechnik und die Erzeugung von Metall bei der Verhüttung von Eisen und Stahl benötigt. Die Bedeutung für die Beheizung von Gebäuden ist nur noch gering.
- **Flüssigbrennstoffe** wie verschiedene Erdölderivate (Benzin, Diesel, Heizöl) und Biokraftstoffe haben einen erheblichen Anteil im Verkehrswesen und zur Heizung von Gebäuden. Weiterhin dienen sie als Rohstoff für Produkte in der chemischen Industrie.
- **Gasförmige Brennstoffe** wie Erdgas und Biogas werden hauptsächlich zur Gebäudebeheizung und zur Stromerzeugung genutzt. Sie werden in der chemischen Industrie ebenfalls als Brenn- und Rohstoff verwendet. Erdgas und Heizöl werden auch in kleineren und mittleren Dampfkesselanlagen zur Erzeugung von Wasserdampf verfeuert.

Herkunft der Brennstoffe

Die meisten der in Deutschland verwendeten Brennstoffe müssen importiert werden. Das gilt in erster Linie für die flüssigen und gasförmigen Brennstoffe, da Mitteleuropa auf diesem Gebiet nur geringe eigene Ressourcen besitzt. Feste natürliche Brennstoffen werden dagegen in diesem geographischen Gebiet als Bodenschatz in größeren Mengen gefördert, wobei die bei der Förderung anfallenden Kosten durch Subventionen unterstützt werden, um den heimischen Brennstoff gegenüber den auf dem Weltmarkt gezahlten Preisen konkurrenzfähig halten zu können.

Die Bereitstellung von Brennstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen (biogene Brennstoffe hat für die Energiewirtschaft und den Verkehrssektor eine wachsende Bedeutung. In 2008 wurden 6,5 % der in Deutschland benötigten Endenergie durch biogene Brennstoffe (als Bioenergie) bereitgestellt. Damit machen sie rund 2/3 der erneuerbaren Energien (insgesamt 9,5 %) aus. Den überwiegenden Teil der Bioenergie macht Wärme aus.[1] Das Gesamtpotential der Bioenergie in Deutschland ist jedoch begrenzt, so dass nur ein Teil des Energiebedarfs durch sie gedeckt werden kann.

Weblinks

- Brennstoffportal [2]

Referenzen

[1] *Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland* (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174-basisdaten_biokraftstoff.pdf), Stand Oktober 2009 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2009, 14-seitige Broschüre, als pdf verfügbar

Brettschichtholz

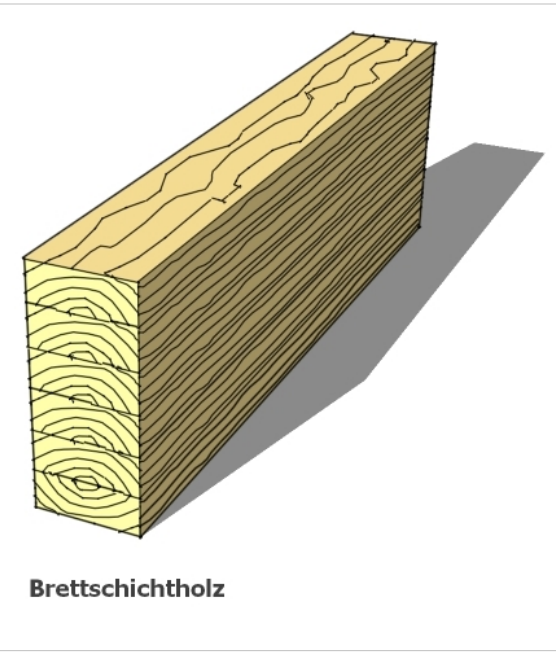
Unter **Brettschichtholz** (kurz *BSH*) versteht man aus mindestens 3 Brettlagen und in gleicher Faserrichtung verleimte Hölzer. Sie werden vorwiegend im Ingenieurholzbau, also bei hoher statischer Beanspruchung, verwendet. Binder aus Brettschichtholz werden als *Brettschichtbinder* oder *Leimbinder* bezeichnet.



Abbildung verschiedener Formen von Brettschichtholz

Herstellung

Holzbretter werden technisch getrocknet, gehobelt und dann der Länge nach mittels Keilzinkung zu sogenannten Lamellen verbunden. Diese Brettlamellen werden danach zu Kanthölzern verschiedener Dimensionen verleimt und abschließend nochmals gehobelt. Für die Herstellung wird Massivholz verwendet. In der Regel wird ein Brettschichtholz immer aus einer Holzart hergestellt. Es finden meist Fichten-, Tannen-, Kiefer-, Lärchen- oder Douglasienhölzer Verwendung. Andere Nadelhölzer sind eher unüblich. Laubhölzer werden mit Ausnahme der in Frankreich üblichen Pappel für tragende Zwecke derzeit kaum eingesetzt, da sie in den meisten europäischen Ländern baurechtlich nicht zulässig sind. Untersuchungen mit Eichen- und Buchenholz zeigen aber die grundsätzliche Eignung bei Beachtung der Randbedingung für die Herstellung und den Einsatz.



Die Klebeverbindungen von BSH müssen mit besonderer Sorgfalt hergestellt werden. Die Hersteller geklebter Produkte müssen eine „Leimgenehmigung” (Nachweis der Eignung tragender Holzbauteile) besitzen, die dem „Schweißnachweis“ im Stahlbau vergleichbar ist. Voraussetzungen sind unter anderem geeignete und beheizbare Herstellungsräume sowie Fachpersonal und umfassende Erfahrungen im Bereich des Klebens. Die BSH-Produkte werden einer ständigen Eigenüberwachung und einer regelmäßigen Fremdüberwachung unterworfen.

Die Klebstofffugen sind sehr dünn und der Klebstoffanteil am fertigen Produkt beträgt weniger als 1 Prozent. Es müssen geprüfte Klebstoffe verwendet werden, die der ÖNORM EN 301 entsprechen. Eingesetzt werden üblicherweise Polykondensationsklebstoffe wie Melaminharz- und Phenol-Resorcinharzklebstoffe, die auch als Leime bezeichnet werden, sowie Polyurethanklebstoffe aus der Gruppe der Polyadditionsklebstoffe. Nur Polyurethan-Klebstoffe sind formaldehydfrei; die modifizierten Melaminharze und Phenol-Resorcinharze enthalten Formaldehyd. Wegen des geringen Fugenanteils und da besonders formaldehydarme Klebstoffe eingesetzt werden, liegen deren zu erwartenden Raumluftkonzentrationen jedoch deutlich unterhalb der Grenzwerte der Formaldehydrichtlinie.

In der Praxis werden für die Keilzinkenverbindungen üblicherweise modifizierte Melaminharze verwendet, und für die Verleimung der Lamellen Polyurethan-Klebstoffe.

Die Herstellung erfolgt in verschiedenen Qualitäten sowohl in optischer wie auch in statischer Hinsicht.

Es wird im allgemeinen gerade Standardware hergestellt. Mit Brettschichtholz lassen sich allerdings auch verschiedenste auch mehrachsial gebogene Holzteile herstellen.

Qualitäten

Statisch wird das BSH nach der neuen DIN 1052 (Dezember 2008) in die Klassen GL24h, GL24c, GL28h, GL28c, GL32h, GL32c, GL36h und GL36c eingeteilt. GL steht dabei für „Glued Laminated Timber“ = Brettschichtholz. Die nachfolgende Zahl gibt die zulässige charakteristische Biegespannung in N/mm² an. Das *c* bzw. *h* steht für „combiniertes“ bzw. „homogenes“ Brettschichtholz. Wobei kombiniert dabei bedeutet, dass in den hoch beanspruchten äußeren Bereichen Lamellen mit einer höheren Festigkeitsklasse verwendet werden und die Lamellen in den inneren Bereichen aus Material von geringerer Qualität bestehen. Homogen wird das Brettschichtholz bezeichnet, wenn der gesamte Aufbau mit Lamellen der hohen Festigkeit besteht. Entscheidend ist hierbei, ob Querzugsspannungen maßgebend sind. Wenn nichts angegeben wird, gilt c (combiniert) als gefordert.

Hinsichtlich der Oberfläche wird unterschieden zwischen Industrie- und Sichtqualität. Standardmäßig ist gemäß VOB/C Sichtqualität zu liefern, wenn nichts anderes vereinbart wurde. Industriequalität wird verwendet, wenn keine Anforderungen an die optische Oberflächenbeschaffenheit bestehen, z. B. bei verdecktem Einbau.

Bewertung

Vorteile

Da Brettschichtholz aus getrocknetem Holz hergestellt wird und mehrschichtig aufgebaut ist, findet Rissbildung in erheblich geringerem Maße als bei Vollholz statt. Somit eignen sich Leimbinder hervorragend für offene Dachkonstruktionen in Wohnhäusern oder für andere Zwecke, bei denen die unvermeidliche Rissbildung von Vollholz unerwünscht ist.

Da die Festigkeit von Holz im Gegensatz zu der des Stahls nicht von der Temperatur abhängt und das Holz im Brandfall langsam von außen her abbrennt, wobei es an der Oberfläche eine schützende Kohleschicht bildet, kann die Tragfähigkeit gegebenenfalls länger erhalten bleiben als z. B. bei Stahlträgern.

Da Brettschichtholz aus vorsortierten und von Fehlstellen befreiten Hölzern gefertigt werden, lassen sich Tragfähigkeiten erreichen, die mit Vollholz des gleichen Querschnittes nicht erreichbar sind.

Es sind größere Querschnitte möglich als beim Vollholz, Einschränkungen bei den Abmessungen von BSH bestehen lediglich in der Größe der Hobelmaschinen, der Produktionsräume oder aus architektonischen Gründen.

Die Möglichkeit, die Einzellamellen vor der Verleimung zu krümmen, erlaubt die Fertigung von ansprechenden Trägerformen. Neben den Trägern mit einfacher Krümmung sind auch doppelt gekrümmte und tordierte Formen möglich.

Im Vergleich mit Stahl- und Spannbetonkonstruktionen bietet BSH bei ähnlichem Preis (bezogen auf die Tragfähigkeit) Vorteile in Bezug auf Gewicht und chemische Widerstandsfähigkeit,

Nachteile

Nachteilig im Vergleich zu Stahl ist der geringere Widerstand gegen wechselnde Feuchte.

Literatur

- Ewald König: *Holz-Lexikon, Nachschlagewerk für die holzwirtschaftliche Praxis.* DRW-Verlags-GmbH, Stuttgart 1972, Band I ISBN 3-87181-189-0, Band II ISBN 3-87181-190-4.

Weblinks

- Studiengemeinschaft Holzleimbau e. V. zu Brettschichtholz [1]
- neungeschossiges Wohnhaus in Brettschichtholz-Bauweise (Kreuz-Leimholz) [2]

Brettsperrholz

Brettsperrholz (auch als *Dickholz*, *Mehrschichtige Massivholzplatte* oder *Kreuzlagenholz* bezeichnet) ist der Überbegriff für im Bauwesen verwendete Massivholztafeln, die aus mehreren über Kreuz flach aufeinanderliegenden Brettlagen bestehen. Dieser Aufbau unterscheidet sie von Brettschichtholz, bei dem die Lagen längs zur Faser angeordnet sind.

Nach dem gleichen Prinzip wie bei Furniersperrholz wird durch den kreuzweisen Aufbau von mindestens drei Lagen eine hohe Formstabilität erreicht: Jede Holzschicht verhindert die, bei Einzelbrettern durch Veränderung der Holzfeuchte auftretende, Dimensionsänderung der rechtwinklig dazu liegenden benachbarten Lage.

Eigenschaften und Qualitäten

Brettsperrholz: Werkstoffeigenschaften[1]

Eigenschaft	Wert	Größe
Zugfestigkeit	0,9-1,1	kN/cm^2
Biegefestigkeit	ca. 1,1	kN/cm^2
Diffusionswiderstand	30-40	μ
Wärmeleitfähigkeit	0,14	W/(m K)
spezifische Wärmekapazität	1,61	kJ/(kg K)
Dichte	ca. 500	kg/m^3
Abbrandgeschwindigkeit	0,7	mm/min

Brettsperrholz kann durch die Wahl der Holzart, der Holzqualität und der Dicke der einzelnen Lagen stark in seinen elastomechanischen Eigenschaften, also in seinem Schwingungsverhalten, variiert werden. Auch die Oberflächengüte der Brettsperrholzplatten lässt sich individuell gestalten. In der Regel werden die Platten in Nicht-Sichtqualität hergestellt. Für Plattenoberflächen in Sichtqualität ist eine entsprechende Ausführung der obersten Schicht (Decklage) erforderlich. Je nach Eigenschaft gibt es Decklagen in mittragender oder nicht mittragender Ausführung. Handelsüblich sind Platten mit drei bis sieben Schichten und einer Gesamtstärke von bis zu etwa 34 Zentimetern.

Die Zugfestigkeit von Brettsperrholzplatten liegt bei etwa 1,0 Kilonewton pro Quadratzentimeter, die Biegefestigkeit leicht darüber (ca. 1,1 Kilonewton pro Quadratzentimeter). Die für den Brandschutz wichtige Abbrandgeschwindigkeit liegt bei ca. 0,7 Millimeter pro Minute.

Herstellung

Brettsperrholz wird heute in der Regel industriell hergestellt. Meist werden Bretter aus trockenem Nadelholz als Rohmaterial für die Einzellagen verwendet. Diese werden durch Verleimung mit formaldehydfreiem Polyurethanklebstoff annähernd starr miteinander verbunden. Alternativ kommen auch nachgiebigere mechanische Verbindungsmittel wie Nägel oder Holzdübel zum Einsatz. Der typische Aufbau einer Brettsperrholzplatte erfolgt mit zueinander im rechten Winkel orientierten Brettlagen bzw. Einschichtplatten. Auch eine Ausrichtung der Brettlagen im Winkel von 45 Grad ist möglich.

Ausgangsmaterial für die Herstellung von Brettsperrholzplatten sind sägerauhe Bretter. Vornehmlich wird Seitenware verarbeitet, also relativ schmale Bretter aus den Randzonen des gesägten Baumstammes. Diese Qualitäten gelten wegen ihrer eingeschränkten Verwendungsmöglichkeiten als minderwertiges Holz, weisen jedoch die besten Eigenschaften bezüglich Steifigkeit und Festigkeit auf.

Voraussetzung zur Herstellung

Nachweis der Eignung zum Kleben von tragenden Holzbauteilen nach DIN 1052:2008-12, Bescheinigung A, B oder C. Zertifikat einer für die Überwachung der Herstellung von Brettsperrholz notifizierten Stelle.

Nutzung

Brettsperrholzprodukte haben seit den 1990er Jahren im modernen Holzbau an Bedeutung gewonnen. Im Wohnungsbau wie auch im kommunalen und gewerblichen Objektbau werden sie als statisch tragende Elemente eingesetzt. Brettsperrhölzer können nicht nur für die Errichtung von Außen- und Innenwänden sowie Dach- und Deckenelementen eingesetzt werden, sondern auch für Stiegenläufe und Balkonplatten. Ausrichten oder Einpassen an der Einsatzstelle sind dabei nicht nötig. Dämmungen, Vorsatzschalen und Fassadenelemente können leicht am Brettsperrholz befestigt werden.

Durch die wesentlich höhere Steifigkeit im Gegensatz zu Leicht- oder Rahmenbauweise, kann die Anzahl und Länge der aussteifenden Wandelemente reduziert werden. Im Vergleich zu Holzleichtbauten, wo der Brandschutz mit Beplankung erreicht wird, kann mit Brettsperrholz-Platten ohne zusätzliche Feuerschutzplatten die Feuerwiderstandsklasse F90 ("feuerbeständig") erreicht werden.

Marktentwicklung

Die industrielle Herstellung des Produkts hat nun, nach der ersten Pionier- und Entwicklungsphase, eine für die österreichische Holzwirtschaft relevante Größenordnung angenommen. 2008 wurden von österreichischen Betrieben über 100.000 m3 Brettsperrholz erzeugt, die Kapazität beträgt mehr als 350.000 m3. Neben Österreich gehört Deutschland zu den wichtigsten Brettsperrholzproduzenten. Der Markt für Exporte innerhalb Europas, aber auch nach Übersee ist entsprechend groß und wird weiter wachsen. Gerade im Hinblick auf Klimaschutz, Erdbebensicherheit, Vorfertigung und Serie gibt es weltweit steigenden Bedarf. [2]

Literatur

- proHolz Austria: Konstruktives Vollholz - Datenblatt Brettsperrholz
- Steffen Tobisch: *Mehrlagige Massivholzplatten - Innovative Werkstoffe mit hohem Leistungspotential*. 2007, VDM Verlag Dr. Müller, ISBN 978-3-8364-2659-6

Weblinks

- Die Holzmassivbauweise am Beispiel von Brettsperrholz [3]
- ZUSCHNITT 31 "Massiv über Kreuz" (Heft zum Thema Brettsperrholz) [4]
- INFORMATIONSDIENST HOLZ "Brettsperrholz (Mehrschichtige Massivholzplatten)" [5]
- Produktübersicht Brettsperrholz [6]

Referenzen

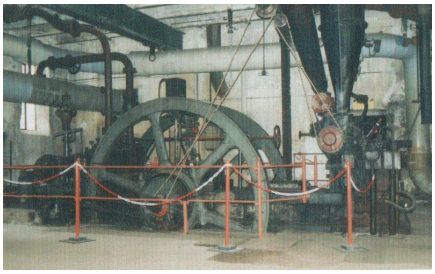
[1] proHolz Austria: Konstruktives Vollholz - Datenblatt Brettsperrholz

[2] ZUSCHNITT 31 "Massiv über Kreuz" (Heft zum Thema Brettsperrholz) (http://www.proholz.at/zuschnitt/31/)

Brikettierpresse

Die **Brikettier-**, **Aufsammel-** oder **Brikettpresse** (umgangssprachlich auch „Brikettmaschine“) ist ein Gerät, mit dem Material brikettiert, das heißt verdichtet und in ein handliches Format gepresst wird, das Brikett. Neben der ursprünglichen Nutzung zur Herstellung von Kohlenbriketts aus Braunkohle oder Kohlenstaub werden heute auch andere Materialien gepresst, unter anderem Holz zur Nutzung als biogener Brennstoff (Holzbrikett).

Geschichte



Dampfbetriebene Brikettierpresse der Brikettfabrik Louise (1882)

Zwischen 1880 und 1910 erlebte die Braunkohleindustrie ihre erste große Blütezeit. Dies liegt zum großen Teil an der Erfindung der Brikett- oder Brikettierpresse durch den Deutschen Karl Exter. Mit ihrer Hilfe ließ sich die Brennbarkeit der Kohle deutlich erhöhen. Zudem nahm in dieser Zeit der Energiebedarf insgesamt stark zu. Die Nachfrage nach brikettierter Kohle und damit nach Brikettierpressen stieg rasant an, sowohl für Brennstoffe in Haushalten als auch zur Stromerzeugung. Eine Vielzahl von Brikettfabriken wurden in dieser Zeit errichtet.

Später wurden auch die kontinuierlich produzierten Abfälle der Holzindustrie, beispielsweise Staub und Späne in Schreinereibetrieben oder Sägewerken, zu verheizbaren Holzbriketts gepresst, vor allem als sachgerechte und wirtschaftliche Entsorgung von Holzabfällen. Die Brikett- oder Brikettierpresse in etwas abgeänderter Form hielt dadurch Einzug in holzbearbeitende Betriebe. Heute brikettiert man nicht nur Braunkohle oder Holz, sondern auch Materialien wie Papier, Biomasse, Baumwolle, Heu, Stroh, *Miscanthus*' und Stäube als regenerative Energiequelle (Bioenergie). Auch in der Abfallwirtschaft wird brikettiert und damit das Volumen reduziert und der Transport und der Umgang mit Stoffen (z.B.: giftige Stäube) erleichtert.

Funktionsweise

Von dem Materialbehälter werden die Späne oder der Staub durch eine Förderschnecke oder einen hydraulischen Vorverdichter in die zylindrische Presskammer transportiert. Dort komprimiert der hydraulische Presskolben das Material zu kompakten, festen Briketts. Die Pressdrucküberwachung erfolgt automatisch über ein voreingestelltes Ventil. Nach Erreichen des eingestellten Druckes öffnet die Pressvorrichtung selbsttätig. Das erzeugte Brikett wird ausgeschoben.[1]

Während Kriegs- und Nachkriegszeiten, in denen Kohle knapp und teuer war, war neben der industriellen Dampf-, Stoßkolben- oder hydraulischen Brikettpresse auch das Brikettieren von Hand oder mit einfachsten selbstgebauten Konstruktionen verbreitet. Dabei wurden vor allem Papier oder Sägemehl angefeuchtet, mit Bindfäden oder zwei zusammengebundenen Brettern zusammengepresst und getrocknet. Diese selbstgemachten Briketts wurden an Stelle von Kohle verheizt.

Neben der gängigen Form der Kolbenstrangpresse wird in der Abfallwirtschaft auch die Brikolare-Presse eingesetzt, die durch hydraulisches Walken eines Müll-Klärschlamm-Gemisches schnellverottbare Preßlinge erzeugt. Ein ähnliches Prinzip wird bei der Herstellung von Holzpellets (Pelletierung) eingesetzt, diese unterscheiden sich jedoch nicht nur durch die zylindrische Form deutlich von Holzbriketts oder anderen Formen, sondern auch durch das Herstellungsverfahren, das technologisch keine Brikettierung ist.[1]

Literatur

- Heinz M. Hiersig: *Lexikon Maschinenbau*, Springer, 1995. ISBN 3540621334

Weblinks

- Die Geschichte der Brikettierpresse [2]

Referenzen

[1] Bernd Bilitewski, Georg Härdtle, Klaus Marek: *Abfallwirtschaft*, Springer, 1994. ISBN 3540642765. Seiten 387 ff.

Brikettierung



Ein Brikett aus Braunkohle

Die **Brikettierung** ist ein Verfahren der Pressagglomeration von Materialien. Diese Zusammenballung der Partikel unter erhöhtem Druck erlaubt eine Verdichtung von Stäuben oder Spänen zu zylinderförmigen oder achteckigen Briketts. Zunächst für staubartige Feinkohle entwickelt, findet das Verfahren heute seine Anwendung für zahlreiche Materialien. So werden unter anderem Holzstäuben und -spänen zu Holzbriketts komprimiert, auch Schleif- und Fräsabfälle (Metalle, Schaumpolystyrol, Späne andere Kunststoffe), Ofenstäube, Torf, Altpapier, Feinfraktionen aus der Naturfaserverarbeitung und sogar Klärschlamm werden auf diese Weise verdichtet.

Funktionsweise und Eigenschaften

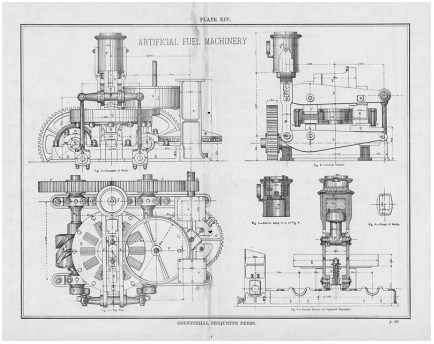
Bei der Pressagglomeration werden aufgeschüttete Partikel durch Einwirkung äußerer Druckkräfte verdichtet. Dabei nimmt die Zahl der Kontaktflächen zwischen den Partikeln zu; durch die Umordnung der Partikel verringert sich die Porosität und durch die plastische Verformung im Kontaktbereich wird die Haftung stark erhöht. Infolge der dabei auftretenden hohen Reibungskräfte können dabei örtlich Versinterungsvorgänge auftreten. Mit der Brikettierung wird folglich einerseits das Volumen der zu brikettierenden Partikel erheblich reduziert (bei Holzbriketts etwa um den Faktor 1:6 - 1:8, bei Schaumpolystyrol sogar um den Faktor 1:200). Durch die Zusammenballung erhält das Material andererseits Eigenschaften, die denen von vergleichbarem massiven Material (z.B. Kohle, Massivholz usw.) ähneln oder ihnen gleichkommen.

Vorteile der Brikettierung gegenüber dem Ursprungsmaterial liegen vor allem in der hohen Dichte sowie bei brikettierten Brennstoffen in der hohen Energiedichte und der damit verbundenen Brennstoffhomogenität sowie den verbesserten Dosiermöglichkeiten. Mit der Agglomeration sind zudem logistische Vorteile verbunden (bessere Handhabbarkeit, geringe Staubentwicklung bei Umschlagprozessen) und aufgrund des geringen Wassergehalt vor allem bei Holzbriketts auch eine verbesserte Lagerstabilität. Durch Zuschlagstoffe können zudem die chemisch-technischen Eigenschaften verändert werden, beispielsweise die Brennstoffeigenschaften bei brikettierter Kohle und Holz. Der Hauptnachteil sind die entstehenden hohen Kosten für die Brickettierung (und auch Pelletierung), die insbesondere bei den Brennstoffen durch die hohe Nachfrage und die hohen Erdöl- und -gaspreise ausgeglichen werden.

Je höher der Staubanteil in der zu brikettierenden Fraktion, desto eher krümeln Briketts aus. Bei längerer Lagerung zerfallen sie eventuell. Bei Steinkohlenbriketts werden daher bei der Brikettierung Bindemittel wie Teer zugesetzt.

Verfahrensweisen

Für die Brikettierung werden im Wesentlichen drei Verfahrensweisen angewendet. Neben den hauptsächlich eingesetzten Stangenpressen können auch Walzenpressen sowie ein Presskammerverfahren eingesetzt werden. Bei allen drei Verfahren werden die Partikel über einen äußeren Druck verdichtet. Heute werden zur Brikettierung fast ausschließlich nur noch hydraulische Brikettieranlagen eingesetzt. Zur Verminderung der Reibung und damit der Versinterung werden häufig Gleitmittel (etwa Glycerin, Graphit, Paraffine) zugegeben.



Couffinhal-Brikettpresse (um 1900)

Der typische Leistungsumfang kleiner hydraulischer Brikettpressen liegt zwischen 50 und 100 kg/h. Bei Pressen zur Brikettierung von Holz oder Kunststoffen bedarf es besonderer Sorgfalt, dass keine Metallteile in die Presse gelangen und so Spannzangen oder andere Werkzeugteile beschädigen. Aufgrund der erheblichen hydraulischen Kräfte kann es häufiger zu Störungen kommen.

Strangpressverfahren

Bei Stangen- oder Strangpressen erfolgt die Verdichtung in der Regel in Kolbenstrangpressen. Das vorgepresste Material wird in einen zylindrischen Kanal eingeführt und über einen Kolben verdichtet, der mechanisch über Schwungmassen oder über eine Hydraulik angetrieben wird. Der Pressdruck entsteht durch die Wandreibung des gepressten Stranges im Presskanal als Gegendruck zum Kolbendruck und kann durch Verjüngung des Presskanals geregelt werden. Durch den Pressdruck, der bei Holzbricketts beispielsweise bis 1.200 bar beträgt, entstehen sehr hohe Temperaturen im Presslingsstrang, die insbesondere bei größeren Anlagen über eine Kühlung reduziert werden müssen.


Strohbriketts aus dem Strangpressverfahren

Neben den Kolbenstrangpressen können Brickettstränge auch durch Extruderpressen produziert werden. Die Verdichtung erfolgt hier durch eine Förderschnecke, die das Material zu einem Strang verpresst und durch den Extruderkopf nach aussen drückt. Aufgrund des hohen Energieaufwandes werden die Pressen jedoch nur vergleichsweise selten benutzt.

Das gepresste Material tritt bei der Kolbenpresse im Rhythmus der Kolbenschläge und beim Extruder kontinuierlich aus den Presskanal aus und wird über eine Schiene zu einer Schnitt- und Brechvorrichtung geführt. Entsprechend der Abmessungen der Bricketts werden die Schüttgut oder Stapelgut erzeugt. Für die Querschnittsform ist die Formgebung des Presskanals oder des Extruderkopfes verantwortlich, durch die Nutzung eines Matritzenkopfs mit mehreren parallelen Presskanalbohrungen können zudem Pellets hergestellt werden.

Walzenpressverfahren

Bei Walzenpressen (in der Regel mit einer Lochmatritze) wirkt der Walzendruck verdichtend. Das Verfahren wird vor allem für die Produktion von Eierkohlen, also Kohlebriketts mit einer speziellen Form, verwendet.

Presskammerverfahren

Im Presskammerverfahren erfolgt die Briketherstellung nach einer Vorverdichtung über ein Schneckengetriebe in einer Presskammer. Dabei handelt es sich um eine feste Form, in die das Material in der Regel durch eine Hydraulik gedrückt und auf diese Weise verpresst wird. Nach dem Pressvorgang wird das fertige Brickett ausgestossen und es erfolgt eine erneute Befüllung der Form. Die in der Regel rechteckigen Briketts sind formgleich und dadurch sehr gut stapelbar. Die Durchsatzleistung dieses Verfahrens ist in der Regel geringer als bei der Strangpressung, der Energiebedarf ist jedoch deutlich geringer und eine Kühlung des Materials ist nicht erforderlich.



Holzbriketts nach ÖNorm M 7135 und DIN 51731 in rechteckiger Form

Literatur

- K. Schwister *Taschenbuch der Verfahrenstechnik* München, Fachbuchverlag Leipzig/Hanser 2007 (3. Auflage); ISBN 3-446-41058-9
- Hans Hartmann, Janet Witt: *Brikettierung.* In: Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer (Hrsg.): *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren.* Springer Verlag, Berlin und Heidelberg 2009; S. 265-267. ISBN 978-3-540-85094-6.

Weblinks

- J. Tomas: Agglomeration [1] (pdf; 2,20 MB)
- www.briquettingsystems.com [2] (englisch)

Bruttokraftstoffertrag

Der **Bruttokraftstoffertrag** ist eine Kenngröße für Biokraftstoffe auf der Basis von Agrarrohstoffen. Er gibt den produzierbaren Energiegehalt eines Biokraftstoffs pro Fläche an und ist damit eine Kenngröße für die Flächenproduktivität. Der Energiegehalt ergibt sich aus dem Produkt der produzierten Menge des Kraftstoffs und dessen Energiegehalt (Brennwert).

Angegeben wird der Bruttokraftstoffertrag in der Regel als GJ/ha (Gigajoule pro Hektar). Alternativ erfolgt die Angabe in l Kraftstoffäquivalente/ha, wobei die Menge des durch den Biokraftstoff ersetzten Kraftstoffs (Benzin oder Dieselkraftstoff) auf der Basis des unteren Heizwertes verwendet wird.

Der Bruttokraftstoffertrag berücksichtigt lediglich die im Kraftstoff enthaltene Energie, jedoch nicht die zur Erzeugung des Biokraftstoffs aufgewendete Energie. Zur Beurteilung der tatsächlich eingesparten fossilen Energie pro Hektar dagegen muss der Nettoenergieertrag bestimmt werden.

Literatur

- Norbert Schmitz, Jan Henke, Gernot Klepper: *Biokraftstoffe - eine vergleichende Analyse.* Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow 2009 (pdf [1])

BtL-Kraftstoff

BtL-Kraftstoffe (**B**iomass **t**o **L**iquid, deutsch: *Biomasseverflüssigung*) sind synthetische Kraftstoffe (XtL-Kraftstoffe), die aus Biomasse hergestellt werden. Die Verfahren zur BtL-Produktion sind noch in der Entwicklung und noch nicht konkurrenzfähig. Eine erste großtechnische Versuchsanlage der CHOREN Industries GmbH wurde 2008 in Freiberg (Sachsen) fertiggestellt, wird jedoch kommerziell noch nicht genutzt.

Die wichtigsten Schritte des gängigsten Herstellungsverfahrens sind die Pyrolyse der Biomasse, bei der das sogenannte Synthesegas erzeugt wird, sowie die anschließende Synthese mit dem Fischer-Tropsch-Verfahren oder dem Methanol-to-Gasoline-Verfahren (MtG). Als Endprodukt können Kraftstoffe erzeugt werden, die sich chemisch etwas von konventionellen Kraftstoffen wie Benzin oder Diesel unterscheiden, aber ebenfalls in Otto- oder Dieselmotoren verwendet werden können. BtL-Kraftstoffe sind Biokraftstoffe der zweiten Generation. Das bedeutet, dass sie ein breiteres Rohstoffspektrum haben als Biodiesel oder Bioethanol und z. B. auch cellulosereiche Biomasse wie Stroh und Holz genutzt werden kann. Der Kraftstoffertrag pro Hektar Anbaufläche könnte somit erhöht werden.[1]

Einige andere Kraftstoffe, die ebenfalls durch eine Biomasseverflüssigung erzeugt werden, werden in der Regel nicht den BtL-Kraftstoffen zugeordnet. Dieses sind z. B. die durch Biokonversion aus Zucker, Stärke oder Cellulose erzeugen Kraftstoffe Bioethanol und Cellulose-Ethanol sowie Furanics. Auch bei einer pyrolytischen Direktverflüssigung von Biomasse zu Pyrolyseöl und anschließender Aufbereitung zu Kraftstoff wird das Produkt meist nicht als BtL-Kraftstoff bezeichnet.

Prinzip und Anwendung

(siehe Artikel XtL-Kraftstoff und Fischer-Tropsch-Synthese)

Mehrere Verfahrensschritte sind bei der Produktion von BtL-Kraftstoffen notwendig:

- 1. Rohstoffbereitstellung
- 2. Vergasung (Pyrolyse)
- 3. Gasreinigung/ Gasaufbereitung (inklusive Kohlendioxid-Shift)
- 4. Synthese (z. B. Fischer-Tropsch-Synthese)
- 5. Produktaufbereitung (Raffinierung des Syntheseprodukts)



Zu Rundballen zusammengepresstes Stroh, Stroh kann als Rohstoff zur BtL-Kraftstoffherstellung dienen

Die Bereitstellung der Rohstoffe unterscheidet sich von den anderen XtL-Kraftstoffen, die aus Gas oder Kohle hergestellt werden. Die Schritte der Vergasung und der Gasreinigung unterscheiden sich ebenfalls deutlich vom GtL-Herstellungsprozess, ähneln aber teilweise dem CtL-Herstellungsprozess. Die Synthese kann hingegen bei allen XtL-Herstellungen gleich ablaufen, wenn dasselbe Verfahren (z. B. Fischer-Tropsch-Synthese) verwendet wird.



Kurzumtriebskultur aus Hybrid-Pappeln, Kurzumtriebkulturen können Rohstoffe zur BtL-Kraftstoffherstellung liefern

Während die Verfahren zur Herstellung von CtL- und GtL-Kraftstoffen etabliert sind, befinden sich Verfahren zur BtL-Kraftstoff-Herstellung noch in der Entwicklung bzw. in einer frühen Phase der Praxiserprobung. Hauptsächlich wird derzeit an der Herstellung von BtL-Dieselkraftstoffen geforscht. Eine erste *Pilotanlage* läuft seit April 2003 bei der *CHOREN Industries GmbH* (Freiberg (Sachsen). Eine erste, relativ klein dimensionierte *kommerzielle* Anlage des Unternehmens befindet sich derzeit (Ende 2009) in der Anfahrphase. An dem Unternehmen sind unter anderem die Daimler AG und die Volkswagen AG beteiligt. Der Mineralölkonzern Shell hat seine Anteile Ende 2009 veräußert. Das Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) unterstützt CHOREN.

Geschichtlicher Hintergrund

(siehe Artikel Fischer-Tropsch-Synthese)

CtL-Kraftstoffe wurden bereits in den 1940ern im Deutschen Reich und nach dem Zweiten Weltkrieg bis heute in Südafrika in großtechnischem Maßstab hergestellt. Auch die Herstellung von GtL-Kraftstoffen ist seit den 1990ern etabliert. Im Zuge der Energiewende rückten Erneuerbare Energien und damit auch Biokraftstoffe wie Biodiesel, Bioethanol und BtL in den Fokus. Im Rahmen der Klimaveränderung und wegen des begrenzten und somit teurer werdenden Erdöls wurden in den Industrieländern große Kapazitäten für die *Biokraftstoffe der ersten Generation* (z. B. Biodiesel, Bioethanol) aufgebaut. BtL-Kraftstoffe werden als *Biokraftstoffe der zweiten Generation* vor allem in Europa politisch stark gefördert. In Deutschland ist unter anderem die CHOREN Industries GmbH bei der Weiterentwicklung der BtL-Herstellung aktiv. Sie wurde von Bodo Wolf, dem ehemaligen Leiter des Deutschen Brennstoffinstitut der DDR gegründet.

Biokraftstoff	Ertrag/ha	Kraftstoffäquivalenz [l][2] [3]	Kraftstoffäquivalent pro Fläche [l/ha][4]	Preis [cent]	Preis Kraftstoff-äquivalent [cent/l][5]	Fahrleistung [km/ha][2] [6]
Pflanzenöl (Rapsöl)	1590 l[2]	0,96	1526	98,1/l (11/2009)[7]	102,2	23300 + 17600[8]
Biodiesel (Rapsmethylester)	1550 l[9]	0,91	1411	107,9/l (KW 49/2009)[10]	118,6	23300 + 17600[8]
Bioethanol (Weizen)	2760 l[2]	0,65	1794	93,2/l (E85, 11/2009)[11]	133,1	22400 + 14400[8]
Biomethan	3540 kg[9]	1,4	4956	93/kg (06/2008)[12]	66,4	67600
BtL	4030 l[9]	0,97[13]	3909	nicht am Markt	k.a	64000

|+ Vergleich von Biokraftstoffen in Deutschland

[1] ESU-services: Ökobilanz der Nutzung synthetischer Biotreibstoffe (http://www.esu-services.ch/cms/index.php?id=153&L=1)

[2] - Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland, Stand Oktober 2009 (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174-basisdaten_biokraftstoff.pdf) Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2009, 14-seitige Broschüre, als pdf verfügbar

[3] 1 l Biokraftstoff bzw. 1 kg Biomethan entspricht dieser Menge konventionellen Kraftstoffs

[4] ohne Nebenprodukte

[5] Preis für die Menge Biokraftstoff, die äquivalent zu 1 l konventionellem Kraftstoff ist

[6] separate Berechnung, nicht auf den anderen Daten basierend

[7] - Preisentwicklung von Rapsöl als Kraftstoff (http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/pflaoelpreise.html), CARMEN e.V., aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009

[8] mit Biomethan aus Nebenprodukten Rapskuchen/ Schlempe/ Stroh

[9] Biokraftstoffe - Basisdaten Deutschland, Stand Januar 2008 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2008, Broschüre, wegen aktualisierter Version nicht mehr als pdf verfügbar

[10] - Preisentwicklung von Biodiesel (http://www.ufop.de/1299.php), UFOP, aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009

[11] - Preisentwicklung von Bioethanol E85 (http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/biotreibstoffe/ethanol/preis/index.htm), CARMEN e.V., aktuelle Preisnotierungen, abgerufen am 04.12.2009

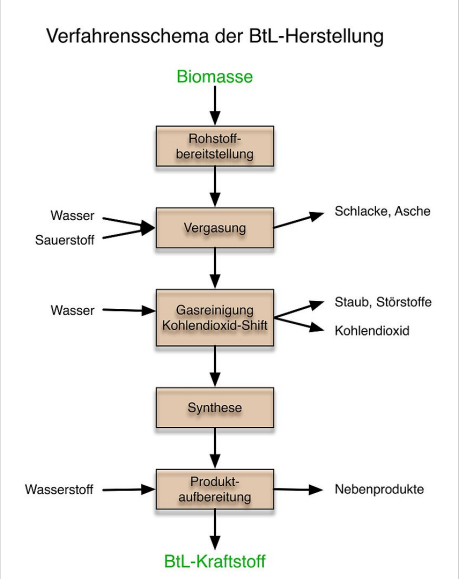
[12] Biogastankstelle Jameln

[13] auf Basis von FT-Kraftstoffen

Herstellung

Rohstoffbereitstellung und -aufbereitung

Die Herstellung von BtL beginnt meist damit, die stark wasserhaltige Biomasse zu trocknen. Als Ausgangsmaterial können sowohl Biomasseabfälle wie Stroh oder Restholz als auch speziell für die Kraftstofferzeugung angebaute Nutzpflanzen (Energiepflanzen, z. B. in Kurzumtriebsplantagen) Verwendung finden. Nach einer je nach Verfahren und Anlagentechnik erforderlichen Zerkleinerung und Reinigung der Pflanzenteile erfolgt die Vergasung.



Verfahrensschema der Herstellung von BtL-Kraftstoffen

Vergasung

Der erste Schritt ist bei den hier behandelten Syntheseverfahren eine verschieden stark vollendete thermische Spaltung, die Pyrolyse. Bei Temperaturen von ca. 200°C bis über 1000°C wird die physische und chemische Struktur der Biomasse umgewandelt. Lange Molekülketten werden durch den Wärmeeinfluss gespalten. Es entstehen zahlreiche unterschiedliche flüssige und gasförmige Kohlenwasserstoffe mit kürzerer Kettenlänge sowie mit fortschreitendem Verlauf auch vermehrt Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Kohlenstoff und Wasser. Während durch (Luft-)Sauerstoffmangel die vollständige Oxidation zu Kohlendioxid und Wasser verhindert wird, lässt sich die weitere Beschaffenheit der Pyrolyseprodukte neben den primären Prozessbedingungen Temperatur, Druck und Verweilzeit im Reaktor auch durch zugeführte chemische Reaktanden und Katalysatoren beeinflussen. Weitere Varianten der Vergasung sind möglich. Wenn die Reaktion in einer flüssigen Lösung durchgeführt wird, die gleichzeitig Reaktionspartner ist, spricht man auch von einer Solvolyse, bei einer Wasserstoffatmosphäre dagegen von einer Hydrogenolyse.

Carbo-V-Verfahren

Dieses spezielle Verfahren der CHOREN Industries GmbH beruht auf einem zweistufigen Prozess, wobei zuerst bei ca. 450 °C die stückige Biomasse in Koks (Biokoks) und teerhaltiges Schwelgas zerlegt wird. Während der Biokoks ausgeschleust wird, erfolgt bei ca. 1500 °C eine Flugstromvergasung des Schwelgases, so dass die längerkettigen Kohlenwasserstoffe in einfache Moleküle und damit in ein teerfreies Synthesegas zerlegt werden können. Die hohe Temperatur dieses Gases wird anschließend benutzt, um den ausgeschleusten und zermahlenen Biokoks bei nun 900 °C ebenfalls zu vergasen. Der Rohstoff kann dadurch vollständiger genutzt werden als bei anderen Verfahren. Das damit entstandene Rohgas ist teerfrei und nach dem Entstauben und Waschen von ähnlicher Qualität wie aus Erdgas erzeugtes Synthesegas.

Verflüssigung

Wird die Pyrolyse weniger vollständig durchgeführt, entsteht statt eines Gases ein flüssiges Produkt, das auch als Pyrolyseöl bezeichnet wird. Dieses Verfahren könnte z. B. eingesetzt werden, um Rohstoffe mit geringer Dichte, wie z. B. Stroh, die Transportwürdigkeit zu erhöhen. Anschließend kann eine Vergasung an der BtL-Produktionsanlage erfolgen.

Synthese

Der nachfolgende Schritt ist der Syntheseschritt, bei dem die Spaltprodukte im Synthesegas durch chemische Reaktion zum BtL-Kraftstoff aufbereitet werden. Meist findet eine an das Fischer-Tropsch-Verfahren angelehnte Synthese zur Erzeugung der BtL-Kraftstoffe statt.

Dieses Verfahren wird in der Pilotanlage der Choren Industries GmbH angewandt. Geplant ist dabei, das Carbo-V-Verfahren von Choren zur Produktion von Biogas mit der von Shell entwickelten *Shell Middle Distillate Synthesis*, einem weiterentwickelten Fischer-Tropsch-Verfahren, zu kombinieren. Shell erzeugt damit im großindustriellen Maßstab im malaysischen Bintulu schon GtL-Kraftstoff aus Erdgas und mischt ihn seinem „V-Power“-Kraftstoff bei.

Eine weitere Anlage im vorläufig kleineren Maßstab ist die Anlage in Güssing (Österreich)[1] . Hier wird mit einer Holzwirbelschichtvergasung Synthesegas hergestellt, das derzeit noch in einem Motor verbrannt wird. An der Installation einer Fischer-Tropsch-Anlage wird gearbeitet. Ab Frühling 2007 soll es gasförmigen Treibstoff an einer Tankstelle geben. Flüssige Treibstoffe sollen etwa ab Herbst 2007 angeboten werden.

Produktaufbereitung

Das Produkt der Synthese ist ein Gemisch verschiedenster Kohlenwasserstoffe. Um eine Nutzung als Kraftstoff zu ermöglichen ist eine Aufbereitung notwendig, die z. B. auf Verfahren aus der Erdölraffination zurückgreift (z. B. Destillation, Rektifikation). So erfolgt z. B. die Gewinnung von BtL-Benzin und BtL-Diesel aus dem Syntheseprodukt. In einem begrenzten Rahmen lässt sich die Synthese steuern, so dass z. B. eine bevorzugte Herstellung von BtL-Diesel möglich ist.

Andere Herstellungsverfahren

Eine Herstellung von BtL-Kraftstoff kann auch mit anderen Verfahren erfolgen, die aber zur Unterscheidung meist eine eigene Bezeichnung haben. Teilweise liegt als Zwischenprodukt kein Synthesegas sondern eine Flüssigkeit (Pyrolyseöl) vor:

- Flash-Pyrolyse mit sehr kurzen Verweilzeiten im Reaktor[2] , der
- Katalytischen Direktverflüssigung, bei der die Pyrolyse in einem Ölsumpf mit Katalysatorbeimengung erfolgt[3] , und der
- Hydrierenden Direktverflüssigung, bei der durch (Druck-)Wasserstoff während der Pyrolyse stabile Produktkohlenwasserstoffe entstehen.

Bei diesen Verfahren, entsteht eine Produktflüssigkeit (*Biorohöl* oder *Biocrude Oil* genannt) die hauptsächlich lipophile (wasserunlösliche) Stoffe enthalten kann. In einem weiteren Schritt erfolgt die Verarbeitung zu Biokraftstoff mit Hilfe gängiger petrochemischer Verfahren.

Entsprechende Anlagen existieren derzeit an verschiedenen Standorten in Deutschland, u.a. beim "Departement Verfahrenstechnik" der HAW Hamburg (Technikumsmaßstab), sowie bei einigen kommerziellen Betreibern ("HP-DoS"-Verfahren, Produktionsvorstufe).

Auch an anderen Instituten wird an der Entwicklung von Herstellungsverfahren gearbeitet, wie z. B. am Forschungszentrum Karlsruhe mit dem *bioliq-Verfahren*.[4]

Kraftstoffeigenschaften

Es gibt derzeit nur Messwerte aus Pilotanlagen[5] . Fischer-Tropsch-Kraftstoffe werden einen 7 % geringeren volumetrischen Energieinhalt im Vergleich zu Diesel haben, eine niedrigere Viskosität und eine deutlich höhere Cetanzahl[6] . Die Emissionen durch BtL-Kraftstoff sind geringer als bei fossilem Brennstoff (siehe Absatz Umweltauswirkungen). BtL-Diesel bzw. -Benzin sind ohne umfassende Umrüstung in den gängigen Diesel- bzw. Ottomotoren nutzbar.

Marken

Biotrol, SunFuel, SunDiesel

Die von CHOREN produzierten Kraftstoffe werden vom Anteilseigner Volkswagen unter den Namen *SunFuel* und *SunDiesel* vertrieben. Der Anteilseigner DaimlerChrysler verwendete die Bezeichnung *Biotrol*.

SunDiesel ist eine wasserklare, ölige Flüssigkeit und frei von Schwefel und Aromaten. Sie ist wesentlich schadstoffärmer als vergleichbare Kraftstoffe (35 - 55 %) und verbrennt unter geringerem Ausstoß von Schadstoffen. Der Kraftstoff zeichnet sich durch - im Vergleich zu herkömmlichem Diesel - eine viel geringere Anzahl an verschiedenen im Gemisch enthaltenen Stoffen aus. Diesel hat rund 400, SunDiesel nur etwa 10 Bestandteile. Durch richtige Spezifikation entweder des Kraftstoffs (z. B. durch Anpassung der Dichte) oder auch des Motors lässt sich eine „genauere“ Verbrennung erzielen, was dann die Emissionen von Ruß, Kohlenmonoxid und auch Stickoxiden reduziert. Ein weiterer Vorteil ist die hohe Cetanzahl von über 70 (Maß für die Zündwilligkeit; das EU-Mindestmaß beträgt 49).

Produktion und Markteinführung

Im August 2005 vereinbarte CHOREN mit dem Mineralölkonzern Shell, die weltweit erste großtechnische Fertigungsanlage für 18 Mio. Liter BtL-Kraftstoff im Jahr zu errichten. Die Anlage wurde im April 2008 fertiggestellt und sollte in 8 bis 12 Monaten in Betrieb genommen werden. Durch Verzögerungen wurde der Termin auf das dritte Quartal 2009 verschoben[7] . Dann soll sie Treibstoff zu Kosten von 1,00 Euro je Liter produzieren[8] . Die angepeilte Jahresproduktion von 15.000 Tonnen soll als erste Tankfüllung von neuen Mercedes- und VW-Automobilen ausgeliefert werden.

Ab 2009 war der Bau einer Großanlage für 400 Mio. Euro in Schwedt geplant, deren Jahresproduktion 200.000 Tonnen betragen soll. Die Biomasse soll aus der näheren Umgebung stammen, wodurch indirekt und direkt neue Arbeitsplätze geschaffen werden. Mit der anlaufenden Massenproduktion soll der Anteil von GtL (Gas To Liquids: Umwandlung von Erdgas in flüssige synthetische Produkte) von 5 % an der Kraftstoffmarke „V-Power“ durch BtL ersetzt werden. Der Anteil soll anschließend vergrößert werden. Als frühster Baubeginn wird derzeit (12/2009), abhängig von Investitionszusagen, 2010 genannt. Eine Fertigstellung würde in dem Fall bis 2013/2014 erfolgen[9] . Als wichtig werden die industriepolitischen Rahmenbedingungen erachtet[10] , wie z. B. die bisher nur bis 2015 im Rahmen des Energiesteuergesetzes zugesagten Steuerbefreiungen für *besonders förderwürdige Biokraftstoffe* wie BtL, Cellulose-Ethanol und Biomethan.

Es wird erwartet, zu 0,60 Euro je Liter Treibstoff produzieren zu können und damit in der Größenordnung von Biodiesel aus Raps zu liegen. Der Hersteller prüft zudem weitere Standorte, wie unter anderem Brunsbüttel in Schleswig-Holstein und Lubmin in Mecklenburg-Vorpommern.

Umweltauswirkungen

Bei den Umweltauswirkungen kann zwischen den Folgen des Biomasseanbaus und den Emissionen bei der Nutzung durch Verbrennung des BtL unterschieden werden. Für eine Gesamtbilanz ist aber der komplette Prozess inklusive der aufwendigen Herstellung zu betrachten.



Mechanisierte Ernte einer Kurzumtriebsplantage mit einem umgerüsteten Maishäcksler

Anbau

Die Umweltauswirkungen der Herstellung von BtL-Treibstoff hängen vor allem von der Art der eingesetzten Biomasse ab. Wie bei anderen Biotreibstoffen auch führt die Verwendung von Abfällen oder Waldholz zu eher geringeren Umweltbelastungen. Bei Verwendung von Energiepflanzen sind die Umweltbelastungen hingegen höher und die Treibhausgaseinsparungen geringer. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist der Umwandlungsgrad, der auch davon abhängt, ob im Verfahren noch Strom und Wärme produziert werden[1] . Es besteht also ein Zielkonflikt zwischen hohen Treibstofferträgen auf der einen Seite und möglichst geringen Umweltbelastungen auf der anderen Seite.

Etwa 5 bis 10 Kilogramm Holz sind notwendig, um 1 kg BtL zu produzieren[11] . Ersten optimistischen Schätzungen zufolge soll sich auf einem Hektar Ackerland so viel Biomasse anbauen lassen, dass daraus jährlich ca. 4000 Liter BtL-Kraftstoff hergestellt werden können[12] . Neuere Berechnungen in einem europäischen Forschungsprojekt ergaben maximal 2300 kg BtL-Kraftstoff pro Hektar bei der Nutzung von Kurzumtriebsholz. Die Umwandlungsgrade und Flächenerträge schwanken dabei je nach Verfahren und Art der Biomasse.[11]

Nutzung

Theoretisch kann jeder Dieselmotor auch mit BtL-Kraftstoff betrieben werden. In ersten Praxismessungen ergab sich ein verringerter Ausstoß von (unverbrannten) Kohlenwasserstoffen (um 40 %) sowie von Kohlenmonoxid und Rußpartikeln bei der Verbrennung. Grund ist das, im Gegensatz zu fossilen Kraftstoffen, Fehlen von aromatischen Verbindungen. Da auch keine Schwefelverbindungen enthalten sind, werden auch hier Emissionen verringert. Allerdings musste auch ein leichter Leistungsverlust hingenommen werden. Für eine vollständige Beurteilung müssen jedoch auch die zusätzlichen Emissionen dieser Schadstoffe bei der Treibstoffherstellung berücksichtigt werden, die diese Minderemissionen bei der Verbrennung teilweise aufwiegen.[1]

Vor- und Nachteile

(zu allgemeinen Vor- und Nachteilen von Bioenergien siehe auch Artikel Bioenergie)

Vorteile

- BtL-Kraftstoffe hat ähnliche Vorteile wie andere erneuerbare Energien, wie
  - Vermeidung von CO_2-Emissionen
  - Schonung fossiler Ressourcen
  - größere Unabhängigkeit von Energieimporten
  - Stärkung der regionalen Wirtschaft
- Für die BtL-Herstellung kann theoretisch jede verfügbare pflanzliche Biomasse verwendet werden, wie Pflanzenabfälle, Laub, Restholz und andere, bisher ungenutzte Biomasse. Damit wird auch eine Nutzungs- (z. B. zur Nutzung von Rohstoffen zur Nahrungsmittelproduktion) und Flächenkonkurrenz vermieden. Allerdings wird dadurch auch das Potential der BtL-Kraftstoffe begrenzt.

- Der jährliche Holzzuwachs in Deutschland beträgt etwa 65 Mio. m^3, was 4 % Massenzunahme entspricht. Rund ein Viertel des jährlichen Dieselbedarfs könnte damit gedeckt werden. Allerdings besteht eine Nutzungskonkurrenz z. B. zur stofflichen Nutzung (Nutzholz) und zur Herstellung von Holzpellets oder Cellulose-Ethanol.
- Die gängigen Diesel- bzw. Ottomotoren können die entsprechenden BtL-Kraftstoffe ohne Umrüstung nutzen, während andere Biokraftstoffe (Ethanol, Pflanzenöl) eine Anpassung erfordern können. Auch die vorhandene Infrastruktur (Tankstellen) ist weiterhin nutzbar.

Nachteile

- Das Potential an bisher ungenutzter Biomasse ist begrenzt. Ein umfassender Ausbau der BtL-Herstellung würde somit auch zu einer verstärkten Flächen- und Nutzungskonkurrenz führen, da landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Flächen verstärkt hierfür genutzt werden müssten.
- Die Herstellungskosten für BtL werden hoch eingeschätzt, so dass mit den derzeitigen Herstellungsverfahren eine Konkurrenzfähigkeit mit konventionellen Kraftstoffen nur bei finanzieller Förderung möglich erscheint.
- Ein weiterer Biokraftstoff, der sich in der Entwicklung befindet, ist Cellulose-Ethanol. Für seine Herstellung würden ähnliche Rohstoffe wie für BtL benötigt. Unklar ist, welches Verfahren geeigneter ist.
- Bei der thermischen Umwandlung gehen je nach Verfahren und Nebenprodukten (Strom, Wärme, Naphtha) 30%-60% der in der Biomasse gespeicherten Energie verloren. Der Treibstoffertrag pro Hektar ist damit nicht zwingend höher als bei anderen Biotreibstoffen und kann je nach Ausgangsmaterial und Verfahren stark schwanken[1] . Zudem ist der Aufwand für Ernte, Transport, Schreddern und anderes zu berücksichtigen.

Siehe auch

- Biomassepotential

Weblinks

- Verfahren zur Biomassevergasung und BtL-Erzeugung (http://www.ie-leipzig.de/Veranstaltungen/Biomasse-Vergasung.htm)
- EU-Forschungsprojekt *RENEW* mit aktuellen Daten zu Verfahrenswegen, Kosten, Potentialen und Umweltbelastungen (http://www.renew-fuel.com)
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): Ökobilanzen zu BtL: Eine ökologische Einschätzung (http://www.fnr-server.de)
- Ökobilanz verschiedener Herstellungswege für synthetische Kraftstoffe (http://www.esu-services.ch/cms/index.php?id=50&L=1), Studie im Rahmen des EU-Forschungsprojekts *RENEW*
- Ökobilanz der BtL-Nutzung in Personenwagen und Vergleich zu anderen Kraftstoffen (http://www.esu-services.ch/cms/index.php?id=153&L=1), Studie im Rahmen des EU-Forschungsprojekts *RENEW*
- BTL-Informationsplattform (http://www.btl-plattform.de/), BtL-Informationsportal der FNR
- Choren (http://www.choren.com/de/), Internetseite des BtL-Herstellers CHOREN Industries GmbH
- Carbo-V-Verfahren (http://www.erneuerbareenergien.de/0905/ee0905_s_75-76.pdf), Artikel in *Erneuerbare Energien* 9/2005, (PDF-Datei; 583 kB)
- Kritik am Fischer Tropsch Diesel bzw. BtL-Kraftstoff (http://www.k-tz.de/tz3/Stralsund2004.pdf) (PDF-Datei; 436 kB)
- Biomass to Liquid - BtL-Realisierungsstudie (http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Dokumente/Publikationen/mobilitaet/Biomass_to_Liquid__Zusammenfassung_.pdf), im Auftrag der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) und mehrerer Industrieunternehmen, 12/2006, 18-seitige Zusammenfassung

Literatur

- Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann und Hermann Hofbauer (Hrsg.), Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag (2009), 2. Auflage, S. 685-690, ISBN 978-3-540-85094-6
- Dr. Norbert Schmitz, Dr. Jan Henke, Prof. Gernot Klepper : *Biokraftstoffe - Eine vergleichende Analyse*; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow (2009), 2. Neuauflage, 167-seitig, als pdf (http://www.nachwachsenderohstoffe.de/index.php?id=1202&idtitel=236) erhältlich

Referenzen

[1] Europäisches Zentrum für Erneuerbare Energie Güssing (http://www.eee-info.net/deutsch.php?bereich=modell)

[2] HAW-Hamburg, Forschungsbericht 2004/2005, (http://www.haw-hamburg.de/fileadmin/user_upload/Forschung/Forschungsbericht0405.pdf), Seiten 33 und 38 ff.

[3] Willner, Th.: Direktverflüssigung von Biomasse am Beispiel der Entwicklungen der HAW Hamburg. Gülzower Fachgespräche, Band 28, Hrsg. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow 2008, S. 54-86

[4] Forschungszentrum Karlsruhe - Programm Erneuerbare Energien (http://www.fzk.de/fzk/idcplg?IdcService=FZK&node=0066)

[5] RENEW Homepage (http://www.renew-fuel.com)

[6] Biokraftstoffe; Basisdaten Deutschland; Stand: Januar 2008 (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174basisdaten_biokraftstoff_08.pdf)

[7] Internetpräsenz der Agrarzeitschrift *top agrar* (http://212.101.210.113/index.php?option=com_content&task=view&id=7204&Itemid=516)

[8] CHOREN BtL-Anlage in Sachsen eröffnet (http://www.choren.com/de/choren_industries/informationen_presse/?nid=184)

[9] Internetpräsenz der CHOREN Industries GmbH (http://www.choren.com/de/faq/), abgerufen am 29. Dezember 2009

[10] FAQs auf der Internetpräsenz von CHOREN Industries GmbH (http://choren.de/), abgerufen am 29. Dezember 2009

[11] Life Cycle Assessment of BtL-fuel production: Inventory Analysis (http://www.esu-services.ch/download/Del_SP5_WP2_5-2-7_07-07-30_ESU.pdf)

[12] BtL-Informationsplattform (http://www.btl-plattform.de/)

Buchen

Buchen

Rotbuche (*Fagus sylvatica*)
Systematik
Rosiden
Eurosiden I
Ordnung: Buchenartige (Fagales)
Familie: Buchengewächse (Fagaceae)
Unterfamilie: Fagoideae
Gattung: Buchen
Wissenschaftlicher Name
Fagus
L.

Die **Buchen** (*Fagus*) sind eine Gattung in der Familie der Buchengewächse (Fagaceae). In Europa sind 2 Arten heimisch, die Rotbuche (*F. sylvatica*) und die Orientbuche (*F. orientalis*).

Verbreitung

Die Gattung ist mit acht bis elf Arten in der nördlichen gemäßigten Zone Europas, Amerikas und Asiens vertreten. Die größte Artenvielfalt findet sich im Osten Asiens. Die Buchen bevorzugen ein wintermildes und sommerkühles, feuchtes ozeanisches Klima. Gebiete mit strengen Winter- und Spätfrösten und starker Trockenheit werden gemieden. In ihren südlichen Verbreitungsgebieten sind die Buchen auf die Gebirgslagen beschränkt.

Fossil sind Buchen seit dem Tertiär nachgewiesen. Vor 10 Mio. Jahren kennzeichnet ihr vermehrtes Aufkommen, etwa in Sedimenten der Niederrheinischen Bucht, eine langsame Abkühlung des bis dahin im Rheinland subtropischen Klimas.

Beschreibung

Buchen sind sommergrüne Bäume mit glatter, grauer Rinde. Nur selten wird im Alter eine schwache Borke ausgebildet. Die Laubblätter stehen wechselständig und sind ganzrandig, gekerbt oder gezähnt. Sie haben am Rand kleine Härchen (sind gewimpert), schmale Nebenblätter werden ausgebildet. Buchen sind einhäusig getrenntgeschlechtig (monözisch) und werden vom Wind bestäubt (Anemophilie). Die männlichen Blütenstände sind kätzchenartig. Die weiblichen Blüten sitzen zu dritt zusammen. Aus ihnen bilden sich die Bucheckern. Dies sind dreikantige Nüsse, die zu zweit oder zu dritt in einem sogenannten Achsenbecher (Cupula) sitzen.

Nutzung

Holznutzung

→ *Hauptartikel: Buchenholz*

Die Buchen besitzen ein hartes und schweres Holz, dass nach einer Vorbehandlung eine hohe Biegefestigkeit aufweist. Die Rotbuche spielt bei der Nutzung die wichtigste Rolle. Sie ist in Deutschland und Teilen West- und Mitteleuropas die mit Abstand häufigste Art der Laubbäume und hat einen Anteil von durchschnittlich 13,7 % an der deutschen Gesamtwaldfläche, der im Westen Deutschlands sogar bis 16 % betragen kann. Das Buchenholz ist zudem mit einem Einschlag von jährlich etwa 7 Millionen Quadratmetern (ca. 1/6 des Gesamtholzeinschlages in Deutschland pro Jahr) eines der bedeutendsten Laubhölzer als Nutz- und Industrieholz.[1]



Parkettboden aus Buchenholz

Das Buchenholz hat einen farblich homogenen Aufbau, bei älteren Exemplaren wird zum Teil ein dunklerer fakultativer Kern ausgebildet ("Rotkern"). Durch Dämpfen des Rohholzes wird die Holzfarbe intensiviert („angefeuert“), ebenso durch das Aufbringen von ölhaltigen Holzversiegelungen oder von Wasserlacken. Das Holz der Buchen wird massiv und als Furnier im Möbelbau und für den Innenausbau verwendet, in Kontakt mit der Witterung ist es unbehandelt jedoch wenig dauerhaft.



Spielzeug aus Buchenholz

Buchenholz wird sowohl als Rund- als auch als gedämpftes und ungedämpftes Schnittholz und als Furnier verkauft und verarbeitet; es stellt in Deutschland das wichtigste Laubholzsortiment dar. Neben

Fichten- und Kiefernholz ist es das am meisten verwendete Industrieholz, auf der anderen Seite liefert es jedoch auch sehr begehrte Spezialhölzer für zahlreiche Verwendungen. Eingeschränkt nutzbar ist das Holz nur als Konstruktions- und Bauholz in massiver Form aufgrund der mangelhaften Standfestigkeit. Insgesamt sind mehr als 250 Anwendungsfelder für Buchenholz bekannt.[1] Etwa die Hälfte wird dabei als Industrieholz bei der Herstellung von Span- und Faserplatten sowie zur Zellstoffherstellung in der Papierindustrie und insbesondere als Chemiezellstoff für die Produktion von Regeneratfasern wie Viskose und Lyocell für die Herstellung von Textilien und technischen Garnen verwendet.[1]

Buchen liefern auch ein hochwertiges Brennholz, das sich leicht spalten lässt. Durch seinen hohen Brennwert und das schöne Flammenbild gilt es als eines der begehrtesten Hölzer für Ofen und Kamin und es sprüht zudem nur wenig Funken.

Bucheckern

Die Bucheckern enthalten 45 bis 50% Öl. Aus 100 kg können 30 kg Speiseöl gewonnen werden. Bucheckern sind roh essbar. Vom Verzehr größerer Mengen muss aber abgeraten werden, da sie das schwach giftige Trimethylamin (auch Fagin genannt) enthalten. Der Verzehr von etwa 50 Bucheckern kann Erbrechen, Durchfall, Krampf- und Lähmungserscheinungen verursachen. Das Speiseöl ist frei von Fagin.

Systematik

Es werden acht bis elf Buchenarten (*Fagus*) unterschieden:

- Zackenblättrige Buche (*F. asplenifolia*)
- Kerb-Buche (*F. crenata*) (syn. *F. sieboldii*)
- Englers Buche (*F. engleriana*)
- Amerikanische Buche (*F. grandifolia*) (syn. *F. americana*, *F. ferruginea*)
- Taiwan-Buche (*F. hayatae*)
- Japanische Buche (*F. japonica*)
- Chinesische Buche (*F. longipetiolata*)
- Glänzende Buche (*F. lucida*)
- Mexikanische Buche (*F. mexicana*)
- Orient-Buche (*F. orientalis*)
- Rotbuche (*F. sylvatica*)



Japanische Buchen (*Fagus japonica*)

Die Blätter von *F. orientalis*, *F. sylvatica* und *F. grandifolia* sind unterschiedlich geformt:



Behaartes Blatt von *F.sylvatica*



Die Blätter von *F. orientalis*



Die Blätter von *F. grandifolia*

Abgrenzung von ähnlich benannten Gattungen

- Die Gattung der Hainbuchen oder Weißbuchen (*Carpinus*) ist den Buchen auf den ersten Blick ähnlich, gehört aber zur Familie der Birkengewächse (Betulaceae).
- Die Gattung der Scheinbuchen (*Nothofagus*), die den Buchen im Aussehen auch ähnelt, ist ausschließlich in der südlichen Hemisphäre heimisch und gehört zur Familie der Scheinbuchengewächse (Nothofagaceae).



Rotbuchen in einem Wald

einige Parasiten und Symbionten

- Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga*)
- Buchenspringrüssler (*Orchestes fagi*)
- Buchen-Streckfuß (*Calliteara pudibunda*)
- Buchen-Zahnspinner (*Stauropus fagi*)
- *Phytophthora* - Eipilze
- *Neonectria ditissima* - Pilze
- *Neonectria faginata* - Pilze

Sonstiges

- Der Name der Stadt Bocholt in Nordrhein-Westfalen stammt von „Buchenholz“. Das Wappen der Stadt ist eine Buche.
- Der Name der Stadt Bochum in Nordrhein-Westfalen stammt von „Buchenhain“. Zur Gründungszeit war das Stadtgebiet mit Buchen bewachsen.
- In Alfeld (Leine) in Niedersachsen geht der Name des Fagus-Werks, das Schuhleisten herstellt, auf die lateinische Bezeichnung der Buche, *Fagus*, zurück.

Literatur

- Peter Schütt (Hrsg.): *Lexikon der Forstbotanik*. ecomed, Landsberg/Lech 1992, S. 165, ISBN 3-609-65800-2.

Referenzen

[1] D. Grosser, W. Teetz: *Buche.* In: Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. (Hrsg.): *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung).* Nr. 7, Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond – Absatzförderungfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn 1998, ISSN 0446-2114 (http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=0446-2114).

Buchenholz

Buche	
	
Baumarten	Rotbuche
Herkunft	Europa
Farbe	blaßgelb bis rötlichweiß, nach Dämpfung rötlich
Materialeigenschaften	
Rohdichte Mittelwert	720 kg/m³
Rohdichte Grenzwerte	540–910 kg/m³
Axiales Schwindmaß	0,3 %
Radiales Schwindmaß	5,8 %
Tangentiales Schwindmaß	11,8 %
Biegefestigkeit	105-123 N/mm²
Druckfestigkeit	53-62 N/mm²
Zugfestigkeit	135 N/mm²
Wärmeleitfähigkeit	0,16 W/(m*K)
Brennstoffeigenschaften	
Brennwert	19,7 MJ/kg [1]

Als **Buchenholz** wird das Holz verschiedener Arten der Buchen (Gattung *Fagus*) bezeichnet, die als Nutzhölzer verwendet werden. In Europa ist dies vor allem die Rotbuche (*Fagus sylvatica*), das für unterschiedliche Anwendungen insbesondere als Bau- und Möbelholz verwendet wird. Das Holz der Hainbuche, die nicht näher mit der Rotbuche verwandt ist, unterscheidet sich dagegen sehr stark vom Buchenholz und wird entsprechend nicht als solches bezeichnet.

Nach DIN 4076 ist „BU“ das Kurzzeichen für die Rotbuche.[2]

Bedeutung

Die Rotbuche ist in Deutschland und Teilen West- und Mitteleuropas die mit Abstand häufigste Art der Laubbäume. Sie hat einen Anteil von durchschnittlich 13,7 % an der deutschen Gesamtwaldfläche, der im Westen Deutschlands sogar bis 16 % betragen kann. Das Buchenholz ist zudem mit einem Einschlag von jährlich etwa 7 Millionen Quadratmetern (ca. 1/6 des Gesamtholzeinschlages in Deutschland pro Jahr) eines der bedeutendsten Laubhölzer als Nutz- und Industrieholz.

Eigenschaften

Rotbuchen wachsen im Bestand gerade mit einem vollholzigen Stamm mit sehr langem, astfreien Schaft. Die astfreien Stammlängen erreichen hier bis zu 15 Metern bei einer Gesamthöhe des Baumes von bis zu 30 bis 35 Metern (maximal bis 45 Meter), der maximale Durchmesser beträgt 1,5 bis 2 Meter bei einem Maximalalter von 250 bis 300 Jahre. Das Endnutzungsalter der Bäume beträgt 100 bis 140 Jahre, zu diesem Zeitpunkt haben die Bäume einen Durchmesser von 30 bis 50 Zentimeter. Die jährlichen Zuwachsraten betragen etwa 4 m^3, wobei die Bäume anfang sehr langsam wachsen und den Hauptschub mit bis zu 8,7 m^3 pro Jahr mit etwa 120 Jahren auf gutem Boden erreichen können.

Die Rotbuchen zählen wie die Gemeine Esche zu den Kernholzbäumen mit unregelmäßiger Farbkernbildung; das bedeutet, dass Kern- und Splintholz teilweise einheitlich blaßgelb bis rötlichweiß sein können, teilweise jedoch auch einen sehr farbintensiven rotbraunen Farbkern besitzen (Rotkern). Die Splintholzzone ist in der Regel sehr breit, der Rotkern bildet sich abhängig von den Standortbedingungen erst nach etwa 80 Jahren aus; nach etwa 120 Jahren kommt es zu einer sprunghaften Rotkernbildung und im Alter von 150 Jahren besitzen 80 bis 100 % der Rorbuchen einen entsprechend gefärbten Falschkern. Durch eine Dämpfung nimmt das gesamte farbkernfreie Holz eine gleichmäßig rotbraune Färbung an.[2] Die Jahrringe sind auf sauber abgezogenen Hirnflächen deutlich voneinander abgesetzt und verlaufen teiolweise wellig. Die Holzgefäße sind zahlreich und zerstreut angelegt, die Poren sind nur mit der Lupe erkennbar, wodurch die Längsflächen porenfrei sind. Kennzeichnend sind die auffälligen Holzstrahlen, die tangential als Spindeln und radial als flächige Spiegel erkennbar sind. Insgesamt ist das Erscheinungsbild wenig gezeichnet.[2]

Buchenholz ist sehr hart und mit einer Rohdichte von 720 kg/m^3 bei 12 bis 15% Holzfeuchte ein schweres heimisches Laubholz, das mit dem Eichenholz vergleichbar ist. Es ist sehr homogen in seiner Dichte, zäh und wenig elastisch und besitzt als Bauholz ausgesprochen gute Festigkeitswerte. Allerdings ist die Schwindung sehr stark ausgeprägt und es weist nach der Trocknung kein sehr gutes Stehverhalten auf; Buchenholz „arbeitet“ zudem mehr als andere Nutzhölzer. Aufgrund dieser Eigenschaften sowie der starken Anfälligkeit gegenüber Pilzen wird Buchenholz nicht in Bereichen mit starken Feuchtigkeitsänderungen verwendet und unimprägniert ist es für Außenanwendungen nicht eingesetzt werden. Es lässt sich allerdings leicht imprägnieren und damit dauerhafter machen, wobei es dann auch unter extremen Wetterbedingungen sehr lange haltbar ist.

Sowohl als Rundholz wie auch als Schnittholz bedarf Buchenholz einer sorgfältigen Behandlung. Es neigt zum Einlauf sowie zum Verstocken, außerdem reißt es schnell und bildet Verwerfungen. Entsprechend wird Buchenholz nach Möglichkeit rasch abtransportiert und gesägt, die Trocknung darf jedoch aufgrund der Rissanfälligkeit nicht zu rasch erfolgen. Die Dämpfung des Holzes führt neben der Farbveränderung zu einer Erweichung und damit zu einem Abbau der Holzspannungen, wodurch es die Verarbeitung beim Schälen, Messern und Biegen verbessert. Das Holz kann aufgrund seiner homogenen Struktur gut bearbeitet werden, es lässt sich mühelos schneiden, fräsen, hobeln, bohren und schleifen, auch zum Schnitzen und Drechseln ist es geeignet. Nach der Dämpfung lässt es sich sehr gut biegen und wird dabei nur vom Eschenholz übertroffen. Verbindungen durch Nägel und Schrauben sind gut haltbar, die Verleimungsfestigkeit ist sehr gut. Die Oberflächen lassen sich gut polieren, beizen und einfärben. Die Behandlung mit Lacken ist unproblematisch, in Zementwerkstoffen kann Buchenholz jedoch aufgrund der Hemmung der Zementabbindung nicht eingesetzt werden.[2]

Verwendung



Parkettboden aus Buchenholz

Buchenholz wird sowohl als Rund- als auch als gedämpftes und ungedämpftes Schnittholz und als Furnier verkauft und verarbeitet; es stellt in Deutschland das wichtigste Laubholzsortiment dar. Neben Fichten- und Kiefernholz ist es das am meisten verwendete Industrieholz, auf der anderen Seite liefert es jedoch auch sehr begehrte Spezialhölzer für zahlreiche Verwendungen. Eingeschränkt nutzbar ist das Holz nur als Konstruktions- und Bauholz in massiver Form aufgrund der mangelhaften Standfestigkeit. Insgesamt sind mehr als 250 Anwendungsfelder für Buchenholz bekannt.[2] Etwa die Hälfte wird dabei als Industrieholz bei der Herstellung von Span- und Faserplatten sowie zur Zellstoffherstellung in der Papierindustrie und insbesondere als Chemiezellstoff für die Produktion von Regeneratfasern wie Viskose und Lyocell für die Herstellung von Textilien und technischen Garnen verwendet.



Spielzeug aus Buchenholz

Bau- und Möbelholz

Der Haupteinsatzbereich für Buchenholz ist die Möbelproduktion, wo es sowohl als Massivholz wie auch als Sperrholz, Formsperrholz und Formschichtholz eingesetzt wird. Es dient für die Herstellung von harten udn widerstandsfähigen Oberflächen für stark beanspruchte Möbel, insbesondere Kinder- und Jugendmöbel, Büromöbel und Bestuhlungen. In der Stuhlproduktion ist Buchenholz das am meisten verwendete Holz (sehr bekannt ist der Thonet-Stuhl aus gebogenem Buchenholz), außerdem werden Betten, Tische und Polstermöbelgestelle aus Buchenholz gefertigt, außerdem Gartenmöbel und Liegestühle. Im Innenausbau wird Buchenfurnier für Wand- und Deckenverkleidungen verwendet, außerdem ist es aufgrund der Härte ein häufig für den Treppenbau sowie als Parkett- und Holzpflasterboden verwendetes Holz.

Ein sehr großes Verwendungsspektrum hat Buchenholz im Bereich der Alltagsgegenstände. Hier reicht seine Verwendung von Küchengeräten wie Frühstücksbrettern, Nudelrollen, Schüsseln, Tabletts und Messergriffen über die Griffe von Bürsten und Besen bis hin zu Werkzeuggriffen, Gerätestielen, Werkbänken, Zollstöcken und Wäscheklammern. In der Spielzeugindustrie ist es als spanfreies und hartes Holz das am meisten verwendete Holz. Aufgrund der Schäl- und Verbindungseigenschaften ist das Holz auch bei der Herstellung von Holzwerkstoffen zentral - insbesondere Furniersperrhölzer, Schichtholz, Sperrholz- und Schichtholzformteile, Kunstharzpressholz und modifiziertes Holz wird zu einem großen Anteil aus Buchenholz gefertigt.

Verpackungsindustrie

Im Verpackungsbereich hat Buchenholz neben den Nadelhölzern eine zunehmende Bedeutung für die Herstellung von Transportpaletten aus Massiv- und Sperrholz, ausserdem für die Herstellung von Kisten und Fässern. Im Containerbau sowie beim Bau von Ladeflächen für Lastwagen und Transporter wird es in Form von Sperrholzplatten für die Böden verwendet, ausserdem wird es in Form von Verbundwerkstoffen mit Stahl für Spezialzwecke verwendet. Ölgetränkte Bahnschwellen aus Buchenholz kommen beim Schienenbau und in der Nachnutzung im Landschafts- und Gartenbau zum Einsatz.

Energetische Nutzung

Buchenholz ist ein hervorragendes Brennholz, das sich durch sehr langes, ruhiges Brennen, starke Glutbildung und einen hohen Brennwert von 19,7 MJ/kg[1] auszeichnet. Aufgrund der starken Glutbildung eignet es sich gut zum Grillen. Die Wertschätzung der Rotbuche als Brennholz führte zu spezifischen, heute kaum mehr praktizierten Formen der Bewirtschaftung, bei denen die Bäume immer wieder zurückgeschnitten werden (Niederwaldbetrieb).

Bedeutung hat Buchenholz zudem als Ausgangsstoff für die Herstellung von Holzkohle, wo es das bevorzugte Holz ist.

Belege

Literatur

- D. Grosser, W. Teetz: *Buche.* In: Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. (Hrsg.): *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung).* Nr. 7, Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond – Absatzförderungfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn 1998, ISSN 0446-2114 [1].

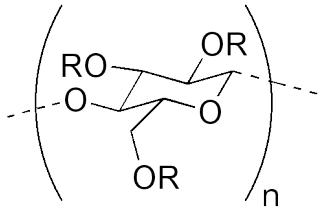
Referenzen

[1] Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann und Hermann Hofbauer (Hrsg.), 2009: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, 2. Auflage, S. 360, ISBN 9783540850946

[2] D. Grosser, W. Teetz: *Buche.* In: Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. (Hrsg.): *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung).* Nr. 7, Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond – Absatzförderungfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn 1998, ISSN 0446-2114 (http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=0446-2114).

- C -

Carboxymethylcellulosen

Strukturformel
 R = H or CH_2CO_2H
Allgemeines
Name: Carboxymethylcellulose
Andere Namen: • Carmellose • E 466
CAS-Nummer: • 9000-11-7 • 9004-32-4 (Natriumsalz)
Monomer
Monomer: carboxymethylierte Cellobiose
Summenformel: ?
Molare Masse: ?
Eigenschaften
Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.

Carboxymethylcellulosen (CMC) sind Celluloseether und als das Derivate der Cellulose, bei denen ein Teil der Hydroxylgruppen als Ether mit einer Carboxymethyl-Gruppe (–CH_2–COOH) verknüpft sind. Die Cellulose wird aus Nadel- und Laubhölzern gewonnen.

Herstellung

Cellulose oder Zellstoff wird gemahlen und mit Natronlauge in die reaktivere Alkalicellulose überführt. Die Veretherung erfolgt mit Chloressigsäure, die Alkalicellulose wird zur Carboxymethylcellulose umgesetzt. Dabei bleibt die Cellulose-Struktur erhalten.

Eigenschaften

In der Säureform sind Carboxymethylcellulosen unlöslich in Wasser. Sie sind dagegen gut in basischen Lösungen löslich.

Anwendung

Carboxymethylcellulose wird als Waschmittelzusatz, Bindemittel, Verdicker, Papierleimungsmittel, Schutzkolloid und Bohrhilfsmittel bei Erdölbohrungen eingesetzt. Sie ist in der EU als Lebensmittelzusatzstoff der Nummer *E 466* zugelassen. Cellulosederivate spielen neben den vielen technischen Anwendungen auch im Alltag eine wichtige Rolle. So werden sie im Lebensmittelbereich und vielen Kosmetikprodukten sowie pharmazeutischen Anwendungen eingesetzt.

Wirtschaftliche Bedeutung

Der Markt für Cellulosederivate (Cellulosether und Celluloseester) wird in Deutschland auf über 100.000 t geschätzt. Carboxymethylcellulosen sind davon der mengenmäßig bedeutendste Markt. [1] 1999 wurden in Deutschland allein 2200 t CMC in Waschmitteln verbraucht [2] Da Celluloseether Produkte aus Nachwachsenden Rohstoffen sind, gewinnen sie zunehmend an Bedeutung, z.B. als Textilhilfsmittel für umweltfreundliche Verfahren in der Textilindustrie.

Referenzen

[1] FNR [Fachagentur nachwachsende Rohstoffe] (2006): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe; Gülzow
[2] Industrieverband Körperpflege und Waschmittel e.V. (IKW), September 2000

Carnaubawachs

Carnaubawachs (lat. *Cera Carnauba*) ist ein Wachs, das aus den Blättern der Carnaubapflanze (*Copernicia cerifera* Mart), einer in Brasilien wachsenden Wachspalme, gewonnen wird. Es wird vor allem in der Lebensmittel- und in der Kosmetikindustrie sowie in Medikamenten verwendet.



Carnaubawachs

Eigenschaften

Carnaubawachs ist unverdaulich und wird bei Verzehr (auch durch Tiere) auf natürlichem Wege wieder ausgeschieden. Es gilt als gesundheitlich unbedenklich und ist frei von Duftstoffen, was es auch für Allergiker interessant macht. Carnaubawachs besitzt eine helle gelbliche bis grünliche Farbe und ist das härteste bekannte natürliche Wachs. Sein sehr hoher Schmelzpunkt von 80 bis 87 °C hält es auch in warmen Räumen und bei Sonneneinstrahlung stabil.


Carnaubawachs, teilweise geschmolzen

Produktion und wirtschaftliche Bedeutung

Brasilien ist das einzige Land mit bedeutender Carnaubaproduktion. Der größte Teil der Produktion wird zu Pulver verarbeitet. Die brasilianische Erzeugung von Carnaubawachs-Pulver betrug rund 19.000 t im Jahr 2007. Innerhalb Brasiliens findet die Hauptproduktion im Bundesstaat Piauí statt (69,3 %). An zweiter Stelle kommt der

Bundesstaat Ceará mit 28 %. Die Produktion von Carnaubawachs betrug dagegen nur rund 3.000 t, wobei in diesem Fall Ceará der größte Erzeuger war mit 81,8 % der Produktion, gefolgt vom Bundesstaat Rio Grande do Norte mit 16,8 %.[1]

Im semi-ariden Nordosten Brasiliens ist Carnaubawachs traditionell eines der wichtigsten Exportprodukte. Es haben sich jedoch bis heute keine intensiv bewirtschafteten Plantagen etabliert. Stattdessen werden natürliche Carnaubabestände in regelmäßigen Abständen beerntet (Extraktivismus). Dies liegt zum einen daran, dass eine neu angelegte Plantage etwa 20 Jahre bräuchte, bis sie eine angemessene Produktion liefert, so dass entsprechende Investitionen gescheut werden. Zum anderen liefert Carnauba gegenüber anderen Kulturen nur geringe Erlöse pro Hektar. Auf kargen Böden kommt Carnauba jedoch in hoher Dichte vor und aufgrund der relativ stabilen Weltmarktnachfrage nach Carnaubawachs war dieser Bestand zur Deckung der Nachfrage bisher ausreichend.[2]

Verwendung

Carnaubawachs findet vor allem in der Lebensmittel- und in der Kosmetikindustrie sowie in Medikamenten Verwendung, unter anderem als:

- natürliches Trenn- und Überzugsmittel als Lebensmittelzusatzstoff unter der Kennnummer E 903. Carnaubawachs kann in Lebensmitteln vorkommen, in denen auch Bienenwachs (E901) oder Schellack (E904) enthalten ist, z. B. als Überzugsmittel für Kaugummis oder Gummibären.
- als Überzugsmittel von Medikamenten
- zur Oberflächenbehandlung von Möbeln und Fliesen
- als Poliermittel für Bruyère-Pfeifenköpfe
- in Autopolituren
- als Bestandteil von Schuhcreme
- als Stabilisator in Kosmetik
- als Additiv in der Lackindustrie, hauptsächlich in Dispersionsform in organischen Lösemitteln oder als Emulsion in Wasser, aber auch als mikronisiertes Pulver. Hier wird es als Oberflächenadditiv eingesetzt, da es die Kratzbeständigkeit verbessert und den Reibungswiderstand der Oberfläche herabsetzt.
- In Kombination mit Bienenwachs als Didgeridoo-Mundstück

Weblinks

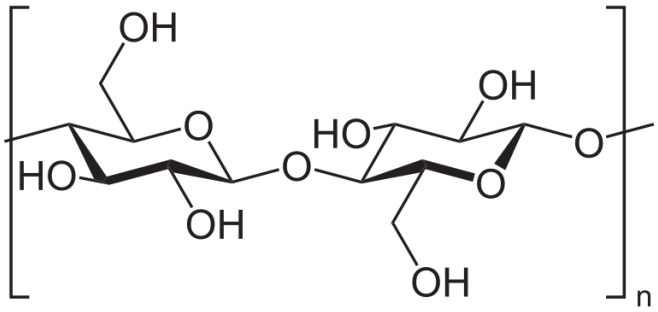
- Carnaubawachs [3] – Details bei Omikron Online

Referenzen

[1] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: *Production of vegetable extraction and silviculture 2007*, pdf (http://www.ibge.gov.br/english/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1270&id_pagina=1)

[2] S. Wunder: *Value determinants of plant extractivism in Brazil*, Texto para discussão No. 682, Institudo de Pesquisa Econômica Aplicada, 1999, ISSN 1415-4765, pdf (http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=204469)

Cellulose

Strukturformel	
	
Ein Glucosedimer, dargestellt in Sesselkonformation (Cellobiose-Einheit)	
Allgemeines	
Name	Cellulose
CAS-Nummer	9004-34-6
Kurzbeschreibung	weißes geruchloses Pulver [1]
Monomer	
Monomer	Cellobiose
Summenformel	$C_{12}H_{22}O_{11}$ (Polymer: $(C_6H_{10}O_5)_n + 2\ H + O$)
Molare Masse	324,3 $g \cdot mol^{-1}$ (Cellobioseeinheit)
Eigenschaften	
Aggregatzustand	fest [1]
Dichte	~1,5 g/cm^3 [1]
Löslichkeit	unlöslich in Wasser [1]
Sicherheitshinweise	
Gefahrstoffkennzeichnung [1]	
keine Gefahrensymbole	
R- und S-Sätze	R: *keine R-Sätze*
	S: *keine S-Sätze*
Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.	

Die **Cellulose** (häufig auch **Zellulose**) ist der Hauptbestandteil von pflanzlichen Zellwänden (Massenanteil etwa 50 %) und damit die häufigste organische Verbindung und auch das häufigste Polysaccharid (Vielfachzucker). Sie ist unverzweigt und besteht aus mehreren hundert bis zehntausend β-D-Glucose-Molekülen ((β-1,4-glykosidische Bindung) bzw. Cellobiose-Einheiten. Die Cellulosemoleküle lagern sich zu höheren Strukturen zusammen, die als reißfeste Fasern in Pflanzen häufig statische Funktionen haben. Cellulose ist bedeutend als Rohstoff zur Papierherstellung, aber auch in der chemischen Industrie und anderen Bereichen.

Chemie

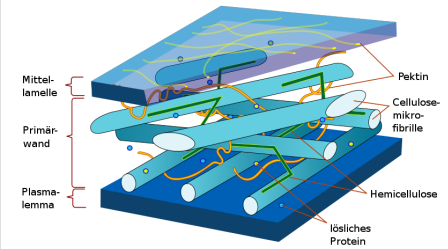
Cellulose ist ein Polymer (Polysaccharid = Vielfachzucker) aus dem Monomer Cellobiose, einem Disaccharid. Die Monomere sind durch β-1,4-glycosidische Bindungen miteinander verknüpft. Die Cellobiose selbst besteht aus zwei Molekülen des Monosaccharids (Einfachzuckers) Glucose. Hier liegt ebenfalls eine β-1,4-glycosidische Bindung vor, so dass häufig auch die Glucose als Monomer der Cellulose definiert wird. Die Glucosemoleküle sind in Cellulose jeweils um 180° zueinander verdreht. Dadurch erhält das Polymer, anders als z. B. das Glucose-Polymer Stärke, eine lineare Form. Die Verknüpfung der Monomere erfolgt durch eine Kondensationsreaktion, bei der zwei Hydroxylgruppen (-OH) ein Wassermolekül (H_2O) bilden und das verbleibende Sauerstoffatom die ringförmige Grundstruktur (Pyranring) der beiden Monomere verbindet. Neben dieser starken, kovalenten Bindung werden intramolekular zusätzlich die weniger starken Wasserstoffbrücken ausgebildet.[2] Häufig besteht ein Cellulosemolekül aus mehreren tausend Glucoseeinheiten.

Eigenschaften

Cellulose ist in Wasser und in den meisten organischen Lösungsmitteln unlöslich. Lösungsmittel wie Dimethylacetamid/Lithiumchlorid oder Dimethylsulfoxid/Tetrabutylammoniumfluorid sowie Ammoniak/Cu^{2+} (Schweizers Reagens) vermögen jedoch Cellulose zu lösen. Sie kann durch starke Säuren gespalten werden. Mit konzentrierten Säuren bei erhöhter Temperatur kann die Cellulose zu Glucose abgebaut werden, indem die glycosidischen Bindungen gespalten werden.

Der Chemiekonzern BASF hat ein Verfahren entwickelt, bei dem Cellulose in einer ionischen Flüssigkeit rein physikalisch gelöst wird. Diese Lösung kann für chemischen Synthesen verwendet werden, die bisher nicht möglich waren.[3]

Biosynthese



Schemadarstellung der Zellwand, Cellulosemikrofibrillen in hellblau

In den meisten Pflanzen hat Cellulose eine grundlegende Bedeutung als Struktursubstanz. Fasern in verholzenden und nichtverholzenden Pflanzen bestehen aus einer Vielzahl von Fibrillen, die wiederum aus zahlreichen, parallele zueinander angeordneten Cellulosemolekülen bestehen. Cellulose-Mikrofibrillen werden in der Plasmamembran einer Zelle in sogenannten Rosettenkomplexen synthetisiert. Diese enthalten das Enzym Cellulose-Synthase, welches β-D-Glucane (D-Glucosepolymere mit β-Bindung) herstellt und dabei das erste Kohlenstoff-Atom eines D-Glucosemoleküls mit dem vierten Kohlenstoff-Atom eines anderen D-Glucosemoleküls (bzw. eines Cellulosemoleküls) verknüpft. Die Herstellung der Glucankette erfordert zwei essentielle Schritte. Zuerst spaltet Saccharose-Synthase das Disaccharid (Zweifachzucker) Saccharose in seine Monomere Glucose und Fructose, um so Glucose bereitzustellen. Die Glucose wird nun durch die Cellulose-Synthase mit Uridindiphosphatglucose (UDP-G) verknüpft. In einem weiteren Schritt wird nun die gebundene Glucose auf den nichtreduzierten Zucker der wachsenden Glucankette übertragen. Anschließend wandert die Glucankette bzw. das Enzym weiter, sodass ein weiterer Syntheseschritt stattfinden kann.

Cellulose wird in der Plasmamembran gebildet und vernetzt sich untereinander zu fibrillären Strukturen. Anschließend erfolgt die räumliche Anordnung der Cellulosefibrillen durch Mikrotubuli.

Nutzung

Cellulose ist ein wichtiger Rohstoff für stoffliche Nutzungen, aber auch als natürlicher oder zugesetzter Bestandteil von Nahrungs- und Futtermitteln von Bedeutung. Da Cellulose zudem in fast allen Arten pflanzlicher Biomasse vorkommt, ist sie auch in vielen anderen Bereichen wichtig, wie z. B. in Holz (Lignocellulose) als Baustoff etc..

Rohstoff

Cellulose ist ein wichtiger Rohstoff zur Papierherstellung. Als Ausgangsrohstoff dient das lignin- und cellulosereiche Holz. Aus diesem wird Holzschliff hergestellt, das für Papier weniger hoher Qualität verwendet wird. Durch Entfernen des Ligninanteils kann Zellstoff verwendet werden, der hauptsächlich aus Cellulose besteht und für Papiere höherer Qualität verwendet wird.

In der Bekleidungsindustrie werden die hauptsächlich aus Cellulose bestehenden Pflanzenfasern für verschiedene Stoffe verwendet. Beispiele sind Baumwolle sowie Bastfasern des Lein (Flachs), die zu Leinen verarbeitet werden. Auch synthetische Cellulosefasern können hergestellt werden. Dazu wird eine Lösung von Cellulosemolekülen natürlicher Herkunft zu Fäden verarbeitet, der sogenannten Regeneratfaser (z. B. Viskose).

Ein weiteres Cellulose-Regenerat ist Cellophan (Cellulosehydrat), das in Form von Folien ein verbreitetes Verpackungsmaterial ist.

Unterschiedlichste Cellulosederivate finden vielfältige Anwendung, wie z. B. Methylcellulose, Celluloseacetat und Cellulosenitrat in der Bau-, Textil- und chemischen Industrie. Vom Cellulosenitrat abgleitet ist Zelluloid, der erste Thermoplast.

Da Cellulose in der Natur in großen Mengen verfügbar ist, wird versucht, diesen nachwachsenden Rohstoff z. B. auch als Biokraftstoff Cellulose-Ethanol verfügbar zu machen. Derzeit wird intensiv geforscht, um pflanzliche Biomasse, wie vor allem Holz und Stroh, dafür zu erschließen.

Cellulose kann auch als natürliches Dämmmaterial dienen.[4] Dazu wird sortiertes Zeitungspapier in einem mechanischen Prozess zunächst zerkleinert. Der gewonnene Cellulosedämmstoff kann fugenlos eingeblasen und für die Wärmedämmung und als Schallschutz verwendet werden. Das Verfahren wird in Kanada und den USA seit ca. 1940 angewendet. Vorteil von diesem Dämmstoff ist die umweltschonende Herstellung, bzw. die weitere Verwendung von sortiertem Zeitungspapier.

Im Labor kann es bei der Auftrennung von Stoffgemischen als Füllmaterial für die Säulenchromatographie verwendet werden.

Nahrung

Der Mensch besitzt keine Verdauungsenzyme für den Abbau von Cellulose. Mit Hilfe anaerober Bakterien der Dickdarmschleimhaut wird ein Teil der Cellulose in der Nahrung zu kurzkettigen Fettsäuren zu abgebaut. Über die Colonschleimhaut werden sie resorbiert und vom Stoffwechsel verwertet. Cellulose ist, neben Hemicellulosen, Pektin und Lignin, ein wichtiger pflanzlicher Ballaststoff der menschlichen Nahrung. Auch andere Lebewesen mit ähnlich aufgebautem Verdauungssystem (Monogastrier), wie beispielsweise Schweine, können Cellulose nicht effektiv verdauen. Meist besitzen sie nur die Enzyme, die α-1,4- oder α-1,6-glycosidische Bindungen, wie z. B. in Stärke, aufschließen können.

Wiederkäuer dagegen sind in der Lage, einen großen Teil der Cellulose und anderer Polysaccharide im Pansen zu verdauen. Auch hier sind Mikroorganismen beteiligt, die über die notwendigen Cellulasen verfügen und in einem anaeroben Prozess (Fermentation) die Cellulose zu Fettsäuren umsetzen. Ähnliches gilt für Pferde und Wassergeflügel, bei denen die Fermentation jedoch im Dickdarm stattfindet. Auch verschiedene andere Tiere, wie z. B. das Silberfischchen *(Lepisma)*, sind in der Lage, Cellulose zu verdauen.

Die meisten Bakterien und Pilze können jedoch über ihre Cellulasen die Cellulose nur bis zum Glucosedimer Cellobiose zersetzen. Einige wenige Protozoen und Pilze wie *Aspergillus*-, *Penicillium*- und *Fusarium*-Arten

besitzen zusätzlich die notwendigen *β-1,4-Glucosidasen* oder *Cellobiasen*, welche die Cellobiose in Glucose aufspalten.[5] Manche holzzersetzenden Pilze wie *Ceriporiopsis subvermispora* können Cellobiose auch über die *Cellobiosedehydrogenase* (*CDH*), ein extrazelluläres Hämoflavoenzym, oxidativ abbauen. Dabei entsteht statt der Glucose Gluconsäure.[6]

Lebensmittelzusatzstoff

Auch in der Nahrungsmittel- und Pharmaindustrie wird Cellulose bzw. werden Cellulosederivate verwendet, z. B. als Verdickungsmittel, Trägerstoff, Füllstoff, Trennmittel, Überzugsmittel und Schaummittel. Als Lebensmittelzusatzstoff trägt Cellulose die Bezeichnungen E 460 bis E 466:

E 460i – Mikrokristalline Cellulose

E 460ii – Cellulosepulver

E 461 – Methylcellulose

E 463 – Hydroxypropylcellulose

E 464 – Hydroxypropylmethylcellulose

E 465 – Ethylmethylcellulose

E 466 – Carboxymethylcellulose

Der Nachweis erfolgt mittels einer Iod-Zinkchloridlösung (Blaufärbung).

Siehe auch

- Dextrin
- Blinddarmkot

Literatur

Lincoln Taiz / Eduardo Zeiger: *Physiologie der Pflanzen*, Spektrum-Verlag 2000

Weblinks

- Prof. *Blumes Medienangebot: Nachweisreagenzien* [7], Absatz 13: Iod-Zinkchlorid-Lösung
- *x-plainmefood - Polysaccharide: Cellulose & Cellulosederivate* [8], Eigenschaften und Anwendungen von Cellulose und ihren Derivaten
- *Chemical synthesis of Cellulose* [9], von Fumiaki Nakatsubo, in *Wood and cellulosic chemistry*, Ausgabe 2, 2001, von David N.-S. Hon, Nobuo Shira (als Google-Book)

Referenzen

[1] Sicherheitsdatenblatt des Herstellers Carl-Roth *CELLULOSE für die Säulenchromatographie* (http://www.carl-roth.de/jsp/de-de/sdpdf/5873.PDF)

[2] Stryer, Lubert : *Biochemie*, Spektrum der Wissenschaft Verlag, 4. Auflage, korrigierter Nachdruck, Heidelberg, 1999, ISBN 3-86025-346-8, S.497

[3] Neue Zürcher Zeitung, Online-Ausgabe vom 21. Nov 2007: *Chemikalien aus der Bioraffinerie.* (http://www.nzz.ch/nachrichten/wissenschaft/chemikalien_aus_der_bioraffinerie_1.587429.html)

[4] Fraunhofer Informationszentrum Raum und Bau (Baufachinformation.de): *Organische Dämmstoffe* (http://www.baufachinformation.de/artikel.jsp?v=4090)

[5] M. Weidenbörner: *Lexikon der Lebensmittelmykologie.* Springer, 1999, ISBN 978-3-540-65241-0

[6] E. Duenhofen: *Fermentation, purification and characterization of cellobiose dehydrogenase from Ceriporiopsis subvermispora.* Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien, 2005

Cellulose-Ethanol

Cellulose-Ethanol	
Andere Namen	Bio-Ethanol zweiter Generation
Kurzbeschreibung	Ottokraftstoff für angepasste Motoren
Herkunft	biosynthetisch[1]
Charakteristische Bestandteile	Ethanol (wasserhaltig)
Eigenschaften	
Aggregatzustand	flüssig
Oktanzahl	ca. 104 ROZ
Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.	

Ethanol, der aus pflanzlichen Abfällen hergestellt wird, wird als **Cellulose-Ethanol** oder **Lignocellulose-Ethanol** bezeichnet. Wie der herkömmliche Ethanol-Kraftstoff ist er ein Ottokraftstoff, der durch Vergärung von pflanzlichen Abfallstoffen gewonnen werden kann (Bio-Ethanol). Die Herstellung von Lignocellulose-Ethanol-Prozessen befindet sich allerdings noch in der Entwicklung und wurde bislang nur im Testmaßstab realisiert.

Bioethanol aus pflanzlicher Biomasse

Bioethanol ist Alkohol, der durch Fermentation aus Zuckern mit Hilfe von Mikroorganismen gewonnen wird. Im Allgemeinen wird dazu die Hefe mit dem wissenschaftlichen Namen *Saccharomyces cerevisiae* eingesetzt. Die Zucker stammen aus Pflanzen, die durch den Prozess der Photosynthese die Energie des Sonnenlichtes ausnutzen, um aus Kohlendioxid (CO_2) ihre organischen Bestandteile aufzubauen. Die Zucker können in Form von Stärke (z. B. Getreidekorn, Kartoffel) oder Saccharose (z. B. Zuckerrübe, Zuckerrohr) gespeichert werden, oder sie werden in Strukturbestandteile (z. B. Cellulose) umgewandelt, die der Pflanze ihre Form und Stabilität verleihen. Gegenwärtig wird Bioethanol vornehmlich durch Vergärung von Saccharose (brasilianisches Zuckerrohr) oder Stärkehydrolysaten (Mais, Getreide) gewonnen. Nach Destillation und Trocknung kann das Ethanol als Kraftstoff eingesetzt werden. Diese Art der Herstellung erzeugt jedoch eine Konkurrenzsituation zum Lebensmittelmarkt. Darüber hinaus stehen die nur begrenzten Anbauflächen und die ökologischen Probleme bei der notwendigen Intensivierung der Landwirtschaft einer großflächigen Produktion von auf Stärke basierendem Ethanol entgegen. Angestrebt wird daher zunehmend die Nutzung von kostengünstigen pflanzlichen Reststoffen wie Stroh, Holzresten und Landschaftspflegegut oder von Energiepflanzen wie Rutenhirse[2] (auch Switchgrass, *Panicum virgatum*) oder *Miscanthus*, die keiner intensiven landwirtschaftlichen Bewirtschaftung bedürfen und auch auf minderwertigen Böden wachsen.

Zusammensetzung der pflanzlichen Biomasse

Pflanzenreste oder Energiepflanzen besitzen nur wenig Stärke oder Saccharose, sondern enthalten Zucker in Form von Lignocellulosen in ihren Zellwänden eingelagert. Lignocellulosen bestehen aus Cellulose, Hemicellulosen und dem nicht fermentierbaren Lignin („Holzstoff“). Cellulose ist wie die Stärke ein Polymer aus Zuckermolekülen mit sechs Kohlenstoffatomen, der Glucose, die zu langen Ketten miteinander verknüpft sind. Beide unterscheiden sich nur in der Art der Verknüpfungen. Hemicellulosen bestehen zum größten Teil aus Zuckern mit fünf Kohlenstoffatomen, Xylose und Arabinose, die in verzweigten Ketten aneinandergelagert werden.

Überblick über den Cellulose-Ethanol-Produktionsprozess

Um aus Lignocellulose Bioethanol herstellen zu können, müssen zunächst die Cellulose und die Hemicellulosen in die einzelnen Zucker gespalten werden. Das geschieht mit Säuren und speziellen Enzymen. Danach müssen die Hefen das Gemisch aus Glucose, Xylose und Arabinose zu Ethanol fermentieren. Die Fermentation, Destillation und Trocknung geschieht analog zum klassischen Ethanol-Kraftstoff-Prozess.

Vorbehandlung und Verzuckerung des Pflanzenmaterials

Trotz der großen Ähnlichkeiten in der Stärke- und Lignocellulose-Fermentation weist die letztere einige Schwierigkeiten auf. Zunächst muss die Lignocellulose verflüssigt und verzuckert werden. Dieses ist deutlich schwieriger als bei der Stärke, da die Zuckerketten nur schwer zugänglich sind. Das Pflanzenmaterial muss deshalb zunächst chemisch oder thermisch vorbehandelt werden. Erst dann kann die Verzuckerung mit Hilfe von speziellen Enzymen (Cellulasen, Xylanasen, Glucosidasen) geschehen, die analog den Amylasen bei der Stärke die Celluloseketten in Glucose spalten. Diese Enzyme werden aus Pilzen gewonnen, die in der Natur an der Verrottung von Pflanzenresten beteiligt sind. Da wesentlich mehr Enzyme als bei der Stärkeverzuckerung benötigt werden, führt dies zu erhöhten Kosten. Forschungsanstrengungen haben hier in den letzten Jahren jedoch zu einer deutlichen Kostenreduzierung geführt.

Vergärung des Zuckergemisches aus Hexosen und Pentosen

Der zweite wesentliche Unterschied liegt darin, dass in der Lignocellulose nicht wie in der Stärke nur Glucose als Zuckerbaustein vorhanden ist, sondern auch andere Zucker wie Xylose und Arabinose (= C5-Zucker oder Pentosen). Diese können jedoch von den zur Ethanolproduktion verwendeten Hefen nicht genutzt werden. Es müssen also speziell gezüchtete Hefen eingesetzt werden, die neben der Glucose auch die anderen Zucker zu Ethanol vergären können.

In der traditionellen Ethanol-Kraftstoff-Produktion werden ausschließlich Hefen vom Typ *Saccharomyces* eingesetzt. Das sind die gleichen Hefen, die auch zur Herstellung von Brot, Bier und Wein dienen. Hefen haben gegenüber Bakterien den Vorteil, dass ihre Handhabung in industriellen Prozessen schon seit Jahrhunderten etabliert ist. Darüber hinaus sind sie auch wesentlich widerstandsfähiger und robuster. Aus diesem Grunde bieten sie sich hervorragend für die Produktion von Ethanol aus Lignocellulose an. Ihr großer Nachteil ist jedoch, dass sie nur die C6-Zucker (=Hexosen) aber nicht die C5-Zucker (=Pentosen) vergären können.

Verschiedene Forschergruppen aus Europa und den USA haben in den letzten Jahren Hefestämme züchten können, die auch C5-Zucker zu Ethanol vergären. Aus dem Erbmaterial der Hefen lässt sich ablesen, dass diese früher einmal in der Lage war, C5-Zucker zu verwerten. Sie haben diese Eigenschaft allerdings im Laufe ihrer Evolution wieder verloren. Mit Hilfe moderner biologischer Verfahren gelang es, den Hefezellen diese Eigenschaft wieder zu verleihen bzw. sie sogar deutlich zu verbessern. Dazu wurde ihnen gezielt das entsprechende Erbmaterial aus anderen Hefen, Pilzen und Bakterien eingeschleust. Dabei sind Hefezellen entstanden, die sowohl C6- als auch C5-Zucker vergären können.

Im Falle des C5-Zuckers Xylose wurden dazu zwei verschiedene Strategien angewandt. Wissenschaftler der Universität Lund in Schweden nutzten einen Zweischritt-Mechanismus (Xylose-Reductase/Xylitol-Dehydrogenase aus der Hefe *Pichia stipitis*) aus, um Xylose in den Stoffwechsel der *Saccharomyces*-Hefen einzuschleusen. Wissenschaftler der Universität Frankfurt und solche der Technischen Universität Delft aus den Niederlanden konnten kürzlich aber auch erfolgreich Hefen züchten, die Xylose direkt in einem Schritt mit Hilfe des Enzyms Xylose-Isomerase in ihren Stoffwechsel integrieren und zu Ethanol vergären können. Dabei nutzen die Delfter Wissenschaftler eine eukaryotische Xylose-Isomerase wohingegen die Frankfurter Wissenschaftler eine bakterielle Xylose-Isomerase verwenden, die den Vorteil hat, weniger stark durch den Inhibitor Xylitol gehemmt zu werden.

Im Falle des C5-Zuckers Arabinose stellte sich der häufig in Pilzen zu findende 5-stufige Abbauweg in den *Saccharomyces*-Hefen als wenig geeignet heraus. Dagegen konnte an der Universität Frankfurt erfolgreich ein 3-stufiger Stoffwechselweg etabliert werden, der sonst nur in Bakterien zu finden ist. Integrierte man diesen Stoffwechselweg in die Hefen und zwang sie dann mehrere Monate lang, Arabinose als einzige Energiequelle zu nutzen, dann entwickelten sich tatsächlich Hefestämme, die neben der Glucose auch Arabinose vergären konnten. Zusammen mit den Forschern der Universität Lund wurde dann eine Hefe gezüchtet, die alle Zucker, also Glucose, Xylose und Arabinose zu Ethanol vergären kann.

Fermentationsinhibitoren

Ein dritter Unterschied zwischen dem klassischen Ethanol-Kraftstoff-Prozess und Cellulose-Ethanol sind toxische Stoffe, die bei der chemischen und thermischen Vorbehandlung des Pflanzenmaterials entstehen (z. B. Furfurale). Diese Inhibitoren schädigen die bei der Fermentation eingesetzten Mikroorganismen. Sie müssen deshalb vor der Fermentation entfernt werden, was jedoch zusätzliche Kosten verursacht. Ein Ausweg ist es, Inhibitor-tolerante Hefen einzusetzen.

Logistik

Ein vierter wesentlicher Unterschied ist das niedrigere Raumgewicht von Pflanzenabfällen, d. h. die niedrigere Energiedichte gegenüber Getreide- oder Maiskörnern. Dieses bedeutet erhöhte Transportkosten und einen erhöhten Lagerraumbedarf. Dieses Problem könnte jedoch durch effizientere Presstechniken, den Transport von bereits zerkleinertem Material und kleineren, dezentralen Produktionsanlagen gelöst werden.

Wirtschaftliche Betrachtung

Die Umsetzung aller Zucker kann die Wirtschaftlichkeit der Vergärung von pflanzlicher Biomasse erheblich verbessern. Stroh enthält etwa 32 % Glucose, 19 % Xylose und 2,4% Arabinose. In 1 t Stroh sind also 320 kg Glucose enthalten. Bei einer vollständigen Vergärung entstehen daraus etwa 160 kg Ethanol, was einem Volumen von 200 l entspricht. Die vollständige Vergärung des Pentosezuckers Xylose ergibt entsprechend zusätzliche 124 l Ethanol pro Tonne Stroh.

Prozessentwicklung und Implementierung

Als nächstem Schritt gilt es nun, die im Labor erzielten Erfolge für den industriellen Einsatz weiterzuentwickeln. Die verschiedenen Schritte des Prozesses müssen in industrielle Maßstäbe überführt und implementiert werden. Ebenso müssen die entwickelten Hefestämme an die industriellen Bedingungen adaptiert werden. Die im Laboralltag benutzten Hefestämme sind zwar sehr gut geeignet, die verschiedenen Vergärungsstrategien zu erforschen, sie sind jedoch meist für industrielle Anwendungen weniger brauchbar. Zum einen sind die Laborhefen nicht stabil genug und verlieren ihre erworbenen Fähigkeiten sehr schnell wieder, zum anderen sind sie zu empfindlich gegenüber toxischen Substanzen (Furfuralen), die bei der chemischen Vorbehandlung des Pflanzenmaterials entstehen.

Ausblick

Alle wesentlichen Voraussetzungen für einen Lignocellulose-Ethanol-Prozess sind vorhanden. Nun gilt es nur noch, diese Forschungsergebnisse in die grosstechnische Produktion umzusetzen. Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) hat in einer in 2009 publizierten Studie (*Biokraftstoffe - Eine vergleichende Analyse*) die Kosten für Lignocellulose-Ethanol aus Abfallstroh für 2020 auf etwa 24 €/ GJ geschätzt, während dieser Wert 2007 noch bei 30 €/ GJ lag. Dies entspricht bei einem Brennwert von 23,5 MJ/l für Bioethanol also etwa 56 cent/l (2020) bzw. etwa 70 cent/l (2007). Damit liegen die Kosten aber über den Kosten für Stärke-Ethanol. Vor diesem Hintergrund kommt die Studie zur Einschätzung, dass Bioethanol aus Lignocellulose ohne Förderung voraussichtlich nicht

wettbewerbsfähig ist.[3] Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die wahren Kosten erst eine kommerziell betriebene Anlage zeigen wird. Die größten Kosten werden immer noch durch die Enzyme zur Celluloseverzuckerung verursacht. Enzymhersteller verweisen jedoch darauf, dass es bereits kostengünstige Prozesse für effektivere Enzyme gibt, es aber nicht lohnt, sie zu produzieren, weil keine Nachfrage da ist. Erst wenn die ersten kommerziellen Anlagen laufen, wird die Nachfrage steigen und die Enzyme werden billiger werden. Erst dann wird man auch sehen, wie sich die neu gezüchteten Hefen unter diesen Bedingungen verhalten. Auch wenn vielleicht die C5-Zuckervergärung zunächst noch nicht optimal verläuft, so können alle Hefen die C6-Zucker bereits vollständig vergären. Und sobald verbesserte, kostengünstige Enzyme und Hefen da sind, lassen sich diese in jeder Anlage jederzeit problemlos austauschen. In den Vereinigten Staaten von Amerika gibt es bereits einige Firmen, die kurz vor der Kommerzialisierung von Cellulose-Ethanol-Prozessen stehen.[4] Langfristig wird jedoch auch Cellulose-Ethanol nur eine Übergangslösung darstellen. Die Biokraftstoffe der 3. Generation, wie z.B. Biobutanol zeigen deutlich bessere Eigenschaftem, allerdings aber auch nur dann, wenn sie aus Lignocellulose gewonnen werden.[5]

Weblinks

- Pentalco - Initiative zur Förderung von Lignocellulose-Ethanol [6]
- Iogen, Kanada - Pionier auf dem Gebiet der Cellulose-Ethanol Entwicklung [7]
- Wissenschaftliche Beschreibung zur Konstruktion eines C5-Zucker vergärenden Hefestammes [8]
- FAZ-Artikel zum Thema Cellulose-Ethanol [9]
- Vom Abfall zum Kraftstoff (pdf) [10] (1,01 MB)

Referenzen

[1] motorlexikon.de: *Biokraftstoff* (http://motorlexikon.de/?I=9391&R=E)

[2] M. R. Schmer, K. P. Vogel, R. B. Mitchell, and R. K. Perrin: *Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass*. In: *PNAS*. 105, Nr. 2, 2008, S. 464-469. doi: 10.1073/pnas.0704767105 (http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0704767105). und deutsche Zusammenfassung (http://www.wissenschaft.de/wissenschaft/news/287094.html)

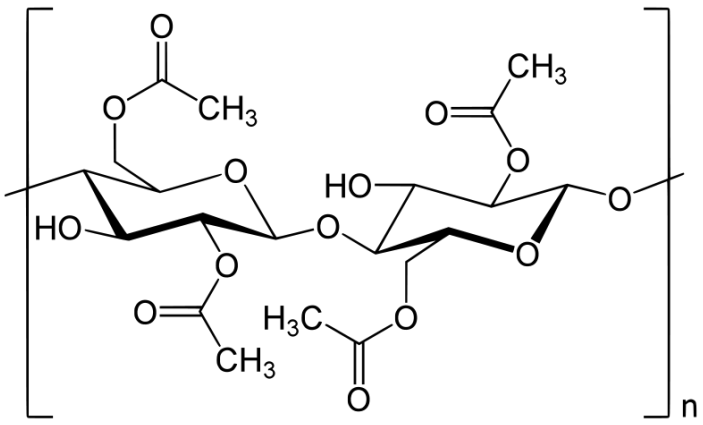
[3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: *Biokraftstoffe - Eine vergleichende Analyse* (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_236-biokraftstoffvergleich_2009.pdf), Gülzow 2009, S. 64/65, abgerufen am 5. März 2010

[4] http://www.investincellulosicethanol.com/

[5] www.spiegel.de: *Mit Superhefe Treibstoff brauen* (http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,572186,00.html), vom 18. August 2008, abgerufen am 5. März 2010

Celluloseacetat

Celluloseacetat (Kurzzeichen *Celluoseacetat* **CA** bzw. *Cellulosetriacetat* **CTA**), ursprünglicher Handelsname *Lonarit*, umgangssprachlich auch **Acetylzellulose**, ist ein thermoplastischer Kunststoff, der aus Cellulose in einer Reaktion mit Essigsäure gewonnen wird.



Strukturformel von Celluloseacetat, dem Sekundäracetat. Die chemische Formel zeigt einen Ausschnitt des Celluloseacetatmoleküls mit zwei acetylierten Hydroxylgruppen pro Glukosemolekül.

Herstellung

Cellulose, meist in Form von Zellstoff vorliegend, wird mit Eisessig und mit Essigsäureanhydrid (Derivatisierungsreagenz) zunächst vollständig zum Triacetat verestert.[1] Hierbei dient Schwefelsäure als Katalysator und Methylenchlorid als Lösungsmittel. Dabei sind alle drei OH-Gruppen jedes Glucosebausteins der Cellulose mit Essigsäure verestert. Das Triacetat wird auch **Primäracetat** genannt.

Zur Herstellung von CA macht man die Veresterung einiger Hydroxylgruppen durch partielle Hydrolyse wieder rückgängig, so dass im Durchschnitt noch 2 bis 2,5 Hydroxylgruppen pro Cellubiosebaustein verestert bleiben (vgl. Bild). Dieses wird als 2½-Acetat bzw. **Sekundäracetat** bezeichnet. Durch Neutralisieren mit Laugen wird die Hydrolyse gestoppt und das Methylenchlorid durch Destillation entfernt.[2]

Eigenschaften

Celluloseacetat mit üblichen Substitutionsgraden ist löslich in Aceton, das Primäracetat hingegen nicht. Es lässt sich, anders als die reinen Zellulosefasern wie Baumwolle, Viskose oder Lyocell, im Spritzguss verarbeiten. Es ist transparent, schwer entflammbar und leicht zu färben. Die spinntechnisch bedingt sehr glatte Faser hat einen gelappten Querschnitt und weist dadurch längsgerichtete Linien auf. Die ansonsten sehr glatte Faser hat einen seidenähnlichen Glanz. Bei 180 bis 200 °C ist Acetat thermoplastisch formbar. Schon bei Temperaturen über 85 °C leidet der seidenähnliche Glanz.

Die Trockenfestigkeit von Acetat liegt mit 10–16 cN/tex unter der von Viskose oder Cupro. Die Nassfestigkeit beträgt etwa 65–75 % der Trockenfestigkeit. Die Acetatfaser ist um ca. 30% dehnbar. Da auch die reversible Dehnung relativ hoch ist, neigen Textilien aus Acetat weniger zum Knittern als z. B. Viskose.

Die Feuchtigkeitsaufnahme von Acetat ist mit ca. 6 % eher gering. Die Faser quillt wenig und trocknet schnell. Aufgrund der geringen Feuchtigkeitsaufnahme neigen Acetat-Textilien zur elektrostatischen Aufladung, obwohl der Kunststoff selbst wenig zur Aufladung neigt.

Die Fasern verbrennen mit leicht bläulicher Flamme und bilden Tropfen.

Verwendung

Hauptsächlich wird Celluloseacetat zu Textilfasern und Geweben verarbeitet. Textilien aus Acetatfaser sehen sehr ähnlich wie Naturseide (Kunstseide) aus und fühlen sich fast ebenso weich an. Sie sind in der Regel knitterarm und pflegeleicht. Wegen der geringen Quellung und Wasseraufnahme ist es für Regenmantel- und Schirmstoffe geeignet. Weiterhin werden daraus Blusen-, Hemden-, Kleider-, Futter-, Krawattenstoffe und Damenunterwäsche hergestellt.



Kosmetikstift aus Celluloseacetat Biograde

In den optischen Schichten von Computerflachbildschirmen, Handydisplays und anderen LC-Displays werden Folien aus Celluloseacetat - hier auch als *Triacetat* oder *TAC-Film* bekannt - verarbeitet. Ebenso besteht in den meisten Fällen die Ummantelung von Schnürsenkelenden aus Celluloseacetat. Auch für Kunststoffbrillengestelle wird hauptsächlich Acetat verarbeitet.

Aufgrund seiner Schlagzähigkeit spielt Celluloseacetat in der Werkzeugindustrie seit Jahrzehnten ein bedeutende Rolle bei Schraubendrehergriffen, wenngleich in den letzten Jahren andere Materialien wie Polypropylen, Polyamid und thermoplastische Elastomere das Celluloseacetat immer mehr verdrängen.

Celluloseacetat dient z. B. als Dielektrikum bei Metall-Lack-Kondensatoren.


Transparente Würfel aus Celluloseacetat.

In den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts löste Cellulose-Triacetat das Zelluloid als Schichtträger für Filmmaterialien ab, da es schwerer entflammbar ist im Vergleich zur Nitrozellulose des Zelluloids. Filme mit einem Schichtträger aus Acetylzellulose trugen daher bis vor wenigen Jahren die Bezeichnung „Safety Film“ oder „Sicherheitsfilm“. Heute ist der größte Anwendungsbereich der Acetatfaser die Herstellung von Zigarettenfiltern.

Pflege

Durch die chemische Modifikation ist Celluloseacetat gegenüber mikrobiellen Abbau beständiger als Cellulose. Hierbei hängt die Beständigkeit vom Substitutionsgrad der Cellulosefasern ab.[3] Schimmelpilze, Bakterien und auch Termiten bauen Celluloseacetat zu Kohlenstoffdioxid, Wasser, Sauerstoff und Humus ab. Die Lichtbeständigkeit ist gut, und dank der Unempfindlichkeit gegenüber Mikroorganismen ist Acetat auch gegenüber Witterungseinflüssen gut geschützt.

Sowohl gegenüber Säuren – hier insbesondere anorganische Säuren wie Schwefelsäure – wie auch gegenüber Laugen, ist die Faser sehr empfindlich. Gegenüber Oxidationsmitteln, wie sie in der Textilveredlung eingesetzt werden, ist die Faser beständig, nicht aber gegenüber den organischen Lösungsmitteln bei der chemischen Reinigung. Insbesondere ist Vorsicht bei Fleckenwasser geboten.


Kugelschreiber aus Celluloseacetat Biograde

Aufgrund der Laugenempfindlichkeit sollten keine stark alkalischen Waschmittel eingesetzt werden. Die glatte Struktur der Faser, und damit die verringerte Schmutzaufnahme, machen eine Kochwäsche überflüssig. Um den seidenähnlichen Glanz nicht zu zerstören, sollte Acetat nur mäßig warm (Stufe 1) im halbfeuchtem Zustand auf der Rück- bzw. Innenseite gebügelt werden.

Weblinks

- Celluloseacetat [4] bei ChemPage.de
- http://www.fkur.com/media-info/fachartikel/bioplastics-magazine-52008.html

Referenzen

[1] Wolfgang Kaiser: *Kunststoffchemie für Ingenieure*. Hanser Verlag, 2. Auflage 2007; ISBN 3446413251; S. 336
[2] C. Bonten *Generation Zero - Non-food stocks bioplastics were the very beginning!* bioplastics magazine 5, 2008
[3] Gottfried W. Ehrenstein und Sonja Pongratz: *Beständigkeit von Kunststoffen*. Hanser Fachbuch 2005, ISBN 3446218513; S. 853–854

Celluloseacetobutyrat

Celluloseacetobutyrat (CAB) ist ein Biopolymer, das auf Cellulose basiert. Es ist wie Celluloseacetat und Cellulosepropionat ein Ester der Cellulose mit aliphatischen Carbonsäuren. Während bei Celluloseacetat die Veresterung nur durch Essigsäure stattfindet, beträgt hier der Essigsäureanteil ein Drittel, zwei Drittel stellt gebundene Buttersäure dar. Als industriell gefertigter Kunststoff ist Celluloseacetobutyrat seit 1946 im Handel.

Eigenschaften

Celluloseacetobutyrat hat eine im Vergleich zu Celluloseacetat und Cellulosepropionat eine relativ niedrige Dichte sowie eine hohe Festigkeit, Härte und Zähigkeit. Es ist formstabil im Temperaturbereich von -45 °C bis 115 °C und besitzt eine hohe Temperatur- und UV-beständigkeit. Ebenfalls im Vergleich zu den den genannten Kunststoffen ist die Wasseraufnahme gering.

Der Kunststoff wird für die Produktion vor allem als staubfreies Granulat verwendet, das sowohl zum Extrudieren als auch zum Spritzgießen geeignet ist. Spritzgussmasse kann zudem durch Glasfasern verstärkt sein. Die Farbe des Kunststoffes kann sowohl gedeckt in allen Farben als auch transparent oder tranluzent durchscheinend sein. Weitere Lieferformen sind Beschichtungspulver sowie Halbzeuge in Form von Rohren, Tafeln, Folien und Profilen.

Anwendungen

Das Anwendungsspektrum des Celluloseacetobutyrats ist sehr groß und umfasst fast alle Bereiche, in denen Kunststoffe eingesetzt werden. Es reicht von Griffbeschichtungen über Klarsichtkuppeln, Spielzeuge, Kabelrohre, explosionssichere Scheiben, Fahrzeugleuchten, Automobilzubehör, Kontaktlinsen und Büromaschinen bis hin zu Folien und Verpackungsmaterial. Bekannte Handelsnamen sind Cellidor, Tenite und Tenex.

Literatur

- P. Eyerer, P. Elsner, T. Hirth (Hrsg.): *Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften.* 6. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg 2005; Seiten 1474-1477. ISBN 3-540-21410-0

Celluloseester

Celluloseester sind Derivate der Cellulose, die durch Veresterung der Hydroxygruppen mit Säuren entstehen. Durch die Veränderung der funktionellen Gruppen im Molekül ist es möglich, die Eigenschaften der Cellulose zu verändern. Die Cellulose hierfür wird in einem thermokatalytischen Verfahren aus Holz gewonnen. Technisch bedeutsam sind heute insbesondere die Cellulosenitrate und Celluloseacetate.



Transparente Würfel aus Celluloseacetat.

Historisch begann das Zeitalter der Kunststoffe, damals noch in Form veränderter Naturprodukte, mit Cellulosenitrat. Cellulosenitrat als das älteste technische Cellulosederivat stellt die Grundlage von Celluloid dar, das durch Verkneten dieses Cellulosederivats mit Campher als Weichmacher und Ethanol hergestellt wurde.[1]



Kleber auf Cellulosenitratbasis

Eigenschaften

Durch die Derivatisierung von Cellulose kann man Produkte erzeugen, die völlig andere Eigenschaften haben als das Ausgangsprodukt. Eine wichtige Eigenschaft ist die Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln. Diese hängt stark vom Grad der Veresterung (wie viele Hydroxygruppen verestert werden) ab. Auch andere Eigenschaften der Celluloseester sind abhängig von der Art der Substituenten, der Anzahl der substituierten Hydroxylgruppen und deren Verteilung. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Cellulosenitraten und Celluloseacetaten ist, dass Cellulosenitrate zur Selbstentzündung und Explosion neigen und ohne weitere Zufuhr von Sauerstoff verbrennen, die Celluloseacetate hingegen schwer entflammbar sind.

Herstellung

Die Cellulose wird durch Schreddern und Mahlen mechanisch aufgeschlossen und danach mit Säure (Salpetersäure oder Essigsäure) versetzt, ggf. unter Katalyse von Schwefelsäure oder anderen Katalysatoren. Der Grad der Veresterung wird u.a. durch die Konzentration der Säure bestimmt.

Anwendung

Celluloseacetate werden in Form von Fasern, Folien, Granulaten oder Lösungen verarbeitet. Typische Anwendungsgebiete sind Textilien, Zigarettenfilter, Lacke und technische Kunststoffe. Ein großer Teil der Cellulosenitrate wird für die Herstellung von Explosivstoffen verwendet. Darüber hinaus werden sie für Lacke und Membranen verwendet und in Spezialprodukten wie Kämmen oder Haarschmuck verwendet.

Wirtschaftliche Bedeutung

Der Markt für Cellulosederivate (Cellulosester und Celluloseether) wird in Deutschland auf über 100.000 t geschätzt. Heute sind die wichtigsten Märkte für Cellulosenitrat die Explosivstoffe und für Celluloseacetat die Zigarettenfilter. Als innovative Biowerkstoffe gewinnen Celluloseester in unterschiedlichen Anwendungen zunehmend an Bedeutung.

Literatur

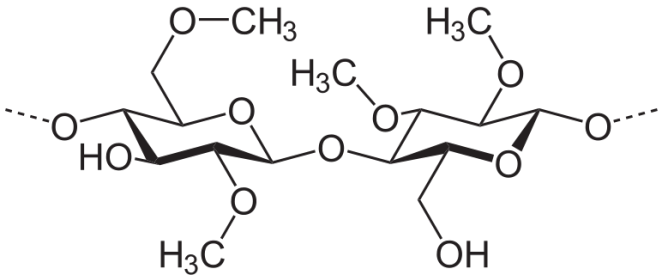
- P. Eyerer, P. Elsner, T. Hirth (Hrsg.): *Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften.* 6. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg 2005, ISBN 3540214100, S. 1443–1482.
- Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths: *Technische Biopolymere.* Hanser-Verlag, München 2009, ISBN 978-3446416833.
- nova-Institut GmbH [Hrsg.): *BIB 2010 - Branchenführer Innovative Biowerkstoffe 2010*, ISBN 978-3-9812027-2-4 ([2] online).

Referenzen

[1] H.-P. Fink und S. Fischer: Celluloseverarbeitung – umweltfreundliche Technologien auf dem Vormarsch. Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung.

Celluloseether

Celluloseether sind Cellulose-Derivate der Cellulose. Durch die partielle oder vollständige Substitution der Wasserstoff-Atome in den Hydroxy-Gruppen der Cellulose entstehen verschiedene Cellulosether wie Carboxymethylcellulose (CMC), Methylcellulose (MC), Ethylcellulose (EC) oder Hydroxyethylencellulose (HEC). Diese Reaktion wird als *Veretherung* bezeichnet. Die Cellulose wird in einem thermokatalytischen Verfahren aus Holz gewonnen.



Strukturformel Methylzellulose

Eigenschaften

Die Eigenschaften der Celluloseether sind abhängig von der Art des Substituenten, der Anzahl der substituierten Hydroxygruppen und deren Verteilung. So sind Celluloseether je nach Art und Anzahl der eingeführten Ether-Gruppen löslich in Wasser und/oder organischen Lösungsmitteln. Einige Celluloseether (z. B. Methyl- und Hydroxypropylcellulosen) zeigen umgekehrte Löslichkeit in Wasser, d. h. sie können durch Erwärmen aus ihren wässrigen Lösungen ausgeflockt werden. Celluloseether aus der Umsetzung von Cellulose mit mehr als einem Veretherungsmittel werden als Cellulose-Mischether bezeichnet z. B.

- Methylhydroxyethyl-
- Methylhydroxypropyl-
- Methylhydroxybutyl-
- Ethylhydroxyethyl-
- Carboxymethylhydroxyethyl-Cellulosen

Für die einzelnen Anwendungsbereiche werden verschiedenen Qualitäten mit unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen hergestellt.

Herstellung

Celluloseether werden seit ca. 70 Jahren industriell hergestellt, wobei sich wasserlösliche Produkte durchgesetzt haben. Ziel der Veretherung ist es, hydrophile Substituenten in den Verbund von Wasserstoffbrücken einzubauen. Die Herstellungsverfahren sind auf die unterschiedlichen Eigenschaften der Celluloseether optimiert, beinhalten jedoch bei den Basisschritten folgende Gemeinsamkeiten:

- Zellstoffmahlung
- Aktivierung der Cellulose mit Natronlauge und Bildung von Alkalicellulose
- Veretherung mit Halogenkohlenwasserstoffen (Halogenalkane, Arylalkylhalogenide) oder Epoxiden wie Ethylenoxid[1]
- Neutralisation und Entfernung von Nebenprodukten
- Aufarbeitung

Alle industriell durchgeführten Veretherungsreaktionen an Cellulose werden in heterogener Reaktion durchgeführt, d.h. es erfolgt keine Auflösung der Cellulose vor oder im Verlauf der Reaktion.[2] Die Cellulose wird aus Nadel- und Laubhölzern gewonnen.

Anwendung

Die einzelnen Celluloseether werden in einem breiten Typenspektrum angeboten, die sich durch die Variablen Substitutionsgrad, Polymerisationsgrad und Lösungsviskosität ergeben.



Tapetenkleister

Sie werden eingesetzt u. a. als

- potentielle Filmbildner
- Klebstoffe (u. a. Tapetenkleister)
- Emulgatoren
- Schutzkolloide
- Stabilisatoren
- Waschhilfsmittel (dort als Schmutzträger und Vergrauungsinhibitoren) und Haaravivagemittel
- Verdickungsmittel für Lösungen auf Basis von Wasser und organischen Lösungsmitteln

Sie finden vielseitige Anwendung in solch unterschiedlichen Einsatzgebieten wie

- Wasch- und Reinigungsmittel
- Kosmetik
- Pharmazie
- Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie
- Kleb-, Bau- und Anstrichstoffe
- Textil-, Papier- und Kabelindustrie
- Bergbau und Erdölförderung
- Landwirtschaft
- Polymerisationshilfsmittel

Wirtschaftliche Bedeutung

Der Markt für Cellulosederivate (Cellulosether und Celluloseester) wird in Deutschland auf über 100.000 t geschätzt. Mengenmäßig bedeutendster Celluloseether ist Carboxymethylcellulose, gefolgt von Methylcellulose und Hydroxyethylcellulose. Wichtigster Anwendungsbereich für Celluloseether sind die Bauhilfsstoffe zur gezielten Einstellung von Verarbeitungseigenschaften für Putz, Mörtel und Fliesenkleber. [3] Da Celluloseether Produkte aus Nachwachsenden Rohstoffen sind, gewinnen sie an Bedeutung für umweltfreundliche Verfahren, z.B. als Textilhilfsmittel in der Textilindustrie.

Literatur

- Ullmann (4.) 9, 192–212
- Schriftenreihe des Fonds der Chemischen Industrie, Heft 24, S. 71–76
- Römpp Ausgabe 1994

Referenzen

[1] Wissenschaft-Online Lexika: *Eintrag zu Celluloseether im Lexikon der Chemie,* abgerufen am 17. März 2010

[2] H.-P. Fink und S. Fischer: *Celluloseverarbeitung – umweltfreundliche Technologien auf dem Vormarsch. (PDF, 2MB)* (http://www.aulis.de/files/downloads/public/praxis-der-naturwissenschaften-chemie-in-der-schule/07_2005/celluloseverarbeitung_o_e.pdf) Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, Vol. 54 (2005), No. 7, S. 18–25

[3] FNR [Fachagentur nachwachsende Rohstoffe] (2006): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe; Gülzow

Cellulosehydrat

Cellulosehydrat oder auch **Zellglas**, bekannt unter dem Namen **Cellophan**, ist einer der ältesten Kunststoffe für Verpackungen. Es handelt sich um eine dünne, farblose und transparente Folie aus einem Celluloseregenerat ähnlich der Viscose mit dem charakteristischen Cellophangriff und Knistereffekt.



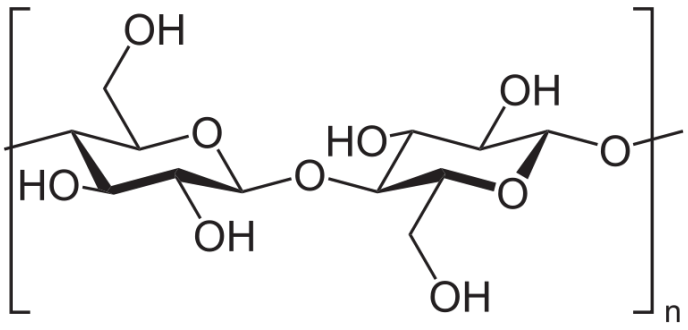
Bedruckte Cellophantüte und klare Cellophanverpackung

Bis heute werden Zigaretten und Tabakwaren, Süßwaren, Backwaren, Käse, Fleischwaren und manche andere Lebensmittel, aber auch bestimmte Papierwaren, Medikamente, Bekleidung mit Vorzug in Zellglas statt in Kunststofffolie verpackt. Zellglas ist undurchlässig für Flüssigkeiten, lässt jedoch Wasserdampf passieren. Dadurch verhindert eine entsprechende Verpackung, dass sich im Inneren Kondenswasser bildet. Um die Wasserdampfdurchlässigkeit des Zellglases zu senken, wird es nicht selten noch mit anderen Kunststoffen beschichtet. Zwar gewinnt damit die Zellglasfolie zusätzliche gewünschte Eigenschaften, verliert aber an Umweltverträglichkeit. Denn reines Zellglas kann man sowohl kompostieren als auch zum Altpapier geben oder verbrennen. Die beschichtete Folie ist nicht mehr vollständig biologisch abbaubar und sollte auch nicht mehr mit Altpapier entsorgt werden (z. B. Briefumschläge mit Fenster).

Geschichte

Zellglas wurde 1908 von dem Schweizer Jacques E. Brandenberger erfunden und unter dem Markennamen *Cellophan* auf den Markt gebracht. Der Name ist vom Rohstoff Cellulose und dem altgriechischen Wort diaphanes (durchsichtig) abgeleitet. Bis in die 1950er-Jahre war Zellglas praktisch die einzige Verpackungsfolie. Die Tatsache, dass die verpackte Ware sichtbar blieb, verhalf dem Pionierkunststoff zum großen Erfolg. Erst nach dem zweiten Weltkrieg folgte eine Reihe von Kunststofffolien, deren Eigenschaften noch wesentlich marktgerechter für ihre jeweilige Aufgabe zu bestimmen waren, darunter insbesondere Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polystyrol (PS).

Herstellung



Celluloseregenerate wie das Cellulosehydrat entsprechen in ihrem Aufbau der Cellulose

Zur Herstellung des Cellulosehydrats wird Chemiezellstoff aus der sogenannten Holzpulpe, einem Cellulosebrei, in Natronlauge (NaOH) und Schwefelkohlenstoff (CS_2) aufgelöst. Die dabei erhaltene sogenannte Viskose wird mittels Filterpressen gereinigt und durch eine Spaltdüse in ein Fällbad aus verdünnter Schwefelsäure gegossen, wobei die Cellulose ausfällt. Die entstandene Folie wird im weiteren Verlauf noch in mehreren Bädern gewässert, um Reste des im Fällbad gebildeten Glaubersalzes (Natriumsulfat) zu entfernen. Nach Durchlaufen des letzten Bades, dem Glycerin als Weichmacher zugegeben ist, wird die Folie auf beheizten Walzen getrocknet und anschließend aufgewickelt.

Die Herstellungskosten von Zellglas sind relativ hoch; nur wenige Betriebe stellen es heute noch her. Die Folie kann bedruckt oder auch lackiert werden, sie lässt sich kleben und auch thermisch verbinden (schweißen). Zellglas ist weder besonders plastisch noch elastisch verformbar und nur in geringen Maßen dehnbar. Jedoch ist Zellglas ein Kunststoff, der voll aus nachwachsenden statt fossilen Rohstoffen hergestellt werden kann.

Verwendung

In der Verpackungsindustrie wird für bestimmte Waren und Güter - wegen der besonderen Mikroklimaeigenschaften - das teurere Zellglas den billigeren Plastikfolien vorgezogen. Auch in der Elektroindustrie wird Zellglas als Isolation (Kondensatoren, Kabel, Spulen) nach wie vor verwendet.

Seit einiger Zeit findet man auch durchsichtiges Zigarettenpapier, das mit dem gleichen Verfahren wie Cellophan hergestellt wird. In den Anfängen des Hängegleiters wurde Anfang der 60er Jahre Cellophan für die Flügelbespannung benutzt. Bis in die 1970er Jahre bestand auch Tesafilm aus Zellglas. Weiterhin wird Cellophan auch als Membranwerkstoff für Dialysatoren verwendet.

Ökologie und Umwelt

Die Herstellung von Zellglas erfordert viele Ressourcen wie Holz, Wasser, Energie, Luft. Auch die Entsorgung von *beschichtetem* Zellglas ist nicht ganz problemlos, da es nicht wie unbeschichtetes Zellglas kompostierbar ist. Einzig und allein die Verwendung ist bisher ohne Probleme, wobei die Anforderungen an die Herstellung von (beschichtetem) Zellglas in der Bedarfsgegenständeverordnung streng reglementiert sind.

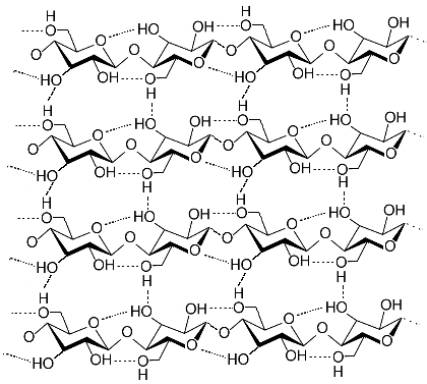
Literatur

- Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths: *Technische Biopolymere.* Hanser-Verlag, München 2009; S. 140. ISBN 978-3-446-41683-3.

Chemiezellstoff

Als **Chemiezellstoff** wird hochreine Cellulose bezeichnet, die meist aus Holz durch das Sulfat- oder Sulfitverfahren gewonnen wird. Chemiezellstoff dient als Ausgangsmaterial für die Celluloseverformung und -derivatisierung. Chemiezellstoff ist auch das Ausgangsmaterial für die Herstellung von Celluloseregeneraten aus denen Fasern wie Viskose und Folien wie Cellophan hergestellt werden.[1] [2]

Der Unterschied von Chemiezellstoff zu Zellstoff, z. B. für die Papierherstellung, ist die höhere Reinheit bzw. der höhere Anteil an Cellulose. Dies ist für die Verwendung, z. B. in chemischen Verfahren, notwendig.



Cellulosemoleküle (von links nach recht, gestrichelt: Wasserstoffbrücken) bilden hochsortierte Strukturen; über mehrere Organisationsebenen entstehen die Fasern von Zellstoff

Herstellung

Chemiezellstoff wird vor allem mit chemischen Verfahren aus cellulosereichen Rohstoffen gewonnen. Aber auch die biotechnologische Herstellung, z. B. aus Essigsäure durch Fermentation bestimmter Bakterien ist möglich.

Chemische Verfahren

Als Rohstoffe der Chemiezellstoff-Herstellung können Holz (Holzaufschluss) und unterschiedliche einjährige Faserpflanzen verwendet werden. Rund 10 % werden zudem aus den Linters der Baumwolle (Baumwollfaser) gewonnen[3] .

Etwa 60 % der Jahresproduktion werden nach dem Sulfitverfahren hergestellt, während zunehmend auch der Vorhydrolyse-Kraft-Prozess zum Einsatz kommt[3] . Auch für den Aufschluss von Zellstoff für die Papierindustrie werden diese chemischen Verfahren genutzt, jedoch kommen dort oft auch andere, thermische und/oder mechanische Holzaufschlussverfahren zum Einsatz, die eine höhere Ausbeute aber eine minderwertigere Produkt- bzw. Faserqualität liefern[4] .

Biotechnologisches Verfahren

Chemiezellstoff bzw. Cellulose kann fermentativ aerob (unter Sauerstoffzufuhr) durch Essigsäure produzierende Bakterien wie *Acetobacter xylinum* und *Gluconacetobacter xylinus* erzeugt werden. Diese als Bakteriencellulose bezeichnete Cellulose ist durch hohe Reinheit, einen hohen Kristallisations- und Polymerisationsgrad und eine sehr feine Faserstruktur gekennzeichnet. Aufgrund des teuren Herstellungsprozesses eignet sich Bakteriencellulose allerdings zur Zeit nicht für die großtechnische Anwendung als Polymerwerkstoff.[4] [5]

Qualitätsanforderungen

An die Qualität von Chemiezellstoff werden hohe Ansprüche gestellt. Der Gehalt an α-Cellulose sollte mindestens 90 % betragen und der Anteil an Begleitstoffen wie Hemicellulosen, Lignin, Extraktstoffen und Metallionen sowie Carbonyl- und Carboxygruppen sollte möglichst gering sein. Zudem werden Weißgrade von 88-95 % gefordert, die damit deutlich höher liegen als bei Papierzellstoffen. Der Gehalt an α-Cellulose für die Herstellung von Celluloseacetat sollte 96-99 % betragen während für Viskoseprodukte ein Gehalt von 91-92 % ausreicht, da im Viskoseprozess durch einen zusätzlichen Reinigungsschritt kurzkettige Polysaccharide herausgelöst werden. Eine besonders hohe Reinheit bei gleichzeitig hoher Viskosität kann mit Baumwolllinters als Rohstoff erzielt werden, da diese bereits im natürlichen Zustand einen hohen Cellulosegehalt von über 80 % aufweisen und mit vergleichsweise geringem Aufwand nach dem Sodaverfahren aufgeschlossen werden können.[6]

Wirtschaftliche Bedeutung

Die weltweite Produktion von Chemiezellstoff betrug im Jahr 2001 etwa 3,2 Mio. t, was einem Anteil von nur 2 % an der gesamten Zellstoffproduktion entspricht[3] . In Deutschland wurden 2005 rund 320.000 t Chemiezellstoff zu ca. 190.000 t Celluloseregeneraten und 130.000 t Cellulosederivaten verarbeitet[7] . Die weltweite Produktion von Celluloseregeneraten und -derivaten von ca. 5 Mio. t teilt sich in 65 % Regenerate und 35 % Derivate.[4]

Produkte aus Chemiezellstoff

Aus Chemiezellstoff werden cellulosebasierte Polymerwerkstoffe hergestellt die sich in die zwei Hauptgruppen Cellulosederivate und -regenerate gliedern. Die Derivate gliedern sich weiter in Celluloseether und Celluloseester während aus Regeneraten verschiedene Fasern und Folien hergestellt werden. Werkstoffe auf Basis von Chemiezellstoff gehörten zu den ersten entwickelten Polymerwerkstoffen überhaupt und werden in jüngster Zeit aufgrund ihres natürlichen Ursprungs und ihrer teilweisen Abbaubarkeit in Abgrenzung zu petrochemischen Polymeren gezielt als Biopolymere vermarktet.[4]



Bedruckte Cellophantüte und klare Cellophanverpackung

Cellulosederivate

- Celluloseether: Additive zur Viskositätsstabilisierung oder als Wasserbinder in Baustoffen, Klebstoffen, Kosmetika, Waschmittel, Farben oder in der Papierindustrie
- Celluloseester: Thermoplastische Kunststoffe wie Cellulosenitrat (Celluloid), Celluloseacetat, Cellulosepropionat und Cellulosebutyrat

Celluloseregenerate

- Fasern:
  - Viskose, Lyocell, Rayon, Kupferseide, Zellwolle, Kunstseide
- Folien:
  - Cellophan

Referenzen

[1] S. Müller: *Möglichkeiten der Verwendung von flüssigem Ammoniak bei der Herstellung und Aktivierung von Chemiezellstoffen*, Dissertation, Universität Stuttgart, Institut für Textil-und Faserchemie, 2004. pdf (http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2004/1658/pdf/Diss_Susanne_Mueller.pdf)

[2] L. Carraro: *Zugänglichkeit von Chemiezellstoffen und Reaktionsverhalten bei Carboxymethylierung*, Dissertation, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2005. pdf (http://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:28104/eth-28104-01.pdf)

[3] Lenzing AG: *Chemiezellstoff ist reine Cellulose: ein "High Performance Polymer" für Werkstoffe und Feinchemikalien* (http://www.tencel.com/fe/de/print/3838.jsp)

[4] H.-J. Endres und A. Siebert-Raths: *Technische Biopolymere - Rahmenbedingungen, Marktsituation, Herstellung, Aufbau und Eigenschaften*, Carl Hanser Verlag, München 2009, S. 136, ISBN 978-3-446-41683-3

[5] Z. Gromet-Elhanan und S. Hestrin: *Synthesis of cellulose by Acetobacter xylinum. VI. Growth on citric acid-cycle intermediates*, Journal of Bacteriology 85(2), 1963, S. 284-292.

[6] I. Claus: *Eignung des MEA-Verfahrens zur Herstellung von Chemie- und Papierzellstoffen*, Dissertation, Universität Hamburg, 2005. pdf (http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=977867102&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=977867102.pdf)

[7] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) e.V. (Hrsg.): Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie pdf (http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_228nr_industrie_2007.pdf)

Chinaschilf

Chinaschilf

Chinaschilf (*Miscanthus sinensis*)
Systematik
Unterklasse: Commelinaähnliche (Commelinidae) *Ordnung:* Süßgrasartige (Poales) *Familie:* Süßgräser (Poaceae) *Unterfamilie:* Panicoideae *Gattung:* *Miscanthus* *Art:* Chinaschilf
Wissenschaftlicher Name
Miscanthus sinensis
Andersson

Chinaschilf (*Miscanthus sinensis*), auch irrtümlicherweise unter dem Namen Elefantengras bekannt, ist eine ausdauernde Pflanzenart aus der Familie der Süßgräser (Poaceae). Sie stammt aus Südostasien (China, Japan, Korea).

Beschreibung

Miscanthus sinensis charakterisiert sich durch eine schilfartige Wuchsform, bildet dichte bis lockere Horste aus und erreicht Höhen zwischen 80 und 200 (selten 30 bis 400) Zentimeter. Die Pflanzen bilden ein horizontal wachsendes, kurzes Rhizom aus, das daran ansetzende Wurzelsystem kann in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit bis in eine Tiefe von 2,5 m vordringen.[1] [2]

Die unverzweigten, festen Halme haben einen Durchmesser von 3 bis 10 Millimeter, die Knoten können kahl oder leicht behaart sein. Die am Ansatz des Stängels sowie am Stängel entlang wechselständig stehenden Blätter zeigen die für C4-Pflanzen charakteristische aufrechte Blattstellung, die eine maximale Lichtaufnahme ermöglicht. Die Blattscheide kann kahl oder filzig behaart sein. Die 18 bis 75 Zentimeter lange und 0,3 bis 2 (bis 4) Zentimeter breite Blattspreite ist linealisch und flach, vom Ansatz her verjüngt sie sich oder ist breit abgerundet und läuft spitz zu. Die

Mittelrippe steht hervor, die Ränder sind rau oder glatt. Die 0,5 bis 4 Millimeter lange Ligula ist bewimpert.[2]

Der Blütenstand ist eine 20 bis 36 (ab 10) Zentimeter lange, annähernd kahle bis filzig behaarte Rispe, die Blütenstandsachse ist 6 bis 16 Zentimeter lang. Die einzelnen Trauben (deren Zahl insbesondere bei Sorten deutlich variieren kann) sind 10 bis 40 (4 bis 100) Zentimeter lang und erreichen einen Durchmesser von 10 bis 30 (ab 8) Zentimeter, die Internodien der Rhachis sind kahl und glatt bis schwach rau, ihre Knoten behaart. Die unteren Blütenstiele sind 0,5 bis 1,5 Millimeter lang, die oberen 1,5 bis 4 Millimeter.[2]

Die auf ungleich langen Ährchenstielen sitzenden, paarweise angeordneten[1] Ährchen sind filzig behaart bis kahl, ahlenförmig und 4 bis 6,5 Millimeter lang. Sie werden von den 5 bis 8 Millimeter langen Kallushärchen überragt, die annähernd gleichgeformten, häutigen Spelzen sind fünfnervig, spitz zulaufend, 4 bis 6,5 Millimeter lang und rückseitig kahl bis behaart, die Spitzen und der obere Rand sind behaart. Die unteren Deckspelzen sind lanzettlich und durchscheinend, 3,5 bis 4 Millimeter lang, an der Spitze und den Rändern behaart, sonst kahl, eine Nervatur fehlt. Die oberen Deckspelzen gleichen ihnen, erreichen aber nur eine Länge von 2,5 bis 3,5 Millimeter. Die Grannen sind 4 bis 12 Millimeter, die oberen Vorspelzen sind 1 bis 2 Millimeter lange Schuppenblätter. Die drei Staubbeutel sind rund 2,5 Millimeter lang.[2]

Die elliptische Karyopse[2] ist mit einer Länge von 2,2 mm, einer Dicke von 0,9 mm und einer Tausendkornmasse von 300 bis 950 mg typisch für windverbreitete Pflanzen.[1]

Verbreitung und Habitat

Chinaschilf ist in weiten Teilen Chinas sowie in Japan und Korea auf Berghängen, an Küsten sowie gestörten Standorten in Höhenlagen unter 2000 Meter weitverbreitet.[2]

In den USA haben sich als Zierpflanzen eingeführte Arten unkontrolliert durch Samen verbreitet und sind daher bereits 20 Jahre nach der Einführung als invasiv eingestuft worden. Besonders in den Zonen der gemäßigten Breiten der Atlantikküste[3] konnten sie sich ausbreiten[4] ; bekämpft werden sie vorzugsweise mit Roundup.[5]

Ökologie

In den Ursprungsländern sind etwa 40 Arten Schmetterlinge bekannt geworden, die das Chinaschilf als Wirtspflanze besuchen, die meisten davon aus Gattungen der Hesperiidae und Nymphalidae.[6]

Miscanthus verfügt über den sogenannten C4-Metabolismus, eine unter bestimmten Umweltbedingungen besonders effiziente Form der Photosynthese; daher zeichnet sich die Pflanze, verglichen mit den C3-Pflanzen, unter bestimmten klimatischen Bedingungen durch eine besonders hohe Biomasseleistung aus.

Systematik

Miscanthus sinensis wurde 1855 durch Nils Johan Andersson erstbeschrieben. Die Art gilt als sehr variabel, daher kam es zur Beschreibung vieler Untertaxa und heute als synonym verstandener Arten, wichtige Synonyme sind *Miscanthus condensatus* (Japan) und *Miscanthus transmorrisonensis* (Taiwan).[2]

Verwendung

In den Ursprungsgebieten war das Chinaschilf als Rohstoff für Matten und Flechtwerk zum Sicht- und Windschutz sowie als Futterpflanze bekannt. Seit den 1950er-Jahren wird es neben *Miscanthus sacchariflorus* in Europa als Zierpflanze kultiviert.

Bereits 1935 wurde eine spezielle starkwüchsige Sorte, das Riesen-Chinaschilf (*Miscanthus* × *giganteus*), eine Kreuzung aus dem Chinaschilf mit *Miscanthus sacchariflorus*, von Japan über Dänemark nach Mitteleuropa eingeführt, das auch im europäischen Raum Wuchshöhen von bis zu vier Metern erreichen kann und deshalb seit dem Ende der 1970er Jahre vermehrt als nachwachsender Rohstoff zur energetischen und stofflichen Nutzung

angebaut wird.

Weblinks

- www.miscanthus.de [7] – Informationen der Lehr- und Forschungsstation der Universität Bonn zu *Miscanthus sinensis*

Referenzen

[1] Nach www.miscanthus.de (http://www.miscanthus.de)

[2] Shou-liang Chen & Stephen A. Renvoize: *Miscanthus sinensis*, in: Flora of China, *Bd. 22, S. 581-583, Online* (http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=200025714)

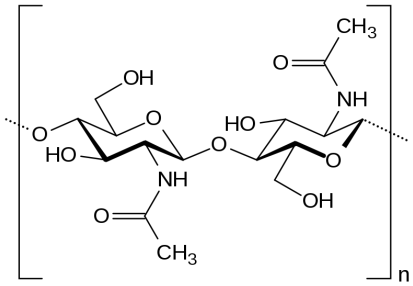
[3] Eintrag *Miscanthus sinensis* (http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=MISI), NRCS, US Dep. of Agriculture – mit aktueller Verbreitungskarte

[4] Eintrag *Chinese silvergrass* (http://www.invasive.org/browse/subject.cfm?sub=3052), www.invasive.org

[5] J. Swearingen, K. Reshetiloff, B. Slattery, S. Zwicker: *Plant Invaders of Mid-Atlantic Natural Areas.* National Park Service and U.S. Fish & Wildlife Service, 2002, S. 82, zitiert nach www.invasive.org (http://www.invasive.org/eastern/midatlantic/misi.html)

[6] Natural History Museum: HOSTS – a Database of the World's Lepidopteran Hostplants (http://internt.nhm.ac.uk/jdsml/research-curation/projects/hostplants/list.dsml?PSpecies=sinensis&PGenus=Miscanthus)

Chitin

Strukturformel	
	
Allgemeines	
Name	Chitin
CAS-Nummer	1398-61-4
Art des Polymers	Biopolymer
Kurzbeschreibung	Polysaccharid, weißlicher, geruchloser Feststoff[1]
Monomer	
Monomer	Acetylglucosamin
Summenformel	$C_8H_{13}NO_5$
Molare Masse	203,19 $g \cdot mol^{-1}$
Eigenschaften	
Aggregatzustand	fest
Löslichkeit	in Wasser und organischen Lösungsmitteln praktisch unlöslich, mäßige bis geringe Löslichkeit in wasserfreier Ameisensäure.
Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.	

Chitin (gr. χιτών *chitón* „Hülle“, „Panzer“) ist neben Zellulose das verbreitetste Polysaccharid auf der Erde und dient der Strukturbildung. Es unterscheidet sich von Zellulose durch eine Acetamidgruppe. Es kommt sowohl bei Pilzen (Fungi) als auch bei Gliedertieren (Articulata) und Weichtieren (Mollusca) vor. Bei Pilzen bildet es einen der Hauptbestandteile der Zellwand. Bei Ringelwürmern (Annelida) kommt es im Mundraum vor. Bei Gliederfüßern (Arthropoden) ist es Hauptbestandteil des Exoskeletts. Auch bei Wirbeltieren wurde es festgestellt (in der Epidermis eines Knochenfisches: G.P.Wagner et al. 1993).

Chitin ist Ausgangsstoff für die technische Herstellung von Chitosan und Glucosamin. Das Chitin der Gliederfüßer kommt hauptsächlich in Form der α-Helix vor, bei Weichtieren in Form des β-Faltblattes.

Vorkommen

Im Tierreich hat Chitin, in Verbindung mit Protein und Kalziumkarbonat, die größte Verbreitung als Bestandteil im Exoskelett vieler Arthropoda, vor allem der Klassen (bzw. Überklassen) der Insecta, Arachnida (Spinnentiere), Myriapoda (Tausendfüßer) und Crustacea (Krebstiere). Bei den Mollusca (Weichtiere) ist es als Bestandteil der Radula sowie im Schulp mancher Cephalopoda (Kopffüsser) zu finden.

Im Pilzreich findet man Chitin in einer Reihe Niederer Pilze sowie bei Basidiomyceten, Ascomyceten und Schlauchpilzen (Phycomyceten) als Zellwandkomponente mit Proteinen und Glucanen, wobei es nicht in allen dieser Pilze vorkommt. Auch bei engen Verwandten kann sich das Vorkommen von Chitin in der Zellwand erheblich unterscheiden.

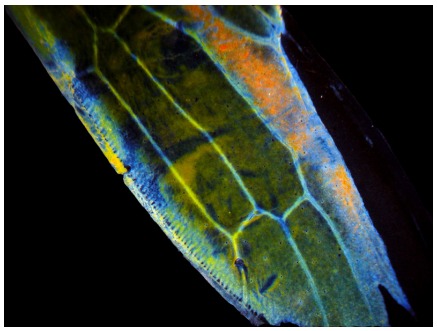
Viele Pilze besitzen Chitinasen, Enzyme zum Abbau von Chitin, womit sich die Pilze als Abbauspezialisten profilieren.

Eigenschaften

Chitin ist ein Polysaccharid, das aus Acetylglucosamin-Einheiten aufgebaut ist (präzise: 2-Acetamido-2-desoxy-D-glucopyranose, kurz: N-Acetyl-D-glucosamin, Abkürzung: GlcNAc). Die Acetylglucosamin-Einheiten sind durch β-1,4-glycosidische Bindungen verknüpft – dies ist die gleiche Bindungsart wie die der Glucosemoleküle in Cellulose. Chitin kann also als Abart der Cellulose aufgefasst werden, bei der die Hydroxylgruppen in Position 2 der Monomereinheiten durch Acetamido-Gruppen ersetzt wurde. Dadurch wird eine stärkere Wasserstoffbrückenbindung zwischen angrenzenden Polymeren ermöglicht, die Chitin härter und stabiler als Cellulose macht.[2] Natürliches Chitin ist jedoch meist kein einheitliches Polymer, sondern eine Mischung statistischer Copolymere aus D-Glucosamin (GlcN) und N-Acetyl-D-glucosamin (GlcNAc), das heißt, nicht jede Aminogruppe ist acetyliert. Der Grad der Acetylierung bestimmt seine Eigenschaften zusätzlich zum Polymerisationsgrad (Kettenlänge) und der Kettenfaltung. Der Übergang zum Chitosan, welches deutlich weniger (im Idealfall gar keine) Acetylgruppen trägt, ist daher fließend. Ist der Acetylierungsgrad höher als 50%, so spricht man meist von *Chitin*, liegt er darunter, ist es *Chitosan*.

Farbe: Chitin ist farblos. Die bekannte Braunfärbung des Insektenpanzers rührt von dem eingelagerten Protein Sklerotin bzw. dessen Vorstufe Prosklerotin bzw. des daraus resultierenden verfestigten Arthropodins her.

Biologische Bedeutung



Chitin im Flügel eines Glanzkäfers, Nahaufnahme

Entgegen der landläufigen Meinung ist aber nicht Chitin dafür verantwortlich, dass ein Insektenpanzer hart ist. Chitin ist für dessen Weichheit und Biegsamkeit verantwortlich. Erst im Zusammenspiel mit dem Strukturprotein Sklerotin wird die Cuticula hart und stabil. Bei Crustaceen wird zur Erhöhung der Härte zusätzlich Kalk eingelagert.

Chitin ist das zweithäufigste Biopolymer nach der Cellulose. Der Weltvorrat wird auf 10^6 bis 10^7 Tonnen geschätzt. Den Hauptanteil machen dabei die Kleinkrebse des Zooplanktons (z.B. Krill) aus.

Chitin von aquatisch lebenden Gliedertieren und Pilzen wird u. a. von *Vibrio cholerae*, dem Choleraerreger, abgebaut mit Hilfe des Enzyms Chitinase. Unzureichend gekochte Krabben oder Krebse können deshalb ein Gesundheitsrisiko darstellen.

Wirkstoffe, die die Chitinsynthese hemmen werden als Chitininhibitoren bezeichnet und werden zur Bekämpfung von Insekten und Pilzen eingesetzt.

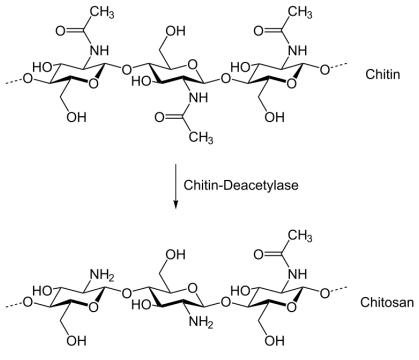
Geschichte der Entdeckung

Chitin wurde 1811 von Henri Braconnot (Direktor des Botanischen Gartens von Nancy) erstmalig wissenschaftlich als Substanz (aus Pilzen) beschrieben, allerdings noch nicht unter dieser Bezeichnung, sondern als "Fungin". Der Franzose Odier war 1823 namensgebend: er nahm das griechische Wort für Tunika oder Ummantelung in Anlehnung an die Flügeldecken des Maikäfers, in welchen er die Substanz gefunden hatte.[3]

Medizinische Bedeutung

Chitin ist auch Bestandteil wichtiger Krankheitserreger; es wird in Zellwänden pathogener Pilze, Scheide und Pharynx von Filarien sowie Eiern parasitischer Würmer gefunden. Säugetiere und Pflanzen haben als Abwehrmaßnahme Chitin-abbauende Enzyme entwickelt, die Chitinasen. Bei Patienten mit Morbus Gaucher[4] finden sich extrem erhöhte Enzymwerte welche zur Therapiekontrolle herangezogen werden. Auch bei anderen lysosomalen Speicherkrankheiten sowie Patienten mit Sarkoidose[5] finden sich erhöhte Enzymspiegel im Blut. Bei schwerem Asthma sind in Serum und Lungengewebe erhöhte Spiegel an Chitinase nachweisbar. [6]

Nutzung



Schematische Darstellung der enzymatischen Synthese von Chitosan aus Chitin.

Obwohl Chitin als Biopolymer sehr gute mechanische Eigenschaften hat und neben Cellulose und Lignin eines der häufigsten Naturpolymere darstellt, ist das Nutzungsspektrum vergleichsweise gering. Das vom Chitin abgeleitete Chitosan wird kommerziell aus Schalenresten von Garnelen hergestellt und vor allem als Fettblocker im Ernährungsbereich sowie als Filtermaterial zur Wassergewinnung oder in Kläranlagen sowie als Ausgangsmaterial für Fasern, Schaumstoffe, Membranen und Folien (Biokunststoff) verwendet. Des Weiteren findet Chitosan Verwendung in Zahnpasten (Chitodent), als Papier- und Baumwollzusatz sowie zum Ausfällen von Trübungen in der Getränkemittelindustrie. In der Arzneimittelindustrie wird an

Chitosan geforscht, um es zur Mikroverkapselung und gezielten Freisetzung pharmakologischer Wirkstoffe zu verwenden, unter anderem als Vektor für die Gentherapie.

Chitin ist außerdem Ausgangsstoff für die technische Herstellung Glucosamin, einem natürlichen Bestandteil des Knorpels und der Gelenkflüssigkeit (Synovialflüssigkeit). Technisch hergestelltes Glucosamin findet Verwendung in der Arzneimittelindustrie u.a. in Mitteln gegen Arthrose.

Weblinks

- www.wissenschaft.de: Unerwartetes Allergiepotenzial [7] – Studie: Biopolymer Chitin ruft allergieähnliche Entzündungen hervor (Zusammenfassung eines Artikels aus Nature: Tiffany A. Reese, Hong-Erh Liang, Andrew M. Tager, Andrew D. Luster, Nico Van Rooijen, David Voehringer, Richard M. Locksley. *Chitin induces accumulation in tissue of innate immune cells associated with allergy.* Nature advance online publication 22 April 2007)
- Sachanalyse Chitin / Chitosan [8]

Referenzen

[1] Sicherheitsdatenblatt der Firma Carl Roth (http://www.carl-roth.de/jsp/de-de/sdpdf/8845.PDF)

[2] http://www.faunistik.net/DETINVERT/MORPHOLOGY/GEWEBE/chitin_02.html

[3] Daniel Essmann, Bengt Neumann und Tobias Voß: *Chitin und Chitosan* Hausarbeit im Rahmen der Vorlesung Bionik, WS 2005-2006, Universität Bremen, unter Anleitung von Prof. Dr. Arnim von Gleich entstanden

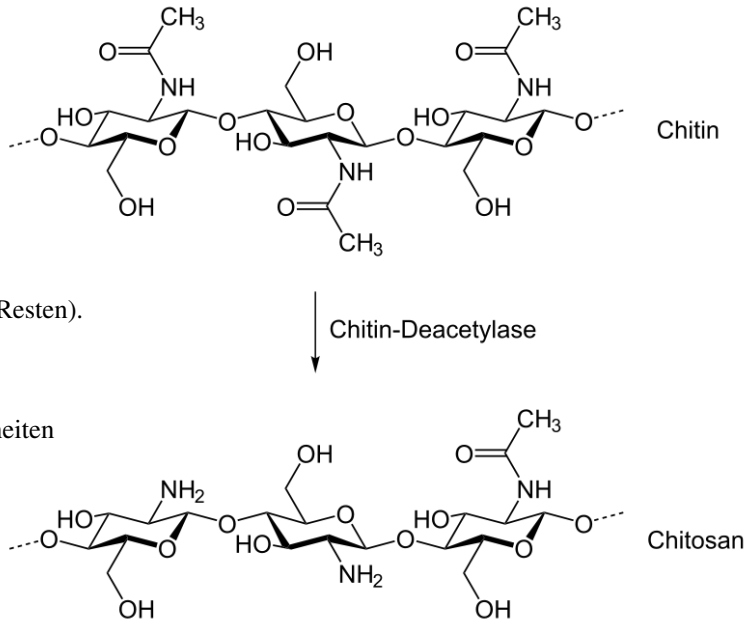
[4] Guo Yufeng et al. (1995): Elevated plasma chitotriosidase activity in various lysosomal storage disorders. In: Journal of inherited metabolic disease, PMID 8750610

[5] Grosso, Bargagli et al. (2004): Serum levels of chitotriosidase as a marker of disease activity and clinical stage in sarcoidosis. In: Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation 2004;64(1):57-62, PMID 15025429

[6] Chupp, Geoffrey L. et al.: „ *A Chitinase-like Protein in the Lung and Circulation of Patients with Severe Asthma* .“ N Engl J Med 2007; 357: S. 2016-2027 Abstract (http://content.nejm.org/cgi/content/abstract/357/20/2016)

Chitosan

Chitosan (v. griech. *χιτών* „Unterkleid, Hülle, Panzer“) ist ein Biopolymer, ein natürlich vorkommendes Polyaminosaccharid, welches sich vom Chitin ableitet. Wie dieses besteht es aus β-1,4-glykosidisch verknüpften N-Acetylglucosaminresten (genau 2-Acetamido-2-desoxy-β-D-glukopyranose-Resten). Liegen im Gesamtmolekül mehr deacetylierte 2-Amino-2-desoxy-β-D-glukopyranose-Einheiten vor, spricht man von Chitosan. So ergeben sich lineare Moleküle, die aus etwa 2000 Monomeren bestehen. Es wurde 1859 von C. Rouget durch Kochen von Chitin mit Kalilauge entdeckt.



Schematische Darstellung der enzymatischen Synthese von Chitosan aus Chitin.

Herkunft

Gewinnung

Chitosan wird technisch aus Chitin durch Deacetylierung gewonnen. Dies kann durch (heiße) Natronlauge oder enzymatisch erfolgen. Beide Prozesse werden technisch genutzt, mengenmäßig steht die alkalische Prozedur eindeutig im Vordergrund.



Die Hauptchitinquelle für die Herstellung von Chitosan sind Schalen von Garnelen wie *Pandalus borealis*

Der Grad der resultierenden Deacetylierung kann erheblich variieren: Die Deacetylierung kann vollständig oder teilweise erfolgen, woraus eine Verteilung stark deacetylierter neben wenig deacetylierten Bereichen oder eine homogene Deacetylierungsverteilung resultieren kann, was erhebliche Auswirkungen auf die Molekülgestalt hat. Gleichzeitig kann aufgrund dieses chemischen Eingriffes die Kettenlänge des Polymers abnehmen (Depolymerisation), wodurch die Löslichkeit verbessert und die Viskosität verringert wird. Außerdem können bei der Behandlung Fremdatome (z. B. Schwermetalle aus Natronlauge) eingebracht werden. Die Endprodukte können sich daher erheblich in ihren Eigenschaften unterscheiden. Am deutlichsten offenbaren sich diese Unterschiede in der Löslichkeit und Viskosität z. B. einer 1 %igen Chitosanlösung in Essigsäure.

Natürliche Vorkommen

Etliche Pilze, so die Zygomyceten, Austernpilze, Champignons (Agaricus), Mucor (z. B. *Mucor rouxii*) und *Absidia coerulea*, enthalten neben Chitin in ihrer Zellwand auch Chitosan; aus ihnen kann Chitosan direkt gewonnen werden.

Eigenschaften

Chitosan ist ein farbloser, amorpher, zäher Stoff. Industriell hergestelltes, hochmolekulares Chitosan ist in verdünnten starken Säuren außer Schwefelsäure sowie in organischen Säuren löslich. Die Löslichkeit in Säuren und gleichzeitig schlechte Löslichkeit in neutralem oder alkalischem pH ist einzigartig unter den Biopolymeren und daher charakterisierend. Mit abnehmender molarer Masse ist aber auch Chitosan (oder Oligo-Glucosamin) in Wasser und sogar in Laugen löslich.

Auf Grund der durch die Deacetylierung entstandenen freien Aminogruppen ist es in nicht alkalischer Lösung ein Polykation mit einer hohen Ladungsdichte. Es ist ungiftig, antibakteriell, antiviral und antiallergen. Die LD_{50} von Chitosan liegt bei 16 g/kg Körpermasse.

Fettbindung

Die Fettbindung durch Chitosan lässt sich im Labor gut nachweisen. Mehrere Patente und Laborversuchsbeschreibungen haben dies zum Thema, daneben stehen mehr oder weniger wirksame Produkte, welche auf diesem Prinzip beruhen. Diese Erkenntnis ist auch Bestandteil verschiedener Patentierungen. Die Effizienz der Fettbindung ist mengenmäßig bedeutsam, sodass Chitosan allgemein in der Biochemie und Entsorgung zum Entfernen von Ölen, vereinzelt in Arzneimittelzulassungen (z. B. in Spanien) und in Medizinprodukten mit der Wirkstoffbezeichnung *Lipidadsorbens* in vielen Ländern der Welt, auch in allen Mitgliedsländern der EU unbeschränkt verkehrsfähig ist, welche durch unabhängige und staatlich anerkannte Gutachter zertifiziert wurden.

Die höchste Fettbindungskapazität wurde im Biopolymer L112 mit dem etwa 800fachen seiner Eigenmasse festgestellt.

Bindung von Schwebstoffen

Chitosan wird in der Wasseraufbereitung, in der Abwasserklärung und in der Getränkeindustrie vielfältig und großtechnisch eingesetzt, um Schwebstoffe zu binden und auszufällen.

Andere Eigenschaften

- koagulierend, blutstillend (Blutgerinnung) [1]
- bakterizid, allerdings für verschiedene Bakterien unterschiedlich [2]
- fungizid [3]
- abrasiv (in Zahnpaste) [4]
- glättend (Papierzusatz) [5]
- Bindung von Schwermetallen [6]

Anwendungen

Stoffliche Nutzung

Das Anwendungsspektrum dieses Polymers ist relativ breit und unübersichtlich (ähnlich wie bei Zellulose und anderen Biopolymeren). Chitosan wird vor allem als Filtermaterial (zur Wassergewinnung oder in Kläranlagen) sowie als Ausgangsmaterial für Fasern, Schaumstoffe, Membranen und Folien (Biokunststoff) verwendet. Dabei gehören zu den positiven Eigenschaften in dem Bereich die Sauerstoff-Barrierewirkung, die einen Vakuumabschluß ermöglicht. Eine marktrelevante Fertigung von Biokunststoffen aus Chitosan existiert allerdings bislang nicht.

Mit seiner adsorbierenden, blutstillenden, anti-mikrobiellen und heilenden Wirkung kommt Chitosan auch in Medizinprodukten (z. B. bei Lipidadsorbens (*L112*) oder bei Wundauflagen) zum Einsatz. Des Weiteren findet Chitosan Verwendung in Zahnpasten (*Chitodent*), als Papier- und Baumwollzusatz sowie zum Ausfällen von Trübungen in der Getränkemittelindustrie. In der Arzneimittelindustrie wird an Chitosan seit langem geforscht, um es zur Mikroverkapselung und gezielten Freisetzung pharmakologischer Wirkstoffe zu verwenden, unter anderem als Vektor für die Gentherapie.

Ernährung

In der Nahrungsergänzungsmitteln wird Chitosan als Fettblocker eingesetzt, die Verwendung als Nahrungszusatz wird allerdings in einigen Ländern einschließlich Deutschland als möglicherweise illegal betrachtet,[7] (in Österreich hingegen ist es legal), da eine Nahrungsergänzung nur die Nahrung ergänzen darf, aber nicht deren Resorption behindern soll. In den Ländern, in denen Chitosan im Nahrungsmittelbereich eingesetzt werden darf, wie etwa den USA, haben mehrere doppelblinde und randomisierte Studien ergeben, dass seine Wirkung ohne gleichzeitige Diät nicht nachgewiesen werden kann.[8]

Weblinks

- Quackwatch: Is Chitosan a „Fat Magnet“? [9]
- Informationen zu Eigenschaften [10] von Chitosan und Anwendungen in der Kosmetik [11] (Heppe Medical Chitosan)

Referenzen

[1] F. Poretti, T. Rosent, B. Körner und D. Vorwerk: *Randomisierte Untersuchung zur Anwendung eines Chitosan-Gerinnungspads zur Blutstillung bei transbrachialen Angiographien* (http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=17062186)

[2] [www.wundheilung.net/Info/Chitoskin.pdf]

[3] ELFIS - Forst- und Holzwirtschaft [www.bfafh.de/.../Descend%26M%3D12%26K%3DT7+07+323%26R%3DY%26U%3D1]

[4] [www.cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=17226283]

[5] [www.opus.kobv.de/ubp/volltexte/2005/19]

[6] [www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/c/chitosan.htm]

[7] www.ak-tirol.com/pictures/d58/Nahrungsergaenzungsmittel-2007.pdf

[8] *"There is considerable doubt that chitosan is effective for reducing body weight in humans."* nach Max H Pittler und Edzard Ernst: *Dietary supplements for body-weight reduction.* In: The American Journal of Clinical Nutrition 79(2004), S. 530. (PDF (http://www.ajcn.org/cgi/reprint/79/4/529?maxtoshow=&HITS=10&hits=10&RESULTFORMAT=&fulltext=Dietary+supplements+for+body-weight+reduction&searchid=1&FIRSTINDEX=0&sortspec=relevance&resourcetype=HWCIT)))

Cyanophycin

Cyanophycin bzw. **Cyanophycingranaprotein** (CGP) ist ein Biopolymer, das in einer Reihe von Cyanobakterien und Bakterien als Stickstoffspeichermolekül gebildet und in die Zelle eingelagert wird. Es wurde 1887 entdeckt und besteht zu gleichen Anteilen aus den Aminosäuren L-Asparaginsäure und L-Arginin. Eine Nutzung dieses Polymers besteht bislang nicht, ist jedoch aufgrund der dem Polyacrylat sehr ähnlichen Eigenschaften denkbar.

Physiologie

Cyanophycin wird von einer Reihe von Cyanobakterien und einigen Bakterien (z.B. *Acinetobacter calcoaceticus*) als Speicherstoff gebildet. Es speichert vor allem Stickstoff und Kohlenstoff und wird insbesondere beim Übergang des exponentiellen Bakterienwachstums zum stationären , also zum Zeitpunkt der Ressourcenverknappung im Substrat, gebildet.

Eigenschaften und Synthese

Cyanophycin wird von verschiedenen Arten der Cyanobakterien gebildet und kann bei diesen einen Anteil von bis zu 18 Prozent der Zelltrockenmasse erreichen. Das Polymer erreicht eine molare Masse von bis zu 125.000 $g \cdot mol^{-1}$ und besteht aus einer Kette von sich wiederholenden Monomeren der L-Asparaginsäure, die über ihre freien β-Carboxylgruppen mit der α-Aminogruppe jeweils eines Moleküls L-Arginin verknüpft sind. Daneben existieren Variationen in der Aminosäurezusammensetzung.

Die Bildung des Polymers erfolgt unabhängig von den Ribosomen der Zelle durch das Enzym Cyanophycin-Synthetase, das aus zwei identischen Untereinheiten von jeweils 90 bis 130 kDa besteht. Das Enzym braucht als Startpolymer einen Baustein aus mindestens drei Monomeren und knüpft unter Energieaufwendung durch die Spaltung von jeweils einem Molekül Adenosintriphosphat (ATP) an diese Kette alternierend die beiden Aminosäuren an. Das Polymer wird am reaktiven Ende erst phosphoryliert und der Phosphatrest anschließend durch die Aminosäure substituiert. Beeinflusst wird die Aktivität des Enzyms durch die Konzentration von Mg^{2+} und Kaliumchlorid.

Produktion

Bislang besteht keine großtechnische Produktion des Biopolymers. Cyanobakterien eignen sich aus verschiedenen Gründen nicht für großtechnische Ansätze, da sie zum einen sehr schwierig zu haltende Anforderungen an das Substrat haben und zum anderen nur geringe Ausbeuten des Polymers liefern können. Alternativen stellen die wenigen Bakterien dar, die in der Lage sind, Cyanophycin zu bilden, vor allem *Acinetobacter calcoaceticus*. Ein Stamm dieses Bakteriums akkumuliert das Polymer mit Anteilen bis 40 % an der Zelltrockenmasse. Zudem können die zur Bildung der Cyanophycin-Synthetase notwendigen cphA-Gene in industriell relevanten Bakterien exprimiert werden, vor allem in *Escherichia coli*, *Corynebacterium glutamicum*, *Cupriavidus necator* und *Pseudomonas putida*. Diese wurden durch ein Metabolic Engineering zu einer optimierten Cyanophycin-Produktion gebracht. Auch erste Verfahren zur Isolierung von Cyanophycin im technischen Maßstab wurden entwickelt.[1]

Abbau

Bislang sind nur wenige Untersuchungen zum biologischen Abbau von Cyanophycin durchgeführt worden. Alexander Steinbüchel konnte im Rahmen seiner Forschungen zahlreiche Gram-negativen sowie Gram-positiven Bakterienstämme identifizieren, die das Polymer abbauen. Außerdem identifizierte und isolierte er einzelne fakultativ und strikt anaerobe Bakterien, die in der Lage sind, Cyanophycin als alleinige Kohlenstoff- und Stickstoffquelle zu nutzen.

Literatur

- Alexander Steinbüchel: *Biopolymere und Vorstufen: Cyanophycin.* In: Garabed Antranikian (Hrsg.): *Angewandte Mikrobiologie.* Springer-Verlag Berlin und Heidelberg 2006; Seiten 387-388. ISBN 978-3-540-24083-9

Referenzen

[1] Alexander Steinbüchel: *Cyanophycin - Biosynthese und Aufbau* (http://128.176.212.88/Biologie.IMMB.Steinbuechel/Forschung/Cyanophycin.html). Westfälische Wilhelms-Universität Münster.

- D -

Dampfdruckaufschluss

Der **Dampfdruckaufschluss** ist ein physikalisches Verfahren des Faseraufschlusses zur Gewinnung von Naturfasern bei Bastfaser-Pflanzen wie Flachs oder Hanf, der eine Zerlegung des Zellverbundes in Einzelfasern ermöglicht (Cottonisierung).[1]

Technik

Die faserhaltigen Pflanzenstengel werden unter hohem Druck mit alkalischem Dampf stark erhitzt. Es folgt eine schnelle Absenkung des Drucks, bei dem das in den Pflanzen enthaltene Wasser verdampft, wodurch es zu einer Zerlegung des Zellverbundes in Einzelfasern kommt.[1] Die Technologie wurde bisher vor allem im Labormaßstab angewendet, wird jedoch als reif für die industrielle Umsetzung beurteilt[2] .

Referenzen

[1] Monika Scheer-Triebel, J. Léon: *Industriefaser – Qualitätsbeschreibung und pflanzenbauliche Beeinflussungsmöglichkeiten bei Faserpflanzen: ein Literaturreview*. Pflanzenbauwissenschaften 4 (1), 2000; S. 26–41. ISSN 1431-8857 (http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=1431-8857).

[2] Wertvolle Hanffaser gibt sich widerspenstig. In: LID-Mediendienst 2551, 31. Januar 2002, S. 7-8

Degummierung

Als **Degummierung** wird die Entfernung von Kittsubstanzen, vor allem Pektine, während der Vereinzelung von Fasern bei Faserpflanzen bezeichnet. Sie erfolgt gemeinsam mit dem Bleichen, bei dem Lignin- und Farbstoffreste entfernt werden. Der Prozess der Degummierung erfolgt abhängig vom Fasertyp mittels Dampfdruck sowie über die Verwendung von Natriumcarbonat und Natronlauge. Weitere Möglichkeiten sind die enzymatische Reinigung durch Bakterien oder der physikalische Aufschluss durch Ultraschall.[1] Bei dem Prozess werden die meisten Bestandteile von der Zellulosefaser entfernt, ohne die Faser selbst zu schädigen. Die degummierten Fasern werden anschließend mit Natriumchlorid oder Wasserstoffperoxid gebleicht.

Vorteile der Degummierung

Die Degummierung wird heute als Standardbehandlung von Naturfasern angewendet, da sie gegenüber der mechanischen Faserauftrennung eine Reihe von Vorteilen hat. So ist sie faserschonender, da es nicht zu mechanischen Zerstörungen der Einzelfasern kommt. Bei der mechanischen Auftrennung werden im Regelfall nur Faserbündel von 20 bis 50 Einzelfasern gebildet, wodurch relativ dicke Garne entstehen. Die aus den degummierten Fasern resultierenden Garne werden feiner, da der minimal mögliche Querschnitt bei diesen durch die Dicke der Einzelzelle (=Faser) bestimmt wird. Die Einzelfasern sind zudem technisch stabiler und halten stärkerer Beanspruchung stand. Die Degummierung der Faserbündel führt zu Einzelfasern, mit denen Verstärkungseffekte erreicht werden, die nahezu bei jenen von Glasfasern liegen.[2]

Literatur

- J. Salmon-Minotte, R.R. Franck: *Flax: Rove degumming and bleaching.* In Robert R. Franck (Hrsg.): *Bast and other plant fibres.* Woodhead publishing in textiles, 2005; Seite 122-123. ISBN 1-85573-684-5

Referenzen

[1] Michael Carus et al.: *Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU).* Gülzower Fachgespräche Band 26, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2008

[2] Andreas Keller: *Pflanzenfaser-Werkstoffe. Stand der Technik und Entwicklungsmöglichkeiten (FAT - Bericht Nr. 575)*, Darstellung auf hanf-info.ch (http://www.chanvre-info.ch/info/de/Pflanzenfaser-Werkstoffe-Stand-der.html)

Desodorierung

Unter **Desodorierung** (lat., Verb: *desodorieren*) versteht man das beabsichtigte Verdecken (oder in der Technik auch das gezielte Entfernen) von – meist unerwünschten – Gerüchen. Von diesem Begriff leitet sich auch die Bezeichnung Deodorant ab, welches ursprünglich *Desodorant* hieß.

Desodorierung wird z. B. in der Kosmetik, beim Kochen, bei der Raffination von Pflanzenöl oder auch in Gebäuden angewendet. Die Methode ist üblicherweise entweder eine Oxidation oder Adsorption der Geruchsstoffe.

Desodorierung von Pflanzenöl

Bei der Pflanzenöl-Raffination von Rohöl zu raffiniertem Pflanzenöl (zu Verwendung z.B. als Speiseöl) wird als letzter Schritt eine Desodorierung durchgeführt. Bei der chemischen Raffination werden dem Öl geruchs- und geschmacksintensive Begleitstoffe wie Carbonylverbindungen, Kohlenwasserstoffe und freie Fettsäuren, aber auch flüchtige Verbindungen und Pestizide[1] durch Wasserdampfdestillation unter Vakuum ("Dämpfung") entzogen. Dafür wird in das getrocknete und auf 200 bis 230 °C erhitzte Öl Wasserdampf ("Strippdampf") eingeblasen. Der Prozess dauert zwischen 20 und 60 Minuten und ist energieintensiv, da pro Tonne Öl acht bis zwölf kg Wasserdampf benötigt werden. Bei der physikalischen Raffination wird die Desodorierung in einem Arbeitsschritt mit der ebenfalls destillativen Entsäuerung durchgeführt. Die hohen Temperaturen bei der Desodorierung vermindern den Gehalt bestimmter erwünschter Begleitstoffe im Öl sowie die ernährungsphysiologisch positiven Tocopherole.

Quellen

Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann und Hermann Hofbauer (Hrsg.), 2009: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, 2. Auflage, S. 720-725, ISBN 9783540850946

Referenzen

[1] Vom Rohöl zum Speiseöl: Die Fettverarbeitung (http://www.inform24.de/raffica.html), abgerufen am 2009-07-28

Dezentrale Ölmühle

Die **dezentrale Ölmühle** ist eine Produktionseinrichtung zur Erzeugung von Pflanzenöl. Ölsaaten oder -früchte werden in dieser Einrichtung durch Auspressen zu Pflanzenöl und dem Koppelprodukt Presskuchen verarbeitet. Die *Dezentrale Ölmühle* unterscheidet sich von der zentralen Ölmühle vor allem durch die geringere Verarbeitungskapazität (0,5 bis 25 t Ölsaat pro Tag), das Verarbeitungsverfahren (Kaltpressung, Erzeugung von nativem Öl) und – damit verbunden – die geringere Ölausbeute bei höherem Restfettgehalt im Presskuchen. Außerdem arbeiten dezentrale Ölmühlen in der Regel im landwirtschaftlichen Umfeld.



Transportable dezentrale Ölpresse

Verfahren

Die Verarbeitung der zu pressenden Produkte erfolgt nach dem Prinzip der Kaltpressung. Bei dieser Methode kommen lediglich zwei Verarbeitungsschritte zur Anwendung, und zwar die Pressung und die anschließende Filterung. Neben der eigentlichen Verarbeitung (Pressung) erfolgen in der Regel die Lagerung und Reinigung der Ölsaaten / -früchte sowie die Lagerung des Öls in der Ölmühle.

Das Bild einer dezentralen Ölmühle wird von folgenden Komponenten geprägt:

- Vorratslager für die Verarbeitungsprodukte
- Reinigung, ggf. Trocknung der Produkte
- Zwischenlagerung vor der Verarbeitung
- Verpressung der Produkte mittels Lochzylinder-Schneckenpresse bzw. Seiherstab-Schneckenpresse
- Lagerung des Truböls vor der Reinigung des Öls und des Presskuchens
- Ölreinigung durch Filterung bzw. Sedimentation
- Sicherheitsfilter (Polizeifilter)
- Endlagerung des Reinöls

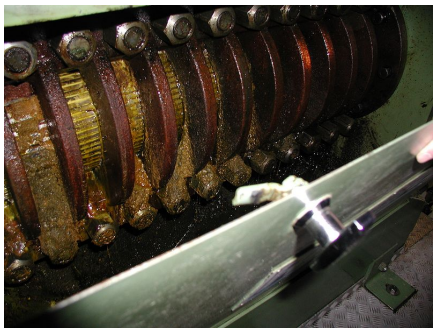
Herstellung

Vorbereitung

Die Lagerung der Ölsaaten erfolgt im trockenen, belüfteten und schädlingssicheren Vorratslager der Ölsaaten in Hallen oder als Außenlager. Entnommen werden die Verarbeitungsprodukte beispielsweise über Förderschnecken. Trocknung und Reinigung der Ölsaaten spielen bei der dezentralen Ölmühle eine besondere Rolle, da Fehler bei der Lagerung die Qualität des naturbelassenen Öls stark mindern und nicht - wie bei zentralen Ölmühlen - durch nachfolgende Raffination ausgeglichen werden können. Wegen der bei dezentralen Ölmühlen geringeren Anzahl der Rohstoffchargen fallen zudem Qualitätsminderungen einzelner Chargen stärker ins Gewicht. Bei Rapssaat sollte die Restfeuchte weniger als 9 Prozent betragen. Verunreinigungen, zum Beispiel durch Unkrautsamen (Fremdbesatz) oder schlecht gereinigte Transportfahrzeuge, müssen vermieden oder entfernt werden.

Pressung

Für die Ölerzeugung werden die Ölsaaten bzw. -früchte gepresst. Das darin enthaltene Pflanzenöl tritt durch Öffnungen in der Ölpresse aus, die Feststoffe (Presskuchen) mit Restfettgehalt werden am Ende der Presse entnommen. In dezentralen Ölmühlen übliche Bauformen sind Zylinderloch-Schneckenpressen und Seiherstab-Schneckenpressen. Dabei wird ähnlich wie beim Fleischwolf das zu verarbeitende Produkt durch eine Schnecke (Spindel) in einem Zylinder transportiert. Das Pressgut wird der Schnecke über eine trichterförmige Öffnung zugeführt. Zylinderloch-Schneckenpressen kommen eher im kleinen Leistungsbereich (bis ca. 70 kg Saaten/ Stunde), die Seiherstab-Schneckenpresse eher im größeren Leistungsbereich zum Einsatz.



Blick in eine geöffnete Seiherstab-Schneckenpresse. Das Öl tritt zwischen den Stäben aus.

Reinigung

Nach der Pressung ist das Öl noch sehr stark mit Press-Sedimenten verunreinigt. Deshalb wird es bis zur Filterung im Trubölbehälter zwischengelagert. Hier kommt dann in der Regel ein Rührwerk zum Einsatz, welches die Sedimente in der Schwebe hält, bevor die Ölreinigung stattfindet. Die Ölreinigung erfolgt durch Filterung und/oder Sedimentation.

Bei der Filterung kommen die Kammerfilterpresse, die kuchenbildende Filtration und Beutelfilter zum Einsatz. Vor allem als nachgelagerte Sicherheits- oder Polizeifilter werden Kerzenfilter genutzt. Damit wird gewährleistet, dass im Öl keine Verunreinigungen mehr enthalten sind, bevor das Produkt die Ölmühle verlässt.



Trubölrührwerk in der dezentralen Ölmühle

Bei der Sedimentation, die bei kleineren Ölproduktionsanlagen angewandt wird, dient anstelle einer äußeren Energiezufuhr (z. B. zum Antrieb einer Druckpumpe) das Erdschwerefeld zur Reinigung des Truböls von den Sedimenten. Dabei wird das ausgepresste Öl in ein Behältnis gegeben, in dem es bis zu mehreren Wochen verharrt, während die schwereren Sedimente durch die Erdanziehung langsam zu Boden sinken. Nach der Sedimentation wird das gereinigte Öl langsam aus dem Behältnis entnommen, so dass die abgesenkten Partikel im Sedimentationsbehältnis verbleiben. Anschließend wird das Öl durch einen Sicherheitsfilter geleitet und im Reinöl-Tank gelagert. Neuere Sedimentationsverfahren laufen kontinuierlich ab. Dabei fließt das zu reinigende Truböl über ein Röhrensystem durch nacheinander geschaltete Behältnisse.][1]

Lagerung

Die Reinöl-Lagerung soll möglichst kühl und dunkel erfolgen. Insofern ist es sinnvoll, die Lager in Hallen oder unterirdisch zu installieren. Als Material für die Reinöl-Lagerung kommen häufig Tanks aus Edelstahl zum Einsatz. Die Lagertanks sollten möglichst einfach zu reinigen und vor dem Eintrag von Kondenswasser geschützt sein.

Die sachgerechte Lagerung des Presskuchens ist entscheidend, um dessen Qualität zu erhalten. Bei der Produktion entwickelt der Presskuchen eine hohe Temperatur und hat noch einen hohen Anteil an Wasserdampf. Um den Wassergehalt zu senken, ist bei längerfristiger Lagerung eine Kühlung und Belüftung wichtig.

Rohstoffe und verwendete Produkte

Viele verschiedene Ölfrüchte und –pflanzen werden in dezentralen Ölmühlen verarbeitet. Dabei sind folgende Nutzungsarten von Bedeutung:

- Pflanzenöle als Nahrungsmittel (Speiseöl, Grundstoff für viele weitere Nahrungsmittel)
- Pflanzenöle als Energieträger und nachwachsende Rohstoffe (Biokraftstoff, Wärmeerzeugung, Biokunststoff, Grundstoff für die Kosmetikindustrie)
- Presskuchen als Koppelprodukt bei der Ölgewinnung (hochwertiges eiweiß- und fettreiches Futtermittel, Brennstoff und Substrat für die Biogaserzeugung).

Für den Bereich Speiseöl gibt es viele regionale bzw. traditionelle Spezialitäten, die meistens regional oder direkt vermarktet werden. Die in den letzten Jahren in Deutschland entstandenen dezentralen Ölmühlen verarbeiten überwiegend Rapssaat.

Wirtschaftliche Bedeutung

In Deutschland sind seit den 1990er Jahren viele dezentrale Ölmühlen entstanden. Nach Angabe des Technologie- und Förderzentrums Straubing waren im Jahr 1999 ca. 79 dezentrale Ölmühlen bekannt, im Frühjahr 2004 dagegen mindestens 219 Anlagen.[2] Im Jahr 2008 sind etwa 600 Anlagen in Betrieb. Der Zuwachs dieser dezentralen Ölmühlen ist im Wesentlichen im Kontext der Erzeugung regenerativer Energieträger, insbesondere der Biokraftstoffe entstanden. Als Ausgangsprodukt für Biodiesel und Rapsöl-Kraftstoff kommt der Rapssaat eine Bedeutung zu.

Für den Sektor Landwirtschaft, in den sehr viele dezentrale Mühlen direkt eingebunden sind, haben in den soganennten Industrienationen diese dazu beigetragen, ein *zweites Standbein*, einen weiteren Absatzmarkt zu erzeugen.

Die politischen Rahmenbedingungen tragen wesentlich dazu bei, ob dezentrale Ölmühlen eine wirtschaftliche Perspektive auf Dauer gegeben ist. Die Abwägung dieser zu den im Folgenden angeführten Punkten ist international Gegenstand heftiger politischer Auseinandersetzungen.

Ökologische und soziale Aspekte

Mit der Verwendung von Pflanzenöl als Biokraftstoff werden auch ökologische Aspekte verbunden. Theoretisch gilt, dass bei der Verwendung von Pflanzenöl nur so viele klimaschädliche CO_2-Emissionen verursacht werden, wie beim Aufwachsen der Pflanze gebunden wurde. In der Praxis ist zu berücksichtigen, dass durch Anbau, Verarbeitung und Transport der Ölprodukte mit konventionellen Methoden wieder ein Teil der Emissionen aus dem CO_2-Kreislauf herausgenommen werden. Im Gegensatz zur zentralen Verarbeitung verarbeiten dezentrale Ölmühlen in der Regel regional hergestellte Ölsaaten. Umweltbelastende Transportwege werden dabei eingespart.

Literatur

- FNR, Handbuch Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen (pdf) [3] (5,41 MB)
- KTBL – Schrift 427, Dezentrale Ölsaatenverarbeitung
- Eder, Barbara / Eder, Franz „Pflanzenöl als Kraftstoff“, ISBN 978-3-936896-05-3
- Technologie und Förderzentrum Straubing (TFZ): Herstellung – Ölgewinnung. [4]

Weblinks

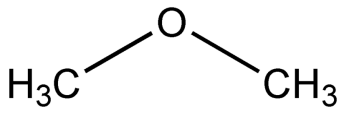
- Bundesverband dezentraler Ölmühlen e.V. (BDOel) [5]

Referenzen

[1] Technologie- und Förderzentrum Straubing (TFZ): Ölreinigung in dezentralen Ölmühlen (http://www.tfz.bayern.de/biokraftstoffe/16676/)

[2] BLT Wieselburg: Mitteilungen der Facharbeitsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, Nr. 34, Dezember 2004 (http://www.blt.bmlf.gv.at/vero/mnawa/nr34.pdf)

Dimethylether

Strukturformel	
	
Allgemeines	
Name	Dimethylether
Andere Namen	• Methoxymethan • Holzether • Methylether • Methyloxid • DME
Summenformel	C_2H_6O
CAS-Nummer	115-10-6
Kurzbeschreibung	farbloses Gas
Eigenschaften	
Molare Masse	46,06 $g \cdot mol^{-1}$
Aggregatzustand	gasförmig
Dichte	• 2,11 $g \cdot l^{-1}$ (0 °C, 1013 hPa)[1] • 0,74 $g \cdot cm^{-3}$ (−25 °C)[1]
Schmelzpunkt	−141,5 °C[1]
Siedepunkt	−24,82 °C[1]
Dampfdruck	510 kPa (20 °C)[1]
Löslichkeit	wenig in Wasser (70 g/l bei 20 °C)[1]
Sicherheitshinweise	

Gefahrstoffkennzeichnung aus RL 67/548/EWG, Anh. I [2]  Hoch-entzündlich (F+) R- und S-Sätze R: 12 S: (2)-16-33-9	
MAK	1910 mg·m^{-3}, 1000 ml·m^{-3}[1]
GWP	1 (bezogen auf 100 Jahre) [3]
Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.	

Dimethylether ist der einfachste Ether; er hat 2 Methylgruppen als organische Reste. Dimethylether ist polar und findet in flüssiger Form als Lösemittel Verwendung.

Eigenschaften

Dimethylether ist ein (bei Normalbedingungen) farbloses, leicht narkotisierend wirkendes, ungiftiges, hochentzündliches Gas. Die Verbindung siedet bei -24 °C. Die Verdampfungswärme beträgt am Siedepunkt 21,51 kJ/mol.[4] Unter Druck sind bis zu 34 % in Wasser löslich.

Thermodynamische Eigenschaften

Die Dampfdruckfunktion ergibt sich nach Antoine entsprechend $\log_{10}(P) = A-(B/(T+C))$ (P in bar, T in K) mit A = 4,11475, B = 894,669 und C = −30,604 im Temperaturbereich von 194,93 bis 248,24 K.[5]

Herstellung

Er kann zum Beispiel durch säurenkatalysierte Kondensation aus 2 Molekülen Methanol (unter Abspaltung von Wasser) gewonnen werden:

$$2\ CH_3OH \rightarrow CH_3-O-CH_3 + H_2O$$

Er wird üblicherweise direkt aus Synthesegas unter Umgehung der Zwischenstufe Methanol hergestellt und enthält noch geringe Mengen Methanol und Wasser. Als Quelle für das Synthesegas sind insbesondere Kohle, Erd- und Biogas sowie Syngas aus der Biomassevergasung von hohem Interesse.

Verwendung

Hochreiner Dimethylether findet breite Anwendung als Treibgas z. B. in Haarspray und Lackspray. Technischer Dimethylether ist eine Alternative zu Flüssiggas mit ausgezeichneten Brenneigenschaften. Ein azeotropes Gemisch von Dimethylether und Ammoniak ergibt das Kältemittel R723.

Ein großer Anteil des produzierten Dimethylethers wird mit Schwefeltrioxid (SO_3) zu Dimethylsulfat ($C_2H_6O_4S$) umgesetzt, das als Basis für eine Reihe von chemischen Prozessen und Produkten benötigt wird. Bis in die 1980er Jahre war dies die Hauptverwendung von Dimethylether, 1998 wurden von den in Mitteleuropa produzierten 50.000 t etwa 15.000 t zu Dimethylsulfat umgesetzt.[6]

DME als Kraftstoff

Aufgrund einer Cetanzahl von 55 bis 60 lässt sich Dimethylether im Dieselmotor als Ersatz für Dieselkraftstoff verwenden. Dabei sind nur leichte Modifikationen am Motor erforderlich, die hauptsächlich die Einspritzpumpe betreffen, sowie der Einbau eines Drucktanks, ähnlich wie bei Autogas. Dimethylether verbrennt im Dieselmotor sehr sauber ohne Rußbildung. Der Heizwert liegt bei 28,4 MJ/kg.

Gemäß der Biokraftstoffrichtlinie 2003-30-EG gilt Dimethylether als Biokraftstoff, sofern er „aus Biomasse hergestellt wird und für die Verwendung als Biokraftstoff bestimmt ist“ und soll langfristig Flüssiggas ablösen.[7] Im Rahmen des FP7-Projektes BioDME unter der Leitung der Volvo Group soll DME als Kraftstoff vor allem für den Transportsektor optimiert werden,[8] als Rohstoffbasis zur Herstellung des Synthesegases soll Schwarzlauge aus der Papier- und Zellstoffindustrie dienen.[9]

Unglück

Bei der Explosion eines mit Dimethylether gefüllten Kesselwagens auf dem Gelände der BASF in Ludwigshafen am Rhein starben am 28. Juli 1948 207 Menschen, es gab 3.818 Verletzte, und 3.122 Gebäude wurden in Mitleidenschaft gezogen.

Referenzen

[1] Eintrag zu *CAS-Nr. 115-10-6* (http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?q=[F+casnr:115-10-6]&f=hitlist&t=main-hit-h.htm&tf=doc&tt=document-frame.htm&x=Advanced&c=redirect&s=Contents&h1=Title[,100]) in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA, abgerufen am 08.01.2008 (JavaScript erforderlich)

[2] Eintrag zu *CAS-Nr. 115-10-6* (http://ecb.jrc.ec.europa.eu/esis/index.php?LANG=de&GENRE=CASNO&ENTREE=115-10-6) im European chemical Substances Information System *ESIS*

[3] P. Forster, P., V. Ramaswamy et al.: *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge und New York 2007, S. 213, (PDF (http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Print_Ch02.pdf))

[4] Majer, V.; Svoboda, V.: *Enthalpies of Vaporization of Organic Compounds: A Critical Review and Data Compilation*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1985, 300.

[5] Kennedy, R.M.; Sagenkahn, M.; Aston, J.G.: *The heat capacity and entropy, heats of fusion and vaporization, and the vapor pressure of dimethyl ether. The density of gaseous dimethyl ether* in J. Am. Chem. Soc. 63 (1941) 2267-2272.

[6] Manfred Müller, Ute Hübsch: *Dimethyl Ether*. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH, Weinheim 2006, doi: 10.1002/14356007.a02 143.pub2 (http://dx.doi.org/10.1002/14356007.a02+143.pub2).

[7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Biokraftstoff-Richtlinie (http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/biokraftstoffe_richtlinie.pdf)

[8] Homepage des FP7-Projektes BioDME (http://www.biodme.eu/index.html)

[9] Peter Fairly: *Taking Pulp to the Pump.* (http://www.technologyreview.com/energy/21811/?a=f) Technology Review, 12. Dezember 2008.

Dispersionsfarbe

Als **Dispersionsfarben** bezeichnet man zähflüssige Anstriche, die aus einer chemischen Dispersion (meistens einer Emulsion) aus Binde- und Lösungsmitteln, Farbmitteln (meistens Pigmenten) und Zusatzstoffen bestehen. In diesem allgemeinen Sinn handelt es sich bei der Mehrzahl der flüssigen Anstriche (Lacke, Farben, usw.) um Dispersionen. Umgangssprachlich ist damit meistens handelsübliche Wandfarbe gemeint, wie sie palettenweise in jedem Baumarkt steht. Dabei handelt es sich genau genommen um *Kunstharzdispersionsanstriche*.



Fassadenanstrich mit Dispersionsfarbe

Daneben gibt es auf dem Markt noch ähnlich aufgebaute Produkte, die statt synthetischen und mineralölhaltigen Zutaten vor allem Pflanzenöle verwenden und als *Naturdispersionsfarben* bezeichnet werden.

Wirtschaftliche Bedeutung

In Deutschland wurden im Jahr 2008 etwa 890.000 Tonnen Dispersionsfarben und -lacke produziert. Der Gesamtverkaufswert dieser Produkte betrug 1,28 Milliarden €. Die produzierte Menge verteilt sich auf Dispersionsfarben für die Innenanwendung (70%), Dispersionsfarben für die Fassadenanwendung (18%) und Dispersionslacke (12%). Bezogen auf den Verkaufswert der Produkte betragen die Anteile 53%, 20% bzw. 27%.[1]

Kunstharzdispersionsanstriche

Kunstharzdispersionsanstriche (auch Kunststoffdispersionsanstriche, -farben, oder -dispersionen) sind Wandanstriche, die in der Regel aus einer Dispersion aus Kunstharz und Wasser bestehen. Für den Innenbereich sind sie in der DIN EN 13300 normiert, solche für den Außenbereich in der DIN EN 1062.

Bestandteile

Hauptbestandteile sind typischerweise Wasser als Verdünnungsmittel, aus Mineralöl gewonnene Kunstharze oder ähnliche Kunststoffe als Bindemittel, Farbstoffe oder Pigmente wie Titandioxid, Füllstoffe wie Calciumcarbonat, Silikate und Quarzmehl.

Zusätzlich kommen Hilfsstoffe (sogenannte Additive) zum Einsatz, die zur Verbesserung der technischen Eigenschaften eingesetzt werden, wie beispielsweise Stabilisatoren, Entschäumer, Verdickungsmittel, Konservierungsmittel, Lösungsmittel. Bei den verwendeten Kunstharzen handelt es sich um Acrylate oder Polyvinylacetat.

Verwendung

Kunstharzdispersionswandfarben mit besonders hoher Wasserfestigkeit, für den Außen- und Fassadenbereich sowie für Feuchtbereiche im Hausinneren, werden häufig auch als Latexfarben bezeichnet, was nicht korrekt ist, da sie kein Latex enthalten, sondern lediglich einen erhöhten Anteil an Kunstharz. Auch Kunstharzdispersionsfarben mit dekorativen Zusätzen (wie Glitter) werden oft so bezeichnet.

Feste Farbe

Neben flüssiger Kunstharzdispersionsfarbe gibt es auch noch thixotrope (sogenannte *kompakte*) Anstriche, besser bekannt als *Feste Farbe*®; sie sollen beim Streichen weniger klecksen und spritzen. Kompakte Farben haben aber an Marktbedeutung verloren, da sie sich aufgrund der festen Eigenschaften schwerer streichen lassen.

Abtönung

Mit Vollton-, Abtönfarbe oder Pigmentpräparationen lassen sich weiße Dispersionsfarben einfärben. Pigmentpräparationen sind dabei bindemittelfreie Produkte, die allein verwendet noch keinen Film bilden. Diese werden meist für automatische Systeme, sogenannte Tönsysteme verwendet. Es existieren jedoch auch wenige Hersteller, die Pigmentpräparationen für den professionellen Bereich anbieten.[2] Vollton- und Abtönfarben sind fertige Anstrichmittel, die Filmbildner enthalten. Vollton- und Abtönfarben werden üblicherweise für die manuelle Abtönung (Do-it-yourself-Markt) verwendet.

Fertig abgetönte Farben sind in allen Fach- und Baumärkten mittlerweile erhältlich. Die Farben werden entweder vor Ort computergesteuert gemischt (*Point-of-Sale-Tinting*) oder aber bereits ab Werk abgetönt (*In-Plant-Tinting* oder *Werkstönung*). In manchen Ländern, wie den Vereinigten Staaten, ist das *Point-of-Sale-Tinting* Standard, und zwar nicht nur in Baumärkten, sondern auch in vielen Einzelhandelsketten wie z. B. Wal-Mart. Speziell die Tönung kleiner Mengen erfordert eine hohe Dosiergenauigkeit, sowie eine exakte Einstellung der verwendeten Pigmentpräparationen. Prinzipiell können manuell und automatisch dieselben Pigmente verwendet werden, so dass dasselbe Echtheitsniveau der resultierenden Farbtöne erreicht wird. In der Praxis ist man bei Dosierautomaten auf eine eingeschränkte Auswahl von Pigmenten angewiesen, die zudem alle angebotenen Qualitäten abdecken müssen. Die Farbtongenauigkeit von automatischen Dosiersystemen hängt stark von den verwendeten Pigmenten (Art und Anzahl), sowie von den hinterlegten Farbtonformulierungen ab.[3] [4]

Umweltverträglichkeit

Das Umweltbundesamt bescheinigt Kunstharzdispersionsfarben im Allgemeinen eine hohe Umweltverträglichkeit. Für die Kennzeichnung mit dem Blauen Engel gilt für Innenprodukte neben anderen Grenzen ein Grenzwert von max. 700 ppm VOC (Volatile Organic Compounds)[5] . Diese Begrenzung ist weitaus niedriger als die von der EU in der sogenannten *Decopaint-Richtlinie* vorgegebene Grenze von 100g/l (ab 2007) bzw. 30 g/l (ab 2010)[6] [7] . Bei Systemen, die mit dem Blauen Engel gekennzeichnet werden, kann davon ausgegangen werden, dass nahezu keine flüchtigen Stoffe abgegeben werden.

Hygienische Aspekte

Dispersionsfarben enthalten in der Regel Konservierungsmittel bzw. Biozide. Diese können bei der Anwendung zu allergischen Reaktionen führen. Mithilfe geeigneter Mineralien können Farben jedoch auch ohne Biozide stabilisiert werden. Sie sind somit hygienisch unbedenklich und werden auch zur Herstellung (Beschichtung) von Lebensmittelverpackungen (Lebensmittelzulassung) verwendet. Im Handel sind diese Farben erhältlich und entsprechend gekennzeichnet und vorzugsweise als Wandfarben für Kinderzimmer oder Krankenhäuser geeignet.

Naturdispersionsanstriche

Naturdispersionsanstriche oder -farben bieten die gleichen Vorteile wie Kunstharzdispersionsanstriche, bestehen aber ausschließlich oder zum größten Teil aus natürlichen, nicht-synthetischen Zutaten - wobei der Unterschied zwischen *natürlich* und *künstlich* fließend sein kann. Typischerweise wird Kunstharz durch Pflanzenöle wie Leinöl oder Rizinusöl, und das Titandioxid durch mineralische Pigmente ersetzt. Naturdispersionsfarben sind in der Regel teurer als herkömmliche Farben auf Kunstharzbasis. Sie weisen teils eine niedrigere, teils aber auch eine höhere Luftbelastung auf als vergleichbare Kunstharzdispersionen.

Eigenschaften

Nach dem Auftrag entsteht im Raum ein leichter Geruch des Naturöls, der jedoch nach einiger Zeit verschwindet und als angenehm oder unangenehm empfunden werden kann. Das Naturöl (vor allem Leinöl) kann zu einer Vergilbung führen, d. h. im Laufe der Jahre wird eine weiße Wand gelblicher. Da dies gleichmäßig geschieht, fällt es in der Regel nicht auf. Das Entstehen von Staubrändern an Bilderrahmen ist deutlich geringer als bei Kunstharzdispersionen, da keine statische Aufladung entsteht.

Emulsionsfarben

Weil die Begriffe Dispersionsfarbe und Kunstharzdispersionsfarbe mittlerweile nahezu synonym gebraucht werden, ist man dazu übergegangen, andersartige Dispersionsanstriche als Emulsionsfarben zu bezeichnen. Die bekannte Plakafarbe von Pelikan wird vom Hersteller beispielsweise als Casein-Emulsionsfarbe bezeichnet.

Siehe auch

- Mineralfarbe

Referenzen

[1] Produktionsstatistik für Farben und Lacke in Deutschland im Jahr 2008; Farbe und Lack 06/2009; Seite 12
[2] http://www.mixol.de/de/techninfo/abtoenprogramm/allgemein/allgemein_index.html
[3] H.-A. Brand; Passen die Pasten; Farbe & Lack 03/2005
[4] Frischzellenkur für die Mischanlage; Farbe & Lack 04/2007
[5] RAL UZ 102
[6] Richtlinie 1999/13/EG
[7] Richtlinie 2004/42/EG

Douglasie

Douglasie

Über 100-jährige Douglasien (*P. menziesii*) bei Suhl/Thüringer Wald.
Systematik
Klasse: Coniferopsida
Ordnung: Koniferen (Coniferales)
Familie: Kieferngewächse (Pinaceae)
Unterfamilie: Laricoideae
Gattung: Douglasien (*Pseudotsuga*)
Art: Douglasie
Wissenschaftlicher Name
Pseudotsuga menziesii
(Mirbel) Franco

Die **Douglasie** (*Pseudotsuga menziesii*), fälschlich auch **Douglastanne**, **Douglasfichte** oder **Douglaskiefer** genannt, ist eine hemerochore Pflanzenart aus der Gattung der Douglasien (*Pseudotsuga*) in der Familie der Kieferngewächse (Pinaceae).

Vorkommen

Die Gattung der Douglasien (*Pseudotsuga*) umfasst nur etwa sechs Arten, von denen vier in begrenzten Verbreitungsgebieten in Ostasien und zwei im westlichen Nordamerika vorkommen. In Europa war die Gattung im Tertiär vertreten, im Verlauf der Eiszeit ist sie hier jedoch ausgestorben.

Das natürliche Verbreitungsgebiet der Douglasien (*Pseudotsuga menziesii*) ist der Westen Nordamerikas, wo sie an den Hängen der Rocky Mountains sowie der Kaskadenkette von Britisch-Kolumbien entlang der kalifornischen Sierra Nevada bis nach Mexiko weite Flächen einnimmt.

Der schottische Botaniker David Douglas brachte den nach ihm benannten Baum als Neophyten im 19. Jahrhundert von einer nordamerikanischen Expedition mit nach Kew Gardens bei London. Seitdem wird die Douglasie in Mitteleuropa in bedeutendem Umfang im Forst, aber auch in Parks und Gärten angepflanzt.

Als eingeführte Spezies hat sich die Douglasie in vielen Ländern der Erde bewährt, sie ist die in Europa bei weitem wichtigste nicht heimische Baumart. Die ersten, nun 120-jährigen Versuche in Deutschland ergeben je nach Unterart faszinierende Waldbilder.

Beschreibung



Typisch für junge Douglasien ist die mit Harzbläschen überzogene Borke.

Die Douglasie ist ein immergrüner Baum mit Wuchshöhen um 60 Meter in Europa; in ihrem Ursprungsgebiet kann sie jedoch fast doppelt so hoch werden. Die höchste Douglasie, die man bisher gefunden hat, war 133 Meter hoch. Dies ist weitaus höher als jeder heute noch aufrecht stehende Baum (der derzeit höchste ist ein Küstenmammutbaum von ~116 m Höhe in Kalifornien). Die kräftigsten Exemplare erreichen an der Basis einen Stammdurchmesser um 4 Meter. Die Douglasie bildet eine relativ schlanke, kegelförmige Krone.

Die Douglasie wächst schnell und kann ein Höchstalter von 400 (var. glauca) bis über 1400 (var. menziesii) Jahren erreichen. Sie hat ein herzförmiges Wurzelsystem und benötigt nur wenig frische, tiefgründige Böden bei mittleren Nährstoffansprüchen. Die Streuzersetzung verläuft mäßig langsam, das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis (C/N-Verhältnis) beträgt 77. Die Streu der Douglasie bewirkt (im Gegensatz zum Beispiel zur Fichtenstreu) keine Versauerung des Bodens.

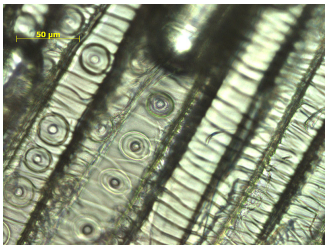


Reifer Zapfen.

Die Nadeln sind grün bis blaugrün, einzeln stehend, weich und stumpf. Sie sind 3 bis 4 Zentimeter lang und verströmen, wenn man sie zerreibt, einen aromatischen, angenehmen Geruch. Im Unterschied zu Fichten sitzen die Douglasiennadeln unmittelbar auf dem Zweig auf; anders als bei Tannen ist aber ihre Basis nicht verdickt.

Die Douglasie ist einhäusig getrenntgeschlechtig (monözisch). Die männlichen Zapfen sind gelb-rot. Sie blüht vor dem Austrieb und sie ist windblütig aber die Pollen haben keine Luftsäcke; auch Bestäubungstropfen fehlen. Mit 15 bis 40 Jahren ist die Douglasie blühfähig. Die Zapfen weisen eine Länge von 4 bis 10 cm und einen Durchmesser von 3 bis 3,5 cm auf. Zur Reifezeit hängen sie und fallen als Ganzes ab, wie bei der Fichte. Die Deckschuppen ragen weit über die Samenschuppen hinaus und sind an der Spitze dreizipfelig. Die Douglasie blüht auf der Nordhalbkugel im Allgemeinen von April bis Mai. Die Samen reifen bis September und werden von Oktober bis November freigegeben. Der Same ist 5 bis 6 mm lang mit einem Flügel, der länger ist als das Samenkorn.

Es ist ein Lichtkeimer und die Keimung erfolgt überirdisch (epigäisch). Die Sämlinge besitzen acht bis zehn Keimblätter (Kotyledonen).



typische spiralverstärkte Tracheiden einer Douglasie in einer Mikroskopie

Nutzung

Das Holz der Douglasie ist vielfältig verwendbar. Es findet Verwendung als Furnierholz (Schälholz), Ausstattungsholz (Parkett, Möbel, Vertäfelung), Konstruktionsholz für mittlere Beanspruchung im Innen-, Erd-, und Wasserbau, für Fenster, Türen und Spezialholz (Schiffsmasten, Rammpfähle, Schwellen, Fässer). Das Holz der Douglasie ist im Kern besser imprägnierbar als Fichtenholz und wird als das beste Holz zum Bau von Dachstühlen angesehen.


Furnierholz der Douglasie

Douglasienholz ist eine der in Deutschland als Bauholz für tragende Konstruktionen zugelassenen Holzarten. Es verfügt über eine höhere natürliche Dauerhaftigkeit (Resistenz) als z.B. das häufig als Bauholz verwendete Fichtenholz. Das Kernholz wird nach DIN 68364 (1979) in Resistenzklasse 3 („mäßig dauerhaft“) eingestuft und kann daher ohne chemischen Holzschutz auch in Bereichen eingesetzt werden, wo eine gelegentliche Befeuchtung nicht ausgeschlossen ist (Gefährdungsklasse 2).

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde die Douglasie in Deutschland zur schnellen Holzgewinnung in Reinbeständen angebaut, z. B. auf den kühlen und feuchten Hochflächen des Rheinischen Schiefergebirges. Auch wegen des Rückgangs von Monokulturen im Forst sind heute nur noch Restbestände vorhanden.

Unterarten

Die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) wird in zwei Varietäten gegliedert [1]:

- Küsten-Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco var. *menziesii*), auch Grüne Douglasie genannt; diese Varietät wird in Deutschland forstlich angebaut.
- Gebirgs-Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* (Mayr) Franco, Syn.: *Pseudotsuga douglasii* var. *glauca* Mayr, *P. menziesii* subsp. *glaucescens*, *P. menziesii* var. *caesia* (Schwer.) Franco), auch Blaue oder Colorado-Douglasie genannt.

Ökologie

Als nicht heimische Art wird die Douglasie in Mitteleuropa als Neophyt betrachtet, da sie sich mittlerweile auch von selbst über Naturverjüngung stark ausbreitet und in bestimmte Sonderstandorte einwandert.

Die wichtigsten Pilzschädlinge für die Douglasie sind die Rostige Douglasienschütte (*Rhabdocline pseudotsugae* H.Sydow) und die Rußige Douglasienschütte (*Phaeocryptopus gäumannii* (Rohde) Petrak). Beide Pilze sind Ascomyceten; die Infektion mittels der Sporen erfolgt direkt durch die Epidermis bei der Rostigen, bzw. durch die Stomata der Blätter bei der Rußigen Douglasienschütte. Das Symptom ist jeweils eine Verfärbung der Blätter von gelbgrün bis hin zu rostbraun. Die Entnadelung erfolgt jahrweise, sodass benadelte und unbenadelte Jahrestriebe an einem Ast nebeneinander vorkommen können. Die Küsten-Douglasie scheint weniger anfällig für einen Befall der Rostigen Douglasienschütte zu sein, weshalb sie in Deutschland bevorzugt angebaut wird. Außerdem kann Grauschimmelfäule (*Botrytis cinerea* Pers.) auf Douglasien vorkommen.

Wissenswertes

Der höchste Baum Deutschlands steht im Freiburger Stadtwald, wie neueste Lasermessungen ergeben haben (vgl. Weblinks). Diese 90 Jahre alte Douglasie *Waldtraut vom Mühlenwald* im Stadtwald von Freiburg im Breisgau im Stadtteil Günterstal ist 63,33 m hoch und damit 1,73 m höher als die Douglasie im Eberbacher Stadtwald, die bisher als höchster Baum Deutschlands galt (Stand: 2006 62,45 m; Stand 2008: 61,6 m). Er löste damit die 100 Jahre alte „Douglasie Nr. 3“ ab, die in einem Forst nördlich des Tennenbacher Tals im Kreis Emmendingen bei Freiburg im Breisgau steht.

Die Douglasie dient als Wahrzeichen des US-Bundesstaates Oregon.

Quellen

Literatur

- Phan Hoang Dong (Hrsg.): *Zum Anbau und Wachstum der Douglasie*. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz (Nr. 55). Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Trippstadt 2005, 220 S.
- Renate Bürger-Arndt (2000): *Kenntnisse zur Synökologie der Douglasie als Grundlage für eine naturschutzfachliche Einschätzung.* – Forst und Holz 55 (22): 707-712. (ISSN 0932-9315)
- Frantisek Hapla, Wolfgang Knigge: *Untersuchung über die Auswirkungen von Durchforstungsmaßnahmen auf die Holzeigenschaften der Douglasie*. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 81. Sauerländer, Frankfurt am Main 1985, ISBN 3-7939-5081-6
- Armin Heidingsfelder, Thomas Knoke: *Douglasie versus Fichte. Ein betriebswirtschaftlicher Leistungsvergleich auf der Grundlage des Provenienzversuches Kaiserslautern*. Schriften zur Forstökonomie, Band 26. Sauerländer, Frankfurt am Main 2004, ISBN 3-7939-7026-4
- Horst Kramer: *Wachstum und Behandlung der Douglasie im pazifischen Nordwesten von Amerika*. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 75. Sauerländer, Frankfurt am Main 1983, 114 S., ISBN 3-7939-5075-1
- Kurt Göhre et al.: *Die Douglasie und ihr Holz*. Akademie-Verlag, Berlin-Ost 1958
- Martin Gossner (2004): *Diversität und Struktur arborikoler Arthropodenzönosen fremdländischer und einheimischer Baumarten. Ein Beitrag zur Bewertung des Anbaus von Douglasie (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco) und Roteiche (Quercus rubra L.).* NEOBIOTA 5, 324 S. (ISSN 1610-0033)
- Dietrich Knoerzer: *Zur Naturverjüngung der Douglasie im Schwarzwald. Inventur und Analyse von Umwelt- und Konkurrenzfaktoren sowie eine naturschutzfachliche Bewertung* [2]. – Dissertationes Botanicae [3] 306, J. Cramer

in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung [4], Berlin, Stuttgart 1999, ISBN 3-443-64218-7 [2]
- Hans J. Schuck, Peter Schütt, Horst Weisgerber: *Lexikon der Nadelbäume*. Nikol Verlagsgesellschaft, Hamburg 2008, ISBN 3-933203-80-5

Weblinks

- Die Douglasie - Perspektiven im Klimawandel; Kompendium zur Douglasie [5]
- Christopher J. Earle: Informationen zur Art bei The Gymnosperm Database, 2008. [6] (engl.)
- Steckbrief bei baumkunde.de [7]
- Bilder und Informationen. [8]
- Dossier Douglasie: Genetik, Anbau, Waldbau und Forstschutz. [9]
- Ökologische Informationen. [10]
- Steckbrief zur Naturschutzproblematik der Art. [11]
- Informationen zur Art. [12] (engl.)
- Holzeigenschaften . [13]
- *Pseudotsuga menziesii* [14] in der Roten Liste gefährdeter Arten der IUCN 2006. Eingestellt von: Conifer Specialist Group, 1998. Abgerufen am 10. Mai 2006
- *Deutschlands höchster Baum steht in Freiburg* [15] - Artikel in der Stuttgarter Zeitung vom 18.8.2008
- *Ernte in schwindelnder Höhe. Mit einem Zapfenpflücker auf einer Douglasie* [16] - Reportage des Deutschlandfunks vom 2.9.2009

Referenzen

[1] Christopher J. Earle: Informationen zur Art bei The Gymnosperm Database, 2008. (http://www.conifers.org/pi/ps/menziesii.htm) (engl.)

Dünnschlempe

Die **Dünnschlempe** ist ein bei der Ethanol-Destillation anfallendes Abspaltprodukt, das durch Trennen der flüssigen von den festen Bestandteilen der Destillationsrückstände (der Schlempe) gewonnen wird.

Beim Brennen von Alkohol bzw. der Herstellung von Bioethanol aus destillierbaren Rohstoffen wie Melasse und anderen stärke- oder zuckerhaltigen Ausgangsstoffen fallen, abhängig vom Ausgangsprodukt, je 100 l reinem Alkohol zwischen 1.100 und 1.400 l Rohschlempe mit einem Trockenmassegehalt von 7–10 % an.[1] Die Feststoffe können nun durch Dekantieren, Sieben oder Zentrifugieren abgetrennt und so zur sogenannten **Dickschlempe** (getrocknet Trockenschlempe bzw. *Dried Distillers Grains with Solubles*, DDGS) verdichtet werden, so dass als feine Suspension die flüssige Dünnschlempe zurückbleibt.

Verwendung

Dünnschlempe wird als Futtermittel und Dünger sowie als Gärsubstrat zur Biogaserzeugung eingesetzt. Die Industrielle Biotechnologie kann den Stoff als Nährmedium nutzen. In modernen Destillationsprozessen kann anfallende Schlempe der Destillation erneut zugeführt werden (Recycling).

Futtermittel und Dünger

Das deutsche Gesetz über das Branntweinmonopol schrieb vor, dass in landwirtschaftlichen Brennereien anfallende Getreide- oder Kartoffelschlempe restlos an das eigene Vieh verfüttert werden muss.[2] . Der Verfütterungszwang wurde allerdings in den letzten Jahren aufgehoben, so dass Schlempe auch als Düngemittel auf die landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden kann. In der Schlempe finden sich in Lösung oder Suspension

neben nicht umgesetzten Stärke- und Zuckerresten reiche Mengen an Fetten, Proteinen, Salzen sowie durch die Hefegärung entstandenes Vitamin B vor, so dass sie sich gut als Ergänzungsfutter eignet. Idealerweise wird sie noch warm verfüttert, da sie dann bekömmlicher ist und durch den vorangehenden Destillationsprozess noch steril ist. Kühlt sie ab, ist sie sehr versauerungs- und fäulnisanfällig und sollte daher spätestens am Tag nach dem Brennen verwertet werden.[3]

Bei gewerblichen Brennereien und industriellen Ethanolraffinerien ist zumeist kein ausreichender Vieh- oder Flächenbestand vorhanden, um die anfallende Schlempe unmittelbar als Futtermittel oder Dünger zu verwerten. Hier wird die Dünnschlempe zumeist zu einem Vinasse-ähnlichen Sirup mit einem Trockenmassegehalt von 23–45 % eingedampft, der als *Condensed Distillers Solubles* (CDS) gehandelt wird. Dieser kann entweder in reiner Form als Futtermittel verwendet werden oder mit der nassen Dickschlempe vermengt und dann verfüttert werden. Eine solche Mischung aus Dickschlempe und CDS wird als WDGS *(Wet Distillers' Grains with Solubles)* gehandelt.[4]

Biogasrohstoff, Nährsubstrat

Da Trocknen und Eindampfen von Schlempe sehr energieintensiv ist, wird sie in den letzten Jahren verstärkt ungetrocknet als Substrat zur Gewinnung von Biogas verwendet. Damit können bis zu 50% der zur Destillation benötigten Prozessenergie bereitgestellt werden[5] . Besonders in den USA wird sie, mit Silage vermengt, in Biogasanlagen vergoren. Der nach der Biogasherstellung verbleibende Gärrest kann als Dünger eingeset werden. In Deutschland ist dies in geringerem Maße der Fall, da die kleineren Betriebsgrößen eine eigene Biogasanlage oft nicht rentabel erscheinen lassen und der Transport der Schlempe eine sehr aufwändige Logistik erfordert. Für biotechnologische Verfahren kann Dünnschlempe als Nährsubstrat dienen, beispielsweise für Pilzmycelien, die als Restprodukte der Biotechnologie anfallen und das Biopolymer Chitosan synthetisieren[6] .

Recycling

Bei fortgeschrittenen Destillationstechnologien wie dem Hohenheimer Dispergier-Maischverfahren kann die Dünnschlempe recycelt werden, wird also wieder der Maische zugeführt, um die Frischwasserzufuhr beim Destillationsprozess zu minimieren. Durch eine solche Kreisführung kann ein erhöhter Ethanol-Gesamtertrag erzielt werden.[7]

Referenzen

[1] Heinrich Kreipe: *Getreide- und Kartoffelbrennerei.* Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1981. S. 102–106.

[2] Gesetz über das Branntweinmonopol (http://www.gesetze-im-internet.de/branntwmong/BJNR004050922.html#BJNR004050922BJNG004500314) (Bundesministerium der Justiz)

[3] Hans-Joachim Pieper: *Gärungstechnologische Alkoholproduktion.* In: M. Kling, W. Wöhlbier: *Handels-Futtermittel.* Bd. 2 A. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1983. S. 91–106.

[4] Greg Lardy: *Feeding Coproducts of the Ethanol Industry to Beef Cattle* (http://www.ag.ndsu.edu/pubs/ansci/beef/as1242w.htm) (College of Agriculture, Food Systems, and Natural Resources)

[5] Agler, Garcia, Lee, Schlicher, Angenent, 2008:Thermophilic Anaerobic Digestion to Increase the Net Energy Balance of Corn Grain Ethanol. Environmental Science and Technology 42:6723-6729

[6] G. Groeger, W. Geyer, T. Bley, J. Ondruschka, 2006: Fermentative Herstellung von Chitosan aus Pilzmycelien. In: Chemie Ingenieur Technik, 78/4, S. 479-483.

[7] D. Pejin, L. Mojović eta al: *The Bio-Ethanol Production with the Thin Stillage Recirculation.* (http://www.ache.org.rs/CICEQ/2009/No1/13_3034_(1)2009.pdf) In: *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly* 15:1, 2009.

Durchwachsene Silphie

Durchwachsene Silphie

Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*)
Systematik
Ordnung: Asternartige (Asterales) *Familie:* Korbblütler (Asteraceae) *Unterfamilie:* Asteroideae *Tribus:* Heliantheae *Gattung:* *Silphium* *Art:* Durchwachsene Silphie
Wissenschaftlicher Name
Silphium perfoliatum
L.

Die **Durchwachsene Silphie** (*Silphium perfoliatum*) ist eine Pflanze aus der Familie der Korbblütler (Asteraceae). Sie ist eine ausdauernde und mehrjährige Pflanze, die aufgrund ihrer großen Biomasseproduktion als Energiepflanze angebaut werden kann.

Merkmale

Die Durchwachsene Silphie erreicht eine Wuchshöhe von etwa zwei Metern. Sie besitzt vierkantige Stängel mit weiten Internodien. Die Blätter sind mittelgrün, am Blattrand gezähnt, ungeteilt, lanzettlich, gegenständig und behaart. Auffällig dabei sind die am Stängel verwachsenen Blattpaare, die auf diese Weise kleine "Becher" bilden, in denen sich Tau- und Regenwasser sammelt. Dieses Merkmal führt zu dem im englischen Sprachraum verbreiteten Namen *cup plant*, zu deutsch "Becherpflanze". Durch diese Eigenschaft ist die Durchwachsene Silphie an Trockenstandorte angepasst, da sie den Wasservorrat in Trockenzeiten für sich nutzen kann. Die Blüten sind gelb, einzeln, endständig, 6 bis 8cm groß und im Verhältnis zu der beachtlichen Wuchshöhe doch relativ klein. Die

Blütezeit erstreckt sich Juli bis September. Die Vermehrung erfolgt über Samen, Aussaat ab April, längere Kühlphase zur Keimung sind dabei günstig. In der Landwirtschaft wird mitunter die Pflanzung kräftiger Jungpflanzen bevorzugt, da die Aussaat bei intensiver Kultur nicht ganz so problemlos verläuft und oft zu Fehlstellen im Bestand führt.

Verbreitung und Verwendung

Die Durchwachsene Silphie stammt aus der gemäßigten Klimazone Nordamerikas und ist in den östlichen Bundesstaaten der USA sowie Kanadas verbreitet.

In Deutschland wird sie von einzelnen Landwirtschaftsbetrieben als Futter- und Silagepflanze angebaut. Bei Kleingärtnern ist sie durch ihren extensiven Anbau und die Langlebigkeit als Nutzpflanze beliebt. Ebenso bei Imkern, da Korbblütler für Bienen und andere Insekten interessant sind.

Nutzung als Energiepflanze



Der beachtliche Habitus der Durchwachsenen Silphie (Silphium perfoliatum)

Die Durchwachsene Silphie wird als Nutzpflanze bislang ausschließlich zu Forschungszwecken angebaut. Sie wird als potenzielle Energiepflanze angesehen und ist vor allem aufgrund ihrer Anpassung an trockene Standorte interessant, da sie, anders als etwa Mais, ihre Feuchtigkeit nicht nur aus dem Boden, sondern auch aus den Blattbechern beziehen kann. Zudem zeichnet sie sich durch eine hohe Biomasse und eine hohe Biogasausbeute aus, die mit Energiemais vergleichbar sind. So produziert die Durchwachsene Silphie im Anbau ab dem zweiten Jahr zwischen 13 und 20 Tonnen Biomasse pro Hektar Anbaufläche. Bei Versuchen in Thüringen wurden Erträge von 18 bis 28 t Trockenmasse ab dem 2. Standjahr erreicht.[1]

Da die Durchwachsene Silphie in Nordamerika in mit mitteleuropäischen Klimaverhältnissen vergleichbaren Gebieten vorkommt, lässt sie sich auch in Europa problemlos anbauen. Dabei lässt sie sich über einen Zeitraum von mindestens zehn Jahren regelmäßig beernten. Die Mehrjährigkeit der Silphie bietet weitere Vorteile gegenüber dem Mais. Durch die Beschattung des Bodens durch das Blattwerk werden ab dem 2. Anbaujahr keine Herbizide benötigt. Zudem wird eine Bodenerosion weitgehend vermieden.[2]

Allerdings sind die Kosten im ersten Pflanzjahr relativ hoch. Eine Direktsaat nach heutigem Stand der Technik wird nicht empfohlen da die Jungpflanzen noch nicht konkurrenzstark genug gegenüber Unkräutern sind. Stattdessen wird eine Pflanzung vorkultivierter Jungpflanzen empfohlen. Auch dann ist im ersten Jahr eine Unkrautbekämpfung notwendig, da die Pflanzen zunächst nur eine Blattrosette am Boden ausbilden und weiterhin konkurrenzschwach sind. Da noch keine Pflanzenschutzmittel für die Silphie zugelassen sind, müssen Unkräuter mit einer Maschinenhacke bekämpft werden.[3] Die hohen Kosten im ersten Anbaujahr stellen bisher eine Barriere für den Anbau in der Praxis dar, auch wenn diese durch die geringen Kosten in den Folgejahren und die lange Nutzungsdauer ökonomisch wenig ins Gewicht fallen.

Weblinks

- Porträt auf energiepflanzen.info [4]
- Porträt in der USDA Plants database [5]

Referenzen

[1] K. Arnold, J. von Geibler, K. Bienge, C. Stachura, S. Borbonus und K. Kristof: 'Potenziale der Bioenergie. Chancen und Risiken für landwirtschaftliche Unternehmen', DLG-Verlag, Band 204, S. 158-159, ISBN 978-3-7690-3160-7

[2] *Neuer Rohstoff: ausdauernde Pflanzen*, Pressemitteilung der Universität Bayreuth vom 29.09.2009 (http://www.idw-online.de/de/news336063)

[3] Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2008: *Anbautelegramm Durchwachsene Silphie (Silphium perfoliatum L.)*, pdf (http://www.tll.de/ainfo/pdf/silp0208.pdf)

- E -

Eichen

Eichen

Stieleiche (*Quercus robur*), Illustration
Systematik
Kerneudikotyledonen Rosiden Eurosiden I *Ordnung:* Buchenartige (Fagales) *Familie:* Buchengewächse (Fagaceae) *Gattung:* Eichen
Wissenschaftlicher Name
Quercus
L.

Die **Eichen** (*Quercus*) sind eine Gattung von Laubgehölzen aus der Familie der Buchengewächse (Fagaceae). Der deutsche Name ist mit dem lateinischen *esca* = Speise verwandt, was darauf hinweist, dass die Früchte des Baumes früher große Bedeutung für die Schweinehaltung hatten.

Die Gattung umfasst etwa 600 Arten, davon 450 in der Untergattung *Quercus* und 150 in der Untergattung *Cyclobalanopsis*. Bei dem römischen Autor Quintus Ennius (239–169 v. Chr.) findet sich der früheste literarische Beleg für den lateinischen Namen des Baums, 'quercus'.[1]



Eiche am Wegesrand

Beschreibung

Eichen sind sommergrüne oder immergrüne Bäume, seltener auch Sträucher. Die wechselständigen, einfachen Laubblätter sind gelappt oder ungelappt. Die Blattränder sind glatt oder gezähnt. Die Nebenblätter fallen früh ab.

Eichen sind einhäusig getrenntgeschlechtig (monözisch); die Blütenstände sind eingeschlechtig. Die Blüten sind sehr einfach gebaut, wie es bei windbestäubten (anemophilen) Taxa häufig der Fall ist. Die männlichen Blüten sind in hängenden Blütenständen (Kätzchen) zusammengefasst. Die Blütenhüllblätter sind verwachsen. Die männlichen Blüten enthalten (zwei bis) meist sechs (bis zwölf) Staubblätter. Die weiblichen Blüten enthalten meist drei (bis sechs) Fruchtblätter und Stempel. Jede Cupula enthält nur eine weibliche Blüte.



Blütenstände einer Eiche

Eichen sind insbesondere an ihrer Frucht, der Eichel, zu erkennen und in den einzelnen Arten zu unterscheiden. Die Eichel ist eine Nussfrucht. Die Früchte sind von einem Fruchtbecher eingeschlossen, der *Cupula* genannt wird.



Frucht einer Eiche (Eichel)

Ökologie

Schon von alters her ist den Menschen aufgefallen, dass Eichen eine ungewöhnliche Vielfalt von Insekten beherbergen (bis zu 1000 Arten in einer Krone). Die Spezialisierung zahlreicher Insekten auf diese Bäume gilt als ein Zeichen des hohen entwicklungsgeschichtlichen Alters (Koevolution).

Die Eiche ist Nahrungshabitat der Raupen von vielen Schmetterlingsarten. Sie wird in Mitteleuropa nur von der Salweide übertroffen. Beide beherbergen über 100 Arten.[2]

Verbreitung

Arten gibt es in Nordamerika, Mexiko, auf den Karibischen Inseln, in Zentralamerika, in Südamerika nur in Kolumbien, in Eurasien und in Nordafrika. *Quercus* ist die wichtigste Laubbaumgattung der Nordhalbkugel. Ein Schwerpunkt der Artenvielfalt ist Nordamerika.

In Deutschland sind die Eichen mit einem Anteil von neun Prozent des Bestandes im Flach- und Hügelland nach den Buchen die verbreitetste Laubbaum-Gattung. Noch höhere Anteile an den Beständen in einigen Wäldern nahe der Küste etwa im Lübecker Stadtwald sind noch immer auf die Bedeutung der Eiche für den Schiffbau im Mittelalter zurückzuführen. In Deutschland kommt die Eiche vor allem in Mischwäldern vor. Größere Eichenwälder sind selten.

Eichen traten bereits im Tertiär auf. Sie finden sich fossil schon vor zwölf Millionen Jahren, etwa in Sedimenten der Niederrheinischen Bucht.



Eichenblatt mit Frostüberzug



Eichenlaub und Früchte



Eichenlaub im Herbst

Krankheiten und Schädlinge

- Eichengallwespen: Diese verursachen die Bildung der Gallen auf den Blättern, die den Baum jedoch kaum beeinträchtigen.
- Eichenwickler
- Eichenmehltau (*Microsphaera alphitoides*)
- Eichen-Prozessionsspinner

Siehe auch: Eichenkrankheiten [3]

Systematik

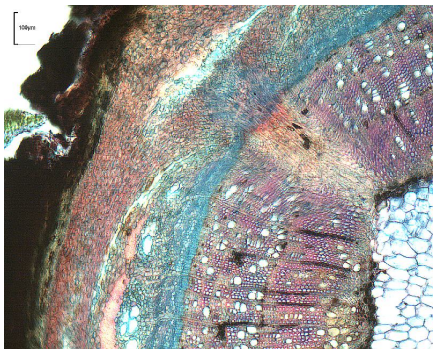
Die Gattung enthält etwa 400 Arten. Die Gattung wird in die Untergattungen *Quercus* (die wiederum in Sektionen, darunter Weißeichen, Zerreichen und Roteichen gegliedert ist) und *Cyclobalanopsis* unterteilt (Arten-Auswahl):

Untergattung *Quercus*

- Sektion *Quercus*; synonym: *Lepidobalanus*; **Weiß-Eichen**; Vorkommen: Europa, Asien, Nordafrika, Nordamerika
  - Amerikanische Weiß-Eiche (*Quercus alba*)
  - Orientalische Weiß-Eiche (*Quercus aliena J. G. Jack*)
  - Zweifarbige Eiche (*Quercus bicolor*)
  - Blau-Eiche (*Quercus douglasii* Hook. & Arn.)
  - Portugiesische Eiche (*Quercus faginea* Lam.)
  - Gall-Eiche (*Quercus infectoria* Olivier)
  - Gambel-Eiche (*Quercus gambelii* Nutt.)
  - Leierförmige Eiche (*Quercus lyrata* Walt.)
  - Bur-Eiche (*Quercus macrocarpa* Michx.)

- Persische Eiche (*Quercus macranthara*)
- Korb-Eiche (*Quercus michauxii* Nutt.)
- Mongolische Eiche (*Quercus mongolica* Fisch. ex Turcz.)
- Gelbe Eiche (*Quercus muehlenbergii* Engelm.)
- Traubeneiche (*Quercus petraea*)
- Flaumeiche (*Quercus pubescens*)
- Stieleiche oder Deutsche Eiche (*Quercus robur*)
  - Säuleneiche (Pyramideneiche) (*Quercus robur fastigata*)
- Virginia-Eiche oder Lebens-Eiche (*Quercus virginiana*)
- Arizona-Eiche (Quercus arizonica)

- Sektion *Mesobalanus*; wird oft zur Sektion *Quercus* gezählt; Vorkommen: Europa, Asien, Nordafrika
  - Algerische Eiche (*Quercus canariensis* Willd.)
  - Ungarische Eiche (*Quercus frainetto* Tenore)
  - Armenische Eiche (*Quercus pontica*)
- Sektion *Cerris*; **Zerr-Eichen**; Vorkommen: Europa, Nordafrika, Asien
  - Japanische Kastanien-Eiche, auch „Gesägte Eiche“ oder „Seidenraupen-Eiche“ (*Quercus acutissima*)
  - Erlenblättrige Eiche (*Quercus alnifolia*)
  - Kastanienblättrige Eiche (*Quercus castaneifolia* C. A. Meyer)
  - Zerr-Eiche (*Quercus cerris*)
  - Baumförmige Kermes-Eiche (*Quercus calliprinos* L.)
  - Kermes-Eiche (*Quercus coccifera* L.)
  - Steineiche (*Quercus ilex*)
  - Libanon-Eiche (*Quercus libani*)
  - Korkeiche (*Quercus suber*)
  - Mazedonische Eiche (*Quercus trojana*)
  - Chinesische Korkeiche (*Quercus variabilis* Bl.)
- Sektion *Protobalanus*; Vorkommen: Südwestliche Vereinigte Staaten, nordwestliches Mexiko
- Sektion *Lobatae*; synonym: *Erythrobalanus*; **Roteichen**; Vorkommen: Nord-, Mittel- und Südamerika
  - Scharlach-Eiche (*Quercus coccinea*)
  - Pagodenblättrige Eiche (*Quercus falcata* Michx.)
  - Zwerg-Eiche oder Nordamerikanische Straucheiche (*Quercus ilicifolia* Wangenh.)
  - Schindel-Eiche (*Quercus imbricaria* Michx.)
  - Gabel-Eiche (*Quercus laevis* Walt.)
  - Kalifornische Schwarzeiche (*Quercus kelloggii*)



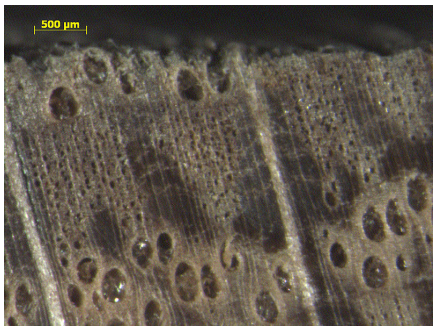
Zweig einer Eiche im Querschnitt



Herbstliches Eichenlaub



Balkenprobe aus dem Rathaus von Gödenroth (Eichenholz)



Großaufnahme Eichenquerschnitt

- Nordamerikanische Roteiche (*Quercus lobata* Nee.)
- Schwarz-Eiche (*Quercus marilandica* Muench.)

- Myrtenblättrige Eiche (*Quercus myrtifolia* Bl.)
- Sumpf-Eiche (*Quercus palustris*)
- Roteiche (*Quercus rubra*)
- Shumards-Eiche (*Quercus shumardii* Buckl.)
- Färber-Eiche (*Quercus velutina*)

Untergattung *Cyclobalanopsis*

- Sektion *Cyclobalanopsis*; Vorkommen: Asien
  - Immergrüne Japanische Eiche (*Quercus acuta*, auch Japanische Roteiche genannt)
  - Blaue Japanische Eiche (*Quercus glauca* Thunb.)
  - Kerr-Eiche (*Quercus kerrii*)
  - Bambusblättrige Eiche (*Quercus myrsinifolia* Bl., auch Japanische Weißeiche genannt)

Informationen zu einzelnen Arten



Bizarre Eiche, Forstort Stadtwald Flensburg.

Die in Mitteleuropa heimischen Stiel- und Trauben-Eichen sind typische Vertreter der Weißeichen, wobei diese beiden Arten in weiten Bereichen gemeinsam vorkommen und zur Bastardisierung neigen, daher häufig nicht eindeutig zu differenzieren sind. Sie haben Blätter mit abgerundetem Rand. Sie sind sogenannte Lichtbaumarten, das heißt sie benötigen im Wachstum mehr Licht als etwa die Rotbuche und bilden selbst offene, lichte Kronen. Die Nutzung von Wäldern zur Waldweide (Hutewald) hat deshalb die Ausbildung von Eichenwäldern gefördert, weil die weidenden Tiere den Nachwuchs der Rotbuchen gehemmt haben. Das verkernende Holz der Weißeichen ist sehr dauerhaft und wurde viel im Schiffbau verwendet. Die heimischen Arten bieten etwa 350 Insektenarten einen Lebensraum.

Die ursprünglich im östlichen Nordamerika heimische Roteiche wird erst seit etwa 100 Jahren in Mitteleuropa angebaut. Man findet die Roteiche in Mitteleuropa in Parks und Botanischen Gärten, seltener werden sie in Forsten angebaut.

Roteichen zeichnen sich durch spitze Blätter aus, sowie durch Eicheln, die innerhalb von zwei Jahren reifen. Das Holz der Roteichen ist aufgrund von Porengängen nicht wasserdicht, und daher weniger wertvoll als das der Weißeichen. Es wird aufgrund der lebhaften Maserung vielfach für Möbel verwendet.

Mooreiche

Eine Besonderheit stellt die Mooreiche dar. Dabei handelt es sich nicht um eine Baumart, sondern um Eichenstämme, die über Jahrhunderte in Mooren, Sümpfen oder in Flussufern gelegen hatten und ausgegraben wurden. Die Gerbsäure des Eichenholzes verbindet sich mit den Eisensalzen des Wassers, wodurch das Holz sehr hart wird und sich stark verfärbt. Die Verfärbung kann sehr unregelmäßig sein und variiert von hellgrau über dunkelgelb, dunkelbraun, blaugrau bis tiefschwarz. Diese subfossilen Eichen können 600 bis 8500 Jahre alt sein.

Kulturelles

Religion

In den alten Religionen, Mythen und Sagen war die Eiche ein heiliger Baum. Häufig wurde sie mit blitztragenden Göttern oder Götterfürsten in Verbindung gebracht.

- Christentum und Judentum: So warnt in der Bibel der Prophet Jesaja im 8. Jahrhundert v. Chr. die Israeliten: „Ihr liebt eure heiligen Eichen und umgebt sie liebevoll mit Hecken. Von den Götzen, die ihr dort verehrt, erwartet ihr neue Lebenskraft. Es wird eine bittere Enttäuschung für euch werden!“, Jes 1,29
- antikes Griechenland: dem Zeus geweiht bei den Griechen (Eichenorakel von Dodona)
- Rom: dem Jupiter geweiht bei den Römern,
- Kelten: Dem Himmelsherrscher und Wettergott Taranis gewidmet. Durch den römischen Geschichtsschreiber Plinius dem Älteren ist überliefert worden, dass die Kelten ohne Eichenlaub gar keine kultischen Handlungen vollzogen. Die sakrale Bedeutung der Eichen für die Kelten ist auch daran zu erkennen, dass das keltische Wort Druide für Priester von *duir* abgeleitet ist, was Eiche bedeutet. Auch die Wörter Türe und Tor haben ihren Ursprung im keltischen *duir*. Wer widerrechtlich einen Eichhain fällte, der war dem Tode geweiht.
- Germanen: dem Gewittergott Donar (= Thor) geweiht. Die Sachsen beteten die Irminsul an. Es wird vermutet, dass es sich dabei um eine hohle Eiche handelte. Der heilige Bonifatius (Apostel der Deutschen) fällte die Donareiche bei Geismar im Jahr 723, um den zu bekehrenden Heiden zu beweisen, dass ihr Gott ein ohnmächtiges Wesen sei, das nicht einmal seinen Baum schützen könne.

Recht

- Wegen der religiösen Bedeutung wurde unter den Eichen (wie auch unter Linden) Gericht gehalten (Gerichtsbäume, zum Beispiel Femeiche).

Symbolik

- Symbol für die Ewigkeit (ein Eichenleben überdauert 30 Generationen)
- „Eichenbaum“
  - Deutschland: seit dem 18. Jahrhundert typischer deutscher Wappenbaum; insbesondere von Klopstock beförderter deutscher Nationalbaum
  - Großbritannien
  - Vereinigte Staaten
- „Doppeleiche“
  - Symbol für die Einheit Schleswig-Holsteins. In vielen Dörfern des Landes wurden um 1900 Doppeleichen, das heißt zweistämmige Eichen, gepflanzt. Im Schleswig-Holstein-Lied heißt es: *Teures Land, du Doppeleiche, unter einer Krone Dach.*
- „Eichenlaub“
  - Ornament in der Gotik
  - Bestandteil von militärischen Rang- oder Ehrenzeichen:
    - Schulterstücke der Stabsoffiziere und Generale der deutschen und vieler anderer Armeen.
    - Ritterkreuz des Eisernen Kreuzes
  - Bestandteil deutscher Münzen



Eichen und Eicheln werden auch oft in Wappen verwendet. Hier das Gemeindewappen von Kirchardt.

- Vordseiten vieler Münzen der Goldmark, Reichsmark, Mark der DDR und Deutschen Mark
- Rückseiten der Pfennigstücke Deutschen Mark (1–10 Pfennig Eichenlaub, 50 Pfennig Eichen-Pflanzerin)



Eichenzweig – Rückseite der letzten deutschen Pfennigstücke

- Rückseiten der deutschen Euromünzen zu 1, 2 und 5 Cent.

- „Eicheln“
  - Blattfarbe im Deutschen Blatt (Kartenspiel)
- „Eichenkranz“
  - Bürgerkrone im alten Rom
  - Parteiabzeichen der NSDAP; der Adler als Hoheitszeichen hielt einen Eichenkranz in den Fängen
  - Finnischer Orden des Freiheitskreuzes

Lieder

- Auch im deutschen Liedgut kommt der Eiche eine herausragende Bedeutung bei, wie etwa beim Niedersachsenlied: „(…) Fest wie uns’re Eichen halten allezeit wir stand, wenn Stürme brausen über’s deutsche Vaterland.“

Archäologie

In der Archäologie kann Eichenholz mit einer ausreichender Anzahl von Jahressringen mit Hilfe der Dendrochronologie zur Datierung herangezogen werden. Dies ist insbesondere bei der Datierung von Ereignissen hilfreich, die in vorgeschichtlicher Zeit stattgefunden haben. Die nordamerikanische Archäologie muss sich zu einem sehr großen Teil auf solche Methoden verlassen, da es keinerlei schriftliche Quellen aus der Zeit vor der europäischen Besiedelung gibt.

In den ur- und frühgeschichtlichen Siedlungen Europas gibt es viele Funde geschälter, verkohlter Eicheln allerdings selten in solchen Mengen wie in vielen Siedlungsgruben der bronzezeitlichen Siedlung Dortmund Oespel/Marten. Die Eicheln verkohlten vermutlich bei einem misslungenen Röstvorgang. Da Schälen und Rösten nicht erforderlich sind, wenn Eicheln als Schweinefutter dienen, ist anzunehmen, dass sie für den menschlichen Verzehr genießbarer gemacht werden sollten. Solche Vorgehensweisen kennen wir auch aus historischen Notzeiten. Das gehäufte Auftreten macht es jedoch fraglich, ob Eicheln nur in Notzeiten gegessen wurden. Eher waren sie eine leicht zu bevorratende Ergänzung im Speiseplan.

Sonstiges

- Der Volksmund legt nahe, dass Eichen häufiger als andere Bäume vom Blitz getroffen werden („Eichen sollst du weichen, Buchen sollst du suchen“). Diese Aussage ist unwahr, vergleiche auch den Artikel über Blitze, Abschnitt „Verhalten bei Gewittern“.
- Der Künstler Joseph Beuys präsentierte in Kassel zur documenta 7 das Werk „7000 Eichen“.

Nutzung

Eichenholz



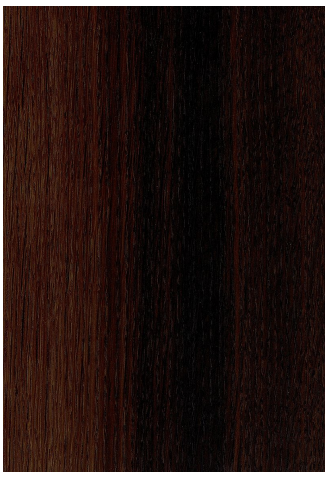
Holz der Trauben-Eiche

Eichenstämme haben in ihrer Mitte das graubräunliche Kernholz, welches durch die eingelagerte Gerbsäure den typischen sauer-würzigen Eichengeruch und eine hohe Verrottungsbeständigkeit erhält; zur Rinde hin und scharf abgegrenzt sind zwei bis fünf Zentimeter helles, junges, noch saftdurchflossenes Holz, das Splintholz, das in wenigen Jahren wegrottet. Eichenpfähle halten zum Beispiel im Wiesenboden 10 bis 20 Jahre, jedoch zerfressen Waldbodenpilze die Eiche auch rascher. Das Holz der Stiel- und Traubeneiche hat eine Rohdichte bei Darrfeuchte (p0) von 0,39 bis 0,93 0,65 g/cm³, im Mittel 0,65 g/cm³.



Holz der Mooreiche

Das Holz ist wertvolles Hartholz und wird für Tischplatten, Böden und Furniere verwendet. Das Holz diente vor allem historisch dem Haus- und Schiffbau. Eichenholz hat, ebenso wie Robinie, eine hohe Verrottungsbeständigkeit. Es wird selten von Wurmfraß befallen. Es ist für feuchtebeanspruchte Bauteile ein sehr gutes Bauholz. Es wird für Treppen, Parkettfußböden, Außentüren, Schwellen, Holzfachwerk und im Wasserbau eingesetzt.



mit Salmiak geräuchertes Eichenfurnier

Eichenholz gilt zudem als gutes Brennholz, da es einen hohen Heizwert hat und sehr lange brennt. Zudem ist es gut von Hand spaltbar und lässt sich extrem lange lagern. Es verursacht im Kamin oder Ofen nur wenig Funkenflug und -spritzer. Sein Flammenbild ist jedoch nicht so schön wie bei Buchen- und Birkenholz oder bei Obsthölzern; außerdem ist der Heizwert etwas niedriger als bei der Rotbuche: Sieben Kubikmeter Buchenholz liefern denselben Heizwert wie acht Kubikmeter Eichenholz.

Trotz dieses niedrigeren Brennwertes und obwohl Stiel- und Traubeneiche deutlich langsamer wachsen als Buche, wurde in Mitteleuropa immer die Eiche als Waldbaum gefördert, da sie Mast für das Vieh lieferte und sie hauptsächlich als wertvolles Bauholz genutzt wird.

Eicheln, Rinde, Gallen

Die Früchte (Eicheln) sind reich an Kohlenhydraten und Proteinen und wurden zur Eichelmast genutzt. Man trieb die Schweine zur Waldweide in die Wälder. In ur- und frühgeschichtlicher Zeit sowie in Notzeiten wurden Eicheln von Menschen als Nahrungsmittel genutzt. Dazu müssen die geschälten und zerstoßenen Eicheln, durch mehrmaliges Baden im Wasser, allmählich von den wasserlöslichen Gerbstoffen befreit werden, was sich durch die ausbleibende Verfärbung des Wassers leicht erkennen lässt, wobei eine höhere Temperatur den Vorgang beschleunigt. Danach können sie, zum Beispiel als Mehlersatz für Breie und Kuchen oder als Kaffeeersatz „Muckefuck“, verarbeitet werden, wobei bei letzterer Verwendung die Gerbsäure wahlweise auch nicht oder nicht vollständig entzogen werden kann, etwa aus medizinischen Gründen.[3]

Aus der jungen, glatten Rinde wurden Gerbstoffe für die Lohgerberei gewonnen (Eichenschälwald). Die Borke der Korkeiche (*Quercus suber*) wird als Kork zur Herstellung von Korken, Korkfußböden und mehr verwendet. Von allen Eichenarten eignen sich nur ungefähr 180 zur Herstellung von Weinfässern, siehe auch Barrique. In der Volksheilkunde wurde borkenlose Eichenrinde genutzt, um Entzündungen im Mund und der Schleimhäute zu heilen.

Aus den Galläpfeln, die von der gemeinen Eichengallwespe hervorgerufen werden, hat man früher dokumentenechte Eisengallustinte gewonnen.

Medizin und Pharmakologie

Alle Teile der Eiche, besonders unreife Eicheln, sind wegen der enthaltenen Gerbstoffe giftig und können zu gastrointestinalen Symptomen (Magenschleimhautreizung, Erbrechen, Durchfälle) führen (siehe dazu den Artikel: Liste giftiger Pflanzen). Die Eiche wird auf Grund dieses Gerbstoffgehaltes ihrer Rinde aber auch als Heilpflanze eingesetzt. Gesammelt wird die frische Eichenrinde im Frühjahr. Getrocknet und gemahlen kann daraus ein Sud gekocht werden, der sowohl äußerlich als auch als Tee (nie mehr als zwei Tassen täglich) angewandt wird.
Anwendungsgebiet innerlich: schwere chronische Entzündungen des Magen-Darm-Traktes.
Anwendung äußerlich: Einreiben von nässenden Ekzemen oder heißen Entzündungen.

Indirekte Gefahr: Der in Mitteleuropa immer stärker auffindbare Eichen-Prozessionsspinner siedelt sich ausschließlich auf Eichen an und birgt für den Menschen Gefahren: Die Larven des Eichen-Prozessionsspinners tragen Gifthaare, die auf der Haut und an den Schleimhäuten toxische und/oder allergische Reaktionen hervorrufen. Die Beschwerden reichen von heftig juckenden Hautausschlägen (Raupendermatitis) bis zu Asthmaanfällen. Da die mikroskopisch kleinen Gifthaare bis zu hundert Meter weit mit dem Wind vertragen werden können, stellen sie eine wichtige, bis jetzt allerdings wenig beachtete Ursache einer luftübertragenen Krankheit dar.

Bekannte Eichen



1000-jährige Eiche in Nöbdenitz im Altenburger Land, Thüringen.

Die älteste Eiche in Europa soll die 1000-jährige Eiche Bad Blumau (Oststeiermark) sein. Zumindest wurde sie schon im Jahr 990 erstmals urkundlich erwähnt und wird auf etwa 1200 Jahre geschätzt. Ihr Stammumfang beträgt 8,75 Meter. Nach anderen Angaben soll eine Stieleiche in Bulgarien im Ort Granit, Bezirk Stara Zagora mit 1640 Jahren wohl der älteste Laubbaum Europas sein. Die älteste Eiche Deutschlands ist die Femeiche in Raesfeld-Erle, Kreis Borken, deren Alter auf bis zu 1500 Jahre geschätzt wird (Quelle: Brockhaus Enzyklopädie). Einen Stammumfang von 9,5 Metern hatte 1924 eine mächtige Eiche am Rande der Pommerschen Schweiz in der Gegend von Bad Polzin, die in einer Urkunde von 1321 als Grenzmal zwischen dem Land Belgard und dem bischöflichen Land Arnhausen genannt wurde und die als eine der ältesten von ganz Pommern galt. Als ihr Standort wird 1924 der (halbstündige) Wanderweg angegeben, der von Neu-Lutzig (*Nowe Ludzicko*) über den Bahnhof Lutzig (Bahnhof *Stare Ludzicko*) nach Dewsberg (*Dziwogóra*) führt.[4]

Siehe auch: Liste der dicksten Eichen in Deutschland

- Betteleiche im Nationalpark Hainich: 600 bis 800-jährige Eiche mit 13 Meter Höhe, 5,6 Meter Umfang und geteiltem Stamm
- Blüchereiche in Ratekau
- Bräutigamseiche in Dodau bei Eutin
- Dicke Eiche (Eisenach) in Berteroda: 1000-jährige Stieleiche Umfang 9,62 Meter und 16 Meter Höhe
- Chełmoński-Eiche, Radziejowice (Woiwodschaft Masowien) Polen
- Donareiche
- Eiche am Emmertshof: Stammumfang 9,85 Meter, Kronenhöhe rund 20 Meter, größter Durchmesser über 30 Meter
- Femeiche in Erle (Kreis Borken)
- Friederikeneiche (ca. 1200 Jahre alt) im Hasbruch nahe der Stadt Delmenhorst
- Grafeneiche in Harsum-Asel, Niedersachsen, Alter etwa 1000 Jahre.
- Königseiche, eine etwa 610 Jahre alte Stieleiche am Nordrand des Ortes Volkenroda (Unstrut-Hainch-Kreis). Stammumfang 9,5 Meter, Höhe 23 Meter
- Grabeiche in Nöbdenitz (laut Guinness-Buch der Rekorde die älteste Stieleiche in Europa)
- Grenzwalleiche am Limes
- Hammundeseiche – Stammumfang: 8,77 Meter, Alter 400 bis 600 Jahre bei Friedewald (Landkreis Hersfeld-Rotenburg)
- „Hüter des Feldes“ bei Lichtenfels (Oberfranken) (ca. 1000 Jahre)
- Ivenacker Eichen in Ivenack bei Stavenhagen
- Kaisereichen
- Linden-Eiche, North Bethesda, Maryland, Vereinigte Staaten
- Luthereichen,
  - Luthereiche (Wittenberg)
- Pommersche Grenzmal-Eiche bei Lutzig (*Stare Ludzicko*) in Hinterpommern; Stammumfang (1924) 9,5 Meter
- Russeneiche, Stammumfang 5 Meter, Alter 200 Jahre bei Rehbach im Odenwald
- Rieseneiche Niedergurig, Stammumfang 9,50 Meter Alter 700 bis 800 Jahre
- Sokół-Eiche in Polen
- Sankt-Wolfgangs-Eiche, Stammumfang 8,4 Meter, Alter 1250 Jahre, bei Schloss Haus nahe Regensburg

- Stundeneiche bei Ludwigsfelde,
- Tausendjährige Eiche bei Schloss Nagel. Stammumfang 9,1 Meter, Höhe 33 Meter
- Zigeunereiche in Polen

Siehe auch

- Markante und alte Baumexemplare in Deutschland
- Eichenmistel (Schmarotzerpflanze)
- Echte Trüffel

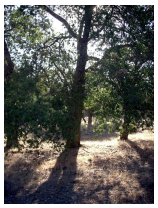
Literatur

- Joachim Krahl-Urban: *Die Eichen. Forstliche Monographie der Traubeneiche und der Stieleiche.* Parey, Hamburg 1959
- Wolf Dieter Becker: *Von verkohlten Nahrungsvorräten, geheimnisvollen Wällen und bitteren Mahlzeiten – Archäobotanische Untersuchungen in Westfalen.* In: Ein Land macht Geschichte Archäologie in Nordrheinwestfalen. Köln 1995 ISBN 3-8053-1801-4 S. 191-194

Filmdokumentationen

- *Der Baum der Bäume. Geheimnisvolle Reise in die Welt der Eichen.* Fernseh-Dokumentation von Herbert Ostwald, Deutschland 2004
- *Die Stundeneiche.* Fernsehdokumentation von Gerd Kroske, Deutschland 2006
- *Choose the most impressive oak in Europe* [6] (englisch)

Bilder



Eiche in Baja California



Tausendjährige Rieseneiche von Borlinghausen



Alte Eiche im Urwald Sababurg



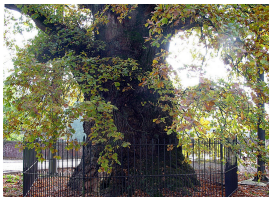
Junge Eiche



Alte Eiche im Winter



Eine Eichel, auffällig durch die gestreifte Maserung



1000-jährige Eiche in Liernu im Belgien



Alte Eiche in Enghien im Belgien



Alte Eiche (Naturdenkmal) am Buchberg in Leonding, Österreich



Sehr junge Eiche



Frucht von *Quercus Macrolepis*

Weblinks

- Beschreibung in der Flora of North America [7] (englisch)
- Beschreibung in der Flora of China [8] (englisch)
- Eintrag bei Plants for a Future [9] (englisch)
- Bestimmungsschüssel und Beschreibung der Eichenarten der iberischen Halbinsel [10] (spanisch, PDF-Datei, 1,34 MB)

Referenzen

[1] Helmut Genaust: *Etymologisches Wörterbuch der botanischen Pflanzennamen.* 2. Auflage. Birkhäuser, Basel 1983, ISBN 3-7643-1399-4.

[2] Helmut Hintermeier: *Der Liguster und seine Gäste.* In: *Allgemeine Deutsche Imkerzeitung.* November 2008, Seiten 30, 31

[3] Erika Lüders: *10 Pfund Eicheln sind 7 Pfund Eichelmehl.* In: Institut für Ernährung und Verpflegungswissenschaft (Hrsg.): *Wiederaufbau der deutschen Ernährung.* Heft 4, Linde, Berlin 1946

[4] *Rügen und die pommersche Küste mit ihrem Hinterland.* 2. Auflage. Bibliographisches Institut, Leipzig 1924 (*Meyers Reisebuch. Deutsche Ostseeküste.* 2. Teil), S. 203.

Echtes Johanniskraut

Echtes Johanniskraut

Echtes Johanniskraut (*Hypericum perforatum*)
Systematik
Klasse: Dreifurchenpollen-Zweikeimblättrige (Rosopsida) *Unterklasse:* Rosenähnliche (Rosidae) *Ordnung:* Malpighienartige (Malpighiales) *Familie:* Johanniskrautgewächse (Hypericaceae) *Gattung:* Johanniskräuter (*Hypericum*) *Art:* Echtes Johanniskraut
Wissenschaftlicher Name
Hypericum perforatum
L.

Das **Echte Johanniskraut** (*Hypericum perforatum*), auch **Tüpfel-Johanniskraut** oder **Tüpfel-Hartheu** genannt, ist eine Pflanze aus der Familie der Johanniskrautgewächse (Hypericaceae). Es ist wegen seiner verschiedenen Inhaltsstoffe wie ätherischer Öle und Gerbstoffe eine seit alter Zeit geschätzte Heilpflanze.[1]

Beschreibung

Merkmale



H. perforatum: Die Blätter erscheinen durch deren Öldrüsen durchlöchert

Das Echte Johanniskraut ist eine ausdauernde Pflanze mit stark verästelter, spindelförmiger, bis 50 cm Tiefe reichender Wurzel. Der 15 cm bis einen Meter hohe aufrechte Stängel ist durchgehend zweikantig und innen markig ausgefüllt (nicht hohl). Dadurch unterscheidet sich das Echte Johanniskraut von anderen Johanniskrautarten. Am oberen Stängelteil ist die Pflanze buschig verzweigt.

Die oval-eiförmigen bis länglich-linealischen Blätter sind mehr oder weniger sitzend, gegenständig angeordnet. Sie werden bis 3 cm lang und sind dicht mit durchsichtigen Öldrüsen besetzt. Am Rand sind die Blätter mit schwarzen Drüsen, durchscheinend punktiert. Bei den zahlreichen Punktierungen handelt es sich um schizogene Ölbehälter, in denen das helle ätherische Öl der Pflanze konzentriert ist.

Der Blütenstand ist eine Trugdolde. Die Blüten sind homogene „Pollen-Scheibenblumen“ in zusammengesetzten Dichasien mit (zur Fruchtzeit gut erkennbaren) Schraubeln. Die fünf Kelchblätter sind bis 5 mm lang, länger als der Fruchtknoten, (ei)-lanzettlich, fein grannenartig zugespitzt, mit hellen und schwarzen Drüsen. Die fünf goldgelben Kronblätter sind bis 13 mm lang, nur auf einer Seite gezähnt und am Rande schwarz punktiert. Sie enthalten in Gewebslücken das blutrote Hypericin, das beim Zerreiben(am besten mehrere Blütenknospen nehmen) auf den Fingern eine Rotfärbung hinterlässt.

Die 50–60 manchmal bis 100 Staubblätter umgeben in drei Büscheln angeordnet den oberständigen, ovalen Fruchtknoten. Aus drei Staubblattanlagen entstehen drei Cluster mit insgesamt bis zu 80 einzelnen Staubblättern: ein zentrifugales Dedoublement, siehe Sekundäre Polyandrie. [2]

Der oberständige Fruchtknoten ist in drei Fächer unterteilt und kürzer sind als die Kelchblätter. Statt Nektar ist ein anbohrbares Gewebe von unsicherer ökologischer Bedeutung vorhanden. Die Frucht ist eine schmal-eiförmige, bis 10 mm lange, geriefte dreifächrige Spaltkapsel.

Die Samen sind länglich, gebogen und fein netzförmige mit einer Länge von ca. einem Millimeter. Die Blütezeit ist Juni bis August.

Die Chromosomenzahl beträgt n = 16,24.[3]

Ökologie

Die Art tritt vorwiegend in größeren Gruppen auf, allerdings sind diese selten bestandsbildend. Als ökologische Zeigerwerte nach Ellenberg wird die Art als Halbschattenpflanze für mäßigwarme bis warme Standorte bei gemäßigtem Seeklima angegeben. Die angezeigte Bodenbeschaffenheit ist danach gleichmäßig trocken bis mäßig feucht und stickstoffarm, niemals jedoch stark sauer. Das Echte Johanniskraut ist eine sommergrüne Schaftpflanze (Überwinterte Pflanze ohne Rosette), und zählt somit zu den Hemikryptophyten.



Blüte von *Hypericum perforatum*

Fremdbestäubung erfolgt durch Pollen suchende Insekten. Besucher sind besonders Bombus-Arten und Bienen- und Schwebfliegen-Arten.

Selbstbestäubung ist durch die räumliche Trennung von Griffelästen und Staubbeutelbündeln erschwert, ist aber beim Schließen der Blüten möglich, wenn die schrumpfenden Kronblätter die Blüte wieder einhüllen.

Die kleinen Samen der bei Trockenheit geöffneten Kapseln werden von Tieren verschleppt (Zoochorie) oder durch den Wind verbreitet (Ballonflieger). Vegetative Vermehrung erfolgt durch Wurzelsprosse.

Die Pflanze ist leicht giftig. Die getrockneten Blüten des Behaarten Johanniskrauts enthalten bis zu 1,4 % des roten Farbstoffes Hypericin. Die Hypericin-Aufnahme führt bei nicht pigmentierten (weißen) Weidetieren (Pferde, Schafe, Ziegen etc.) nach der Bestrahlung durch Sonnenlicht zu Hämolyseerscheinungen.

Verbreitung und Standortansprüche

Das Echte Johanniskraut ist die in Europa am weitesten verbreitete Art seiner Gattung und in Europa, Westasien und Nordafrika heimisch. In Ostasien, Nord- und Südamerika und in Australien ist es eingebürgert worden. Man findet es in tiefen bis mittleren Höhenlagen. Es wächst verbreitet in Gebüschsäumen, an Waldrändern, Wegen und Böschungen, in Magerwiesen und -rasen, in Ginster- und Heidekrautheiden, in Brachen und Waldverlichtungen als Pionierpflanze.

Aufgrund der Verwendung als Heilpflanze wird das echte Johanniskraut landwirtschaftlich angebaut.[4] Gleichzeitig gilt es im übrigen landwirtschaftlichen Anbau als Unkraut.

Systematik

Es werden vier Varianten unterschieden:

- *Schmalblättriges Echtes Johanniskraut* (var. angustifolium): Es hat kleinere Blüten und schmalere Blätter. Diese Variante enthält praktisch kein Rutin, was sie für die pharmazeutische Verwertung weitgehend unbrauchbar macht [5]
- *Breitblättriges Echtes Johanniskraut* (var. latifolium): Es hat breitere Blätter und größere Blüten
- *Kleinblättriges Echtes Johanniskraut* (var. microphyllum): Es hat kleinere Blätter und kleinere Blüten
- *Gewöhnliches Echtes Johanniskraut* (var. perforatum)

Inhaltsstoffe

Johanniskraut guter Qualität enthält durchschnittlich 0,1-0,15% Gesamt-Hypericine (Ph. Eur. 5.0/S. 2485), welche vor allem in den Exkretblättern der Blüten und Knospen lokalisiert sind. Diese setzen sich aus durchschnittlich 0,2–0,3 % Hypericin, Pseudohypericin und ähnlichen Substanzen zusammen. Für die Wirksamkeit sind des Weiteren 2-4% Flavonoide und Bioflavone verantwortlich. Bisher ausschließlich in dieser Art nachgewiesen wurden das antibiotisch wirksame Hyperforin sowie das Adhyperforin in den Blüten (2%) und Früchten (4%).

Nachdem der Hypericingehalt bis 1995 zur Bestimmung der Wirksamkeit der Droge Hyperici herba benutzt wurde, geht man inzwischen davon aus, dass die therapeutische Wirksamkeit durch ein Zusammenwirken mehrerer Wirkstoffe und Wirkmechanismen zusammenkommt. Zur Arzneimittelherstellung werden Hypericingehalte von 0,15% und hohe Flavonoidgehalte gefordert, zudem müssen Grenzwerte für Cadmium (0,5 mg/kg) und Blei (5,0mg/kg) eingehalten werden.

Anbau

Für die Produktion verschiedener Präparate auf Johanniskrautbasis werden Kultursorten des Johanniskrauts unter Feldbedingungen angebaut. Steigender Bedarf, der durch Wildsammlung nicht mehr gedeckt werden konnte, führte zu einer Ausweitung des Anbaus seit den 1990er Jahren. Die Art zählt zu den wichtigsten in Deutschland angebauten und verarbeiteten Arzneipflanzen. 1999 wurde Johanniskraut in Deutschland auf 630 Hektar angebaut, vor allem in Thüringen. In Österreich (Waldviertel) wurden 1999 bis zu 240 ha kultiviert. Derzeit sind es immer noch etwa 50 ha

(2009). Auch in Polen und Südamerika wird die Pflanze kultiviert.

Zum Anbau eignen sich magere, humose Böden in sonniger Lage, ideal sind unkrautarme Flächen mit guter Wasseraufnahme. Da Johanniskraut bei saurer Bodenreaktion verstärkt das für Menschen giftige Cadmium aufnimmt und daher als Akkumulatorpflanze zählt, sollte der ph-Wert des Bodens neutral oder leicht basisch sein, zudem sind Standorte mit erhöhter Cadmiumbelastung (z.B: Schieferverwitterungsböden) ungeeignet.

Bei der Züchtung geeigneter Sorten spielt die Anfälligkeit gegenüber der Pilzkrankheit Rotwelke eine wesentliche Rolle. Es stehen mehrere Sorten zur Verfügung, (Stand: 26. April 2004[6]): Anthos, Hyperixtrakt, Motiv, Uperikon, Hyperimed, Hyperiflor,Vitan, Hyperipharm und Hyperisol.

Die Aussaat erfolgt im Frühjahr oder Herbst, auch eine Pflanzung vorgezogener Setzlinge im Frühjahr ist möglich. Gedüngt wird nur wenig, vor allem hohe Stickstoffgaben senken den Hypericingehalt in der Droge. Unkraut muss per Striegel sowie mit Maschinen- und Handhacke reguliert werden, gegen die Rotwelke darf nach der Ernte ein Fungizid eingesetzt werden.

Die Kultur erfolgt über zwei bis drei Jahre, geerntet wird ein bis zwei mal jährlich. Dabei werden die Knospen, Blüten und Zweigspitzen zur Blütezeit geerntet. Für Frischware wird das Kraut von Hand oder mit einer Pflückmaschine geerntet. Zur Trocknung vorgesehenes Gut wird mit Spezialmaschinen oder umgebauten herkömmlichen Erntemaschinen (Mähdrescher, Feldhäcksler) eingebracht. Die Krauterträge schwanken stark und liegen zwischen 4 und 26 t Frischmasse pro Hektar.

Dem Erntegut wird unmittelbar nach der Ernte bei 40-60 Grad Celsius auf Satz-, Horden- oder Bandtrocknern das Wasser bis auf 10% Restfeuchte entzogen.

Krankheiten

- Rotwelke (Erreger: Colletotrichum gloeosporioides)

Schädlinge

- Johanniskraut-Blattkäfer (Chrysomela hyperici)
- Schattenwickler (Cnephasis sp.)
- Blattwespenlarven (Tenthredinidae)

Verwendung als Heilpflanze

Bereits in der Antike wurde Johanniskraut als Heilpflanze verwendet. Heute wird es als pflanzliches Arzneimittel wegen seiner leicht stimmungsaufhellenden Wirkungen zur Behandlung von leichten bis mittleren depressiven Verstimmungen oder nervöser Unruhe eingesetzt. Äußerlich werden ölige Zubereitungen angewendet.

Verwendung in der Medizin

Seit mehreren Jahren wird Johanniskraut häufig für leichte bis mittelschwere Fälle von Depression angewandt. Es gibt Studien, in denen hochdosiertes Johanniskraut ähnlich gut wirksam war wie das synthetische Antidepressivum Paroxetin.[7] Dabei ist – wie bei allen Medikamenten – die Dosierung (s. u.) zu beachten.

Die Wirksamkeit von Johanniskraut in der Therapie der Depression ist dennoch umstritten, denn es gibt sowohl klinische Studien, die eine Wirksamkeit belegen, als auch solche, die keine Überlegenheit gegenüber Placebo zeigen. Ein Cochrane-Review kam 2005 zu dem Schluss, die Datenlage sei „inkonsistent und verwirrend“.[8] Eine aktuelle Metaanalyse schließt, die Wirkung von Johanniskraut sei noch am besten bei milder oder mittelgradiger Depression nachgewiesen, habe aber auch ein erhebliches Nebenwirkungspotential.[9] Dabei ist zu berücksichtigen, dass viele, wenn nicht alle wirksamen Medikamente, seltener oder häufiger, mehr oder weniger starke Nebenwirkungen verursachen.

Ein Cochrane-Review aus dem Jahr 2008 wertete 29 Studien mit zusammen mehr als 5000 Patienten aus, bei denen nach DSM- oder ICD-10-Kriterien eine Depression („*major depressive disorder*“) vorlag. Die Wirksamkeit von Johanniskraut war gegenüber Placebo überlegen und erwies sich vergleichbar mit synthetischen Antidepressiva, bei besserer Verträglichkeit und geringeren Abbruchraten.[10]

Das Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen geht davon aus, dass Johanniskraut einen Effekt bei leichten Depressionen hat. Generell gab es jedoch eine deutliche Abhängigkeit des Effektschätzers von der Studienqualität: je schlechter die Qualität der Studien, desto größer stellt sich das Ausmaß der aufgezeigten Effekte dar und umgekehrt. Bei Betrachtung allein derjenigen Studien mit der besten methodischen Qualität zeigt Johanniskraut nur einen sehr geringen Effekt. Weiterhin geht das Institut davon aus, dass Johanniskraut bei schweren Depressionen nicht hilft. Es erwies sich bei schweren Depressionen in keiner Studie als dem Placebo überlegen.[11]

Die jetzigen Studien liefern noch nicht genügend Daten, um unterschiedliche Johanniskraut-Extrakte miteinander vergleichen zu können oder die optimale Dosis zu ermitteln.[12] Bei leichten Depressionen konnte jedoch in einer Studie eine Dosis-Wirkungsbeziehung experimentell nachgewiesen werden.[13]

Verwendung in der Volksmedizin

Volksmedizinisch wird Johanniskraut als Tee und Tinktur auch bei Menstruationsbeschwerden und pubertätsbedingten Verstimmungen verwendet.

Das *Rotöl* wird als Einreibemittel bei Hexenschuss, Gicht, Rheuma, zur Schmerzlinderung und Wundheilung nach Verrenkungen und Verstauchungen, bei Blutergüssen und Gürtelrose verwendet, kann aber auch innerlich angewandt werden. Man gewinnt es indem man Johanniskrautblüten zwei Monate lang in kaltgepresstes Oliven- oder Sonnenblumenöl einlegt, gelegentlich kräftig schüttelt und ansonsten in der Sonne stehen lässt. Diesen Vorgang nennt man Mazeration.

Mit einem Ansatzschnaps aus Blüten und Kraut werden Einschlafstörungen und innere Unruhe behandelt.

Verwendung in Lebensmitteln

Johanniskraut-Zubereitungen sind auch vereinzelt in Deutschland in Nahrungsergänzungsmitteln zu finden: Dort als Johanniskrautöl ("Rotöl"), dem die innerlichen arzneilichen Wirkungen nicht zukommt.

Für Schlagzeilen sorgte ein functioneller Joghurt, der Kräuterextrakte aus Johanniskraut und Melisse enthielt.[14] .

Der Inhaltsstoff Hypericin ist in der Aromen-Verordnung aufgeführt.

Wirkungsmechanismen und Wirklatenz

Als Hauptwirkstoff des Johanniskrauts gilt Hyperforin. Standardisierter Johanniskrautextrakt erhöht durch eine Wiederaufnahmehemmung der Neurotransmitter Serotonin und Noradrenalin deren Konzentration an den Synapsen. Ebenfalls steigt auch die Konzentration von Gamma-Aminobuttersäure (GABA), Dopamin und L-Glutamat an, was in dieser Form kein Antidepressivum vermag. In der Folge vermindert sich die Anzahl der (noradrenergen) β-Rezeptoren, außerdem bewirkt es eine Downregulation der 5-HT2-Rezeptoren.[15]

Die Wirkung der Johanniskraut-Präparate soll auf die chemisch definierten Substanzen Hyperforin und Hypericin zurückzuführen sein. Diese bewirken eine geringe bis mittelstarke, aber nachweisbare, cerebrale Wiederaufnahmehemmung von Serotonin, Noradrenalin und Dopamin; dies sind bekannte Wirkmechanismen synthetischer Antidepressiva. Eine MAO-Hemmung wurde immer wieder behauptet, konnte aber nie nachgewiesen werden. Andere Rezeptoren werden nicht beeinflusst.

Wie chemisch-synthetische Antidepressiva zeigen auch Johanniskraut-Arzneimittel eine gewisse Wirklatenz, d. h., man spürt erst nach mehreren Wochen der Einnahme eine Verbesserung der depressiven Symptome.

Die behauptete antivirale Wirkung gegen das Hepatitis-C-Virus beim Menschen existiert jedenfalls in den üblichen Dosen nicht, vielmehr wird eine zusätzliche Schädigung der Leber hervorgerufen, die bei höheren Dosen zum akuten

Leberversagen führen kann. Da wirksame Arzneimittel für durch Viren ausgelöste Erkrankungen zugelassen sind, wurden alle Experimente bei erkrankten Menschen als unvertretbar abgebrochen.

Es treten Wechselwirkungen mit anderen Medikamenten auf, die gefährlich sein können. Johanniskraut induziert ein Abbauenzym in der Leber (Cytochrom P450, Subtyp 3A4), welches andere Medikamente abbaut. Die Abbaurate anderer Arzneimittel steigt somit an, und sie können ihre Wirkung verlieren. Cytochrom P450 Subtyp 3A4 verstoffwechselt u. a. Hormone. So kann Johanniskraut die Wirkung der Anti-Baby-Pille und anderer hormoneller Verhütungsmittel beeinträchtigen. Es bestehen Wechselwirkungen mit bestimmten AIDS-Medikamenten (Protease-Hemmern), Antibiotika wie Clarithromycin (z. B. Klacid) und einigen Antidepressiva (siehe unten). Die Protease-Hemmer und das Antibiotikum können ihre Wirkung ganz oder teilweise verlieren, was bei den zugrunde liegenden ernsten Erkrankungen schwerwiegende Folgen haben kann. Auch Immunsuppressiva, die zum Beispiel nach Transplantationen gegen die Abstoßungsreaktion des Körpers gegeben werden, werden abgeschwächt. Es sind mindestens zwei Todesfälle bei Johanniskrauteinnahme mit gleichzeitiger Immunsuppression beschrieben worden. In solchen Fällen sollte daher unbedingt der Rat des Arztes oder Apothekers eingeholt und befolgt werden.

Diese Interaktionen treten bei Menschen auf, die auf andere Arzneimittel angewiesen sind. Ist der Einnehmende jedoch sonst gesund und auf keine anderen Pharmaka angewiesen, hat sich Johanniskraut als sehr verträgliches und effektives Arzneimittel bewährt.

Nebenwirkungen

Johanniskraut-Arzneimittel sind im Allgemeinen gut verträglich, unerwünschte Nebenwirkungen sind gering oder treten selten auf[16] . In Einzelfällen wird von manischen Episoden berichtet, die von Johanniskraut induziert wurden [17] . Außerdem kann Johanniskraut geringe Magen-Darm-Beschwerden, Kopfschmerzen, Erregung und Müdigkeit, und eine phototoxische Reaktion der Haut (Sonnenbrandneigung) hervorrufen. In hoher Dosierung wirkt es u. U. stark phototoxisch. Hellhäutige Menschen, die Johanniskraut regelmäßig einnehmen und sich in Solarien oder auf Urlaubsreisen bräunen wollen, sollten ein Absetzen des Johanniskrautpräparates 14 Tage vor der ersten Licht-/Sonneneinstrahlung in Erwägung ziehen. Da Hypericin die Empfindlichkeit gegenüber UV-Licht erhöht (Photosensibilitätsreaktion), sollten insbesondere hellhäutige Personen intensive Sonnenbestrahlung oder Solarien meiden. Bei bekannter Lichtempfindlichkeit ist Johanniskraut zu meiden. Selten kann es zu allergischen Hautreaktionen, Müdigkeit/Unruhe oder gastrointestinalen Beschwerden kommen. Auch Rinder und Pferde, die zu viel Johanniskraut fressen, zeigen die genannten Symptome.

Wechselwirkungen

Ende der 1990er Jahre wurde festgestellt, dass Johanniskraut bestimmte Enzyme (Cytochrom P450), die für den Abbau von Arzneistoffen verantwortlich sind, induziert, was zu einem verstärkten Abbau des Arzneistoffes führt. Betroffen sind neben Herzglykosiden, Antikoagulantien, einigen Antidepressiva und Methadon auch niedrig dosierte Antibabypillen. Deshalb wurde das zuvor frei erhältliche Johanniskraut 2003 der Apothekenpflicht unterstellt. Ausgenommen von der Apothekenpflicht sind Zubereitungen, die in einer Tagesdosis bis zu 1 g Drogenäquivalent und bis zu 1 mg Hyperforin enthalten, Tee und zur äußeren Anwendung bestimmter Frischpflanzensaft oder ölige Zubereitungen (Rotöl).

Patienten, die an einer HIV-Infektion leiden und dagegen Medikamente einnehmen, dürfen Johanniskraut nicht zu sich nehmen, da es auch hier zu einem verstärkten Abbau der Wirkstoffe kommen kann, der auf längere Sicht ein Therapieversagen nach sich ziehen kann.

Bei Einnahme einiger Arzneimittel muss die Einnahme von Johanniskraut vorher mit dem Arzt abgesprochen werden. Dazu zählen[18] :

- Theophyllin (Wirkstoff der bei Asthma bronchiale eingesetzt werden kann)
- blutgerinnungshemmende Mittel (z. B. Phenprocoumon)
- Tacrolimus

- Midazolam
- Amitriptylin, Nortryptilin
- Digoxin

Gegebenenfalls wird der Arzt von der Einnahme von Johanniskraut abraten oder die Dosis des Medikaments entsprechend anpassen.

Mit Serotonin-Wiederaufnahmehemmern wie Fluoxetin, Paroxetin, Citalopram etc. besteht die Möglichkeit einer Verstärkung serotoninerg bedingter Nebenwirkungen (Übelkeit, Durchfall, Blutdruckschwankungen, Erregung) bis hin zur Auslösung des lebensgefährlichen Serotonin-Syndroms (starke Blutdruckschwankungen, Fieber, Bewusstseinseintrübung, Verwirrtheit, Krämpfe). Andererseits können einige der Serotonin-Wiederaufnahmehemmer durch die Beschleunigung ihres Abbaus auch in ihrer Wirkung abgeschwächt werden. Bei Einnahme solcher Kombinationen ist die Wirkung schlecht vorhersehbar.

Weiterhin ist bekannt, dass hochdosiertes Johanniskraut den Abbau von manchen Antiepileptika (z. B. Carbamazepin, Valproinsäure), Benzodiazepinen (z. B. Diazepam, Alprazolam, Lorazepam) und benzodiazepinähnlichen Substanzen (z. B. Zolpidem und Zopiclon) beschleunigt. Dadurch wird die Wirksamkeit dieser Substanzen herabgesetzt.

Aufgrund dieser Wechselwirkungen wurde Johanniskraut in der Republik Irland schon vor einigen Jahren der Verschreibungspflicht unterworfen. Johanniskrautpräparate mit der Indikation „mittelschwere Depression“ unterliegen seit dem 1. April 2009 auch in Deutschland der Verschreibungspflicht.

Einsatz in Schwangerschaft und Stillzeit

Beim Einsatz in Schwangerschaft und Stillzeit ist Vorsicht geboten.[19] Johanniskraut wurde in der Volksmedizin als Abtreibungsmittel genutzt.[20]

Quellen und weiterführende Informationen

Literatur

- Franz-C. Czygan: *Kulturgeschichte und Mystik des Johanniskrauts*. Pharmazie in unserer Zeit 32(3), S. 184–191 (2003), ISSN 0048-3664
- De Smet PAGM: *Herbal Remedies*. Review Article. N Engl J Med 2002;347:2046–2056. PMID 12490687

Weblinks

- *Echtes Johanniskraut.* [21] In: *FloraWeb.de* [22].
- Depressionen: Können Mittel aus Johanniskraut (Hypericum) helfen? [23]
- Johanniskraut als Heilpflanze: Wirkung und Anwendung [24]
- Steckbrief [25] bei Heilpflanzen W.Arnold (Schweiz)
- Zur Giftigkeit des Johanniskrautes [26]
- Volker Faust, Arbeitsgemeinschaft Psychosoziale Gesundheit: Johanniskraut [27] (Sehr ausführlich)
- Arealkarte [28] bei "Den virtuella floran" (schwedisch)
- Eintrag [29] bei GRIN (eng.)

Referenzen

[1] Oskar Sebald: *Wegweiser durch die Natur **Wildpflanzen** Mitteleuropas*, ADAC Verlag, München 1989, ISBN 3-87003-352-5, S. 68.

[2] Derivate bei Johanniskraut (http://miami.uni-muenster.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-13/einleitung_kap_1.1_bis_1.4.pdf)

[3] G. Tischler: *Die Chromosomenzahlen der Gefäßpflanzen Mitteleuropas*. S-Gravenhage, Junk. 1950.

[4] Informationssystem Nachwachsende Rohstoffe Steckbrief (http://www.inaro.de/Deutsch/KULTURPF/Heilpfl/Joh_kraut.htm), 12.2.2008.

[5] Elke Wolf: (http://www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/pza/2001-27/pharm3.htm) Pharmazeutische Zeitung.

[6] 1 (http://www.bundessortenamt.de/isapi/drvisapi.dll)

[7] Ärzte Zeitung, 28. Oktober 2005: Wirksamkeit von Johanniskraut erneut belegt (http://www.aerztezeitung.de/suchen/?sid=377194&query=hypericum)

[8] Linde K, et al.: *St John's wort for depression.* Cochrane Database Syst Rev. 2005 (2):CD000448. PMID 15846605.

[9] Andreescu C, et al.: *Complementary and alternative medicine in the treatment of bipolar disorder – A review of the evidence.* J Affect Disord, Epub 2. Mai 2008. PMID 18456339.

[10] Linde K, Berner mm, Kriston L. *St John's wort for major depression.* Cochrane Database Syst Rev. 2008 Oct 8;(4):CD000448. PMID 18843608.

[11] Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen: "IQWiG-Berichte – Jahr: 2009 Nr. 34" (http://www.iqwig.de/download/Arbeitspapier_Leitliniensynopse_zum_Thema_Depression_.pdf); S. 121

[12] IQWiG: (http://www.informedhealthonline.org/depressionen-koennen-mittel-aus-johanniskraut-hypericum-helfen.39.385.de.pdf)

[13] Kasper et al. (2008). Efficacy of St. John's wort extract WS 5570 in acute treatment of mild depression: a reanalysis of data from controlled clinical trials. European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18084790

[14] Metzger, Dagmar: *Essen Sie sich GESUND* in:FOCUS Nr. 26 (1998)

[15] Wolfgang P. Kaschka, Rolf Kretzschmar, Martin Jandl: Psychopharmaka kompakt (Klinik- und Praxis-Guide), Schattauer Verlag, 7. Oktober 2008, ISBN: 978-3794525911, S. 77 (http://books.google.ch/books?id=QhhXMvdqImoC&printsec=frontcover&source=gbs_summary_r&cad=0)

[16] Ernst E, Rand JI, Barnes J, Stevinson C (1998). Adverse effects profile of the herbal antidepressant St. John's wort (Hypericum perforatum L.). Eur J Clin Pharmacol 54 (8), 589–94. (http://dx.doi.org/10.1007/s002280050519)

[17] Stevinson C, Ernst E: Can St. John's wort trigger psychoses? Int J Clin Pharmacol Ther. 2004 (42):473–80.PMID 15487805.

[18] FAQ – Häufige Fragen zu Neuroplant

[19] Mai 2007: Arkocaps® Johanniskraut Fachinformationen

[20] St. John's Wort (http://www.sfp.forprod.vt.edu/factsheets/wort.pdf)

Einblasdämmstoff

Einblasdämmstoffe sind lose Dämmstoffe, die mittels einer Einblasmaschine mit Hilfe von Luft in ein Bauteil eingebracht werden. Es existiert eine Vielzahl von Einblasdämmstoffen, die sich in ihrem Dämmwert und der Eignung für verschiedene Einsatzzwecke unterscheiden.

Einblasdämmstoffe können organisch, mineralisch oder synthetisch zusammengesetzt sein. Hauptbestandteile sind zum Beispiel Zelluloseflocken aus Altpapier oder Wiesengras, Holzfasern, Grasfasern, Kork, Glaswolle- oder Steinwollflocken, Perlit- oder EPS-Granulat (expandiertes Polystyrol) sowie Silikatleichtschaum. Wie andere Dämmstoffe werden Einblasdämmstoffe aufgrund ihrer geringen Wärmeleitung zur Wärmedämmung eingesetzt. Die Vorteile gegenüber anderen Dämmstoffen liegen vor allem in der vollständigen Hohlraumfüllung bei Gebäuden, die durch die Einblastechnik erreicht werden kann.

Dadurch liegen wichtige Anwendungsbereiche bei schwer zugänglichen Stellen im Dachausbau und bei der Altbausanierung. Für die nachträgliche Kerndämmung der inneren Luftschicht in zweischaligem Mauerwerk (zwischen Vor- und Hintermauerschale) können nur Einblasdämmstoffe genutzt werden. Für diesen Einsatzzweck zugelassene Materialien werden in der Regel durch Bohrungen in der äußeren Mauerschale in die Luftschicht eingeblasen. Vor allem bei Holzständerbauweise und im Bereich der Dachdämmung werden Einblasdämmstoffe auch für Neubauten verwendet. Im Dachausbau und bei Leichtbauweise werden Einblasdämmstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen (vor allem Holzfasern und Zelluloseflocken) auch wegen ihres hohen sommerlichen Wärmeschutzes eingesetzt.



Mit einem an die Einblasmaschine angeschlossenen Schlauch wird Einblasdämmstoff in den Hohlraum hinter einer Außenwand eingebraucht.



Zelluloseflocken werden über die Dosiereinrichtung (Tonne) eingebracht und durch den Schlauch (unten im Bild) in vorhandene Hohlräume eingeblasen.

Literatur

- Jörg Brandhorst, Josef Spritzendorfer, Kai Gildhorn, Markus Hemp: *Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen*, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hrsg.), 2009, PDF Online [1]

Energieholz



Kurzumtriebskultur aus Hybrid-Pappeln

Mit **Energieholz** wird Holz bezeichnet, welches ausschließlich für die Energiegewinnung durch Verbrennung genutzt werden soll. Im Prinzip ist eine solche energetische Nutzung mit allem Holz möglich. In der Praxis gibt es jedoch zahlreiche höherwertige Verwendungsmöglichkeiten für Holz, welches dann *stofflich* genutzt wird, also durch die Verarbeitung in Sägewerken, Papierfabriken und in anderen produzierenden Betrieben der Holzwirtschaft. Deshalb werden nur minderwertige Holzsortimente aus dem Wald, in Kurzumtriebsplantagen herangezogenes Holz, Resthölzer aus der holzverarbeitenden Industrie und Altholz als Energieholz behandelt.

Verwendung

Das energetisch genutzte Holz kann in den Heizungen und Kaminen von Privathäusern verheizt werden. In diesem Falle wird in handliche Scheite zerkleinertes Brennholz benutzt, welches meist direkt aus dem Wald kommt, oder seit wenigen Jahren auch in Baumärkten erhältlich ist. Möglich ist jedoch auch eine vorherige Veredlung zu Hackschnitzel, Holzpellets oder Holzbriketts. Auch zur Herstellung von Holzkohle und Holzgas wird Energieholz eingesetzt.

In großem Maßstab wird jedoch Holz vor allem in der Industrie verfeuert. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz fördert die Einspeisung von Strom, der bei der Verbrennung in Industriebetrieben erzeugt werden kann. Dabei spielt Schwarzlauge eine große Rolle. Diese besteht zum größten Teil aus dem bei der Zellstoffherstellung anfallenden Lignin, dem Stoff, der in Holz etwa der Hälfte der Trockenmasse ausmacht. Schwarzlauge wird in der Regel direkt in den entsprechenden Zellstoffwerken verheizt bzw. verstromt. Auch bei anderen holzverarbeitenden Betrieben wie Sägewerken fallen Resthölzer in bedeutendem Umfang an. Findet keine energetische Nutzung direkt in den Betrieben statt, so werden diese Resthölzer meistens an Heiz- oder Elektrizitätswerke verkauft, die bei entsprechender technischer Ausstattung dieses Holz beifeuern können, oder welche ausschließlich biologische Energieträger verwenden.

Die Verwendung von Gebrauchtholz (gebrauchte Möbel, Bauholz, Transportverpackungen und ähnlichem) ist problematisch, da dieses durch Fremd- und Störstoffe verunreinigt sein kann und bei der energetischen Nutzung unbekannte Schadstoffe freigesetzt würden. Vorteilhafter ist die Verwendung von naturbelassenem Holz, welches nicht nur aus der Forstwirtschaft und als Resthölzer aus holzverarbeitenden Betrieben, sondern auch bei der Landschafts- und Obstbaumpflege anfällt. Die energetische Nutzung von wenig belastetem Altholz ist jedoch unter Auflagen möglich. Stark belastetes Material muss dagegen deponiert werden.[1]

Bedeutung

In globalem Maßstab ist Holz nach wie vor einer der wichtigsten Energieträger. In vielen Ländern wird im ländlichen Raum noch vorwiegend mit Holz geheizt und gekocht. Der große Bedarf an Energieholz führte unter anderem auch zur Holzknappheit zum Ende des 18. Jahrhunderts in Mitteleuropa, eine Konsequenz war die Substitution von Holz durch fossile Energieträger im 19. und 20. Jahrhundert.

Heute steigt die Bedeutung von Holz in dieser Hinsicht wieder an. Für die Forstwirtschaft ergeben sich wichtige Chancen zur Absatzsteigerung, insbesondere von schwer vermarktbaren schwachen Sortimenten. Die erhöhte Nachfrage nach Brennholz trägt seit den letzten Jahren entscheidend dazu bei, die wirtschaftliche Situation vieler Forstbetriebe, auch landeseigener und kommunaler, zu verbessern.

Ein wichtiger Vorteil von Holz bzw. Bioenergie allgemein ist die Grundlasttauglichkeit: Während bei anderen erneuerbaren Energien mit starken Schwankungen in der Erzeugung zu rechnen ist, beispielsweise bei Windenergie, kann Holz eine Mindestmaß an verfügbarer Energie zu jedem Zeitpunkt gewährleisten. Es ist daher ein wichtiger Bestandteil des Energiemixes. Jedoch sind durch die Knappheit der Ressource Holz dem Wachstum dieses Sektors natürliche Grenzen gesetzt.

Trotz laufend steigender Waldfläche von derzeit 31% der Staatsfläche[2] und europaweit größten absoluten Holzvorrates beträgt der Anteil von Holz an der Gesamtenergieerzeugung in Deutschland nur etwa 3%. Andererseits gibt es in Europa auch waldreiche Länder wie Schweden oder Finnland, für die die Entwicklung des Holzenergiesektors eine relativ große Bedeutung hat. In Europa hat Lettland den höchsten Anteil von Holz an der Gesamtenergieerzeugung (35%)[3] .

Weblinks

- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF): Holzenergie [5]
- Potentialstudie Energieholz für den Raum Aachen/Eifel [4] (PDF-Datei; 2,60 MB)
- Energieholz (auf www.waldwissen.net) [6]
- Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Energieholz (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft) [5] (PDF-Datei; 222 kB)

Referenzen

[1] Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz: *§2 Begriffsbestimmungen.* (http://bundesrecht.juris.de/altholzv/__2.html)

[2] Die zweite Bundeswaldinventur – Das Wichtigste in Kürze (http://www.bundeswaldinventur.de/enid/b38c0a25a78ab618f9cc6feea5e1ba1d,0/31.html)

[3] State of Europe's Forests 2007. The MCPFE Report on Sustainable Forest Management in Europe. MCPFE Liaison Unit Warsaw. Warschau, 2007. ISBN 83-922396-8-7. S.98 ff.

Energiemais

Als **Energiemais** wird Mais bezeichnet, der zur Energieerzeugung in Biogasanlagen genutzt wird. Da Mais als C4-Pflanze einen geringen Wasserbedarf hat und nur mäßige Ansprüche an den Boden stellt, ist er in Deutschland eine verbreitete Kulturpflanze mit hohen Erträgen an Trockenmasse pro Flächeneinheit. Durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wird die Biogaserzeugung gefördert. Insbesondere nach Einführung des Nawaro-Bonus mit der EEG-Novelle 2004 wurde der Energiemaisanbau ausgeweitet.

Energiemais unterschied sich in Anbau und Sorte zunächst nicht von anderem Silomais, der vor allem als Viehfutter dient. Der Begriff wurde geprägt, um zwischen der Verwendung zur Futter- oder Nahrungsmittelproduktion einerseits und zur Energieerzeugung andererseits zu differenzieren. Zunehmend unterscheiden sich aber auch der Anbau und die verwendeten Sorten vom konventionellen Futtermais.



Mais (*Zea mays*)

Unterscheidung zwischen Energie- und Futtermais

Vergleich von Biogasrohstoffen

Material	Biogasertrag[1] (FM = Frischmasse)	Methangehalt[1]
Maissilage	202 m³/t FM	52 %
Grassilage	172 m³/t FM	54 %
Roggen-GPS	163 m³/t FM	52 %
Futterrübe	111 m³/t FM	51 %
Bioabfall	100 m³/t FM	61 %
Hühnermist	80 m³/t FM	60%
Zuckerrübenschnitzel	67 m³/t FM	72 %
Schweinemist	60 m³/t FM	60 %
Rindermist	45 m³/t FM	60 %
Getreideschlempe	40 m³/t FM	61 %
Schweinegülle	28 m³/t FM	65 %
Rindergülle	25 m³/t FM	60 %

In Deutschland wurde in 2009 auf rund 2,11 Mio. ha Mais angebaut. Vorwiegend war dieses Silomais mit rund 1,65 Mio. ha. Die oberirdischen Pflanzenteile werden gehäckselt, siliert und als Futtermittel (Maissilage) in der Rinderhaltung oder als Biogassubstrat verwendet. Die Unterscheidung erfolgt vor allem anhand der Verwendung selbst. Jedoch können auch Unterschiede in Anbau und Sortenwahl vorliegen. Daneben macht Körnermais etwa ein Viertel der deutschen Maisanbaufläche (2009: 0,46 Mio ha) aus. In Form von Corn-Cob-Mix (CCM) oder als Korn

wird er nur in geringem Maße in Biogasanlagen eingesetzt.[2] [3]

Verwendung

(siehe auch Artikel Mais)

Herkömmlicher Silomais ist für die Verwendung als Futtermittel züchterisch optimiert und erfüllt Ansprüche wie hohe Erträge an Trockenmasse pro Flächeneinheit, gut im Rinderpansen zugängliche Nährstoffe sowie gute Silierbarkeit, um eine längerfristige Lagerung und somit eine ganzjährige Verfügbarkeit zu gewährleisten. Die hohen Hektarerträge und die vorhandene und erprobte Erntetechnik, sowie die gute Konservierbarkeit (Silierung) machen Mais zum Hauptsubstrat in Biogasanlagen. Grundsätzlich ist Silomais immer auch zur Verwendung in Biogasanlagen geeignet. Wird die Entscheidung über die Verwendung des Ernteguts bereits beim Anbau getroffen, so kann potentiell über Sortenwahl die Energiemaiserzeugung optimiert werden.

Anbau und Ernte

(siehe auch Artikel Mais)

Die Ansprüche an Silomais zur Rinderhaltung und zur Biogaserzeugung unterscheiden sich im geringen Maße. Die aus dem Futtermaisanbau übernommen Parameter werden bei Energiemaisanbau in einigen Punkten modifiziert, um den Methanertrag pro Flächeneinheit zu erhöhen. Der Effekt dieser Maßnahmen ist teilweise umstritten:



Junge Maispflanzen

- Eine geringfügig höhere Saatstärke verringert die Erosion, soll aber auch den Hektarertrag erhöhen können. Der erhöhte Nährstoffentzug sollte durch eine erhöhte Düngung kompensiert werden.[4]
- Eine frühere Ernte bei einem geringeren Verholzungsgrad (geringerer Rohfasergehalt) kann die Verdaulichkeit der Maissilage erhöhen.[5] [4] Silomais wird möglichst bei einem Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) von etwa 32 bis 33 % geerntet, um eine gute Silierbarkeit zu gewährleisten und um Substanzverluste zu verhindern. Ist ein wesentlich höherer TS-Gehalt mit einem stärkeren Verholzen der Pflanze verbunden, verringert dies die Abbaubarkeit in der Biogasanlage. Saatgutproduzenten geben daher teilweise die Empfehlung, bei einem um 2 bis 3 % geringeren TS-Gehalt zu ernten.[4] Andere Stellen halten dies dagegen nicht für notwendig.[6] Bei der Silierung durch den höheren Wassergehalt im Erntegut möglicherweise auftretende, organisch belastete Sickersäfte sind ökologisch problematisch, können aber z. B. in der Biogasanlage vergoren werden.[6]
- Maissorten mit höheren Reifezahlen eignen sich unter den in Deutschland vorherrschenden Klimabedingungen wegen ihrer späten Abreifung nicht für den Anbau zur



Silageproduktion

Futtersilageherstellung. Wegen der vermutlich geringeren Ansprüche an die Abreifung bei der Verwertung in Biogasanlagen wird die Eignung von Sorten mit etwas höherer Reifezahl untersucht.[7] [8] Durch ihre längere Vegetationsperiode können die höhere Biomasseerträge liefern.[7]

- Bei der Ernte, insbesondere von trockenerem, reiferem Material, wird die Häcksellänge verringert, um die Angriffffläche für den enzymatischen Abbau im Fermenter der Biogasanlage zu erhöhen und damit zu beschleunigen und zu verbessern.[4] [6]

Sorten

Bisher werden in der Regel die im Silomaisanbau bewährten Sorten angebaut. Vorteile herkömmlicher Sorten gegenüber Energiemaissorten liegen in der früheren Ernte, z.B. vor der Aussaat von Wintergetreide, sowie in der flexibleren Verwendbarkeit. Durch die weniger hohen Ansprüche an Energiemais eröffnen sich allerdings auch neue züchterische Möglichkeiten. So konnten in einem Verbundprojekt der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), der KWS SAAT AG, der Universität Hohenheim und der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft innerhalb von fünf Jahren Steigerungen des Ertragspotenzials von rund 20 bis 25 % (um 40 bis 50 dt Trockensubstanz/ha) erreicht werden[8] . Ziel des Projektes ist es, die Erträge in 10 Jahren nahezu zu verdoppeln.[9] [8] Die große genetische Variabilität des Mais wurde bzw. wird genutzt, um kurzfristig diese ertragreichen, hybriden Maissorten zu züchten. Wichtige Eigenschaften, die in den Energiemaissorten vereint wurden und werden sollen sind hoher Trockenmasseertrag, Kühletoleranz, Kurztagadaption, Trockenresistenz, etc..[8]

Wirtschaftlichkeit

Maissilage gilt, gemessen am Vergleich der Erzeugungskosten mit dem Energieertrag aus dem Gas, in der Regel als das wirtschaftlichste Biogassubstrat. Abhängig vom Verhältnis der Marktpreise möglicher Einsatzstoffe und von betrieblichen Bedingungen wie Klima- und Bodenverhältnissen, Fruchtfolge, Anlagentechnik und Verfügbarkeit kostenloser Substrate können jedoch auch mit der Nutzung anderer Substrate (z. B. Grassilage, Hirsearten, Gülle, Geflügelmist, Getreide) ähnliche oder höhere Gewinne erzielt werden.[10]

Kritik

Durch den Maiseinsatz in Biogasanlagen wurde der Maisanbau in den letzten Jahren stark ausgeweitet. In 2007 machte der Energiemais 12,8% der Maisanbaufläche und 2,0 % der Ackerfläche in der BRD aus.[11] Die Förderung der Biogaserzeugung durch das EEG läßt weitere deutliche Steigerungen dieser Anteile erwarten. Vom Naturschutzbund Deutschland (NABU) und vom deutschen Verband für Landschaftspflege (DVL) wird die Veränderung des Landschaftsbildes durch den verstärkten Maisanbau und landschaftliche sowie ökologische Folgen von Grünlandumbruch werden kritisiert. Daneben gibt es generelle Kritik am Anbau von Energiepflanzen, da eine zunehmende Flächenkonkurrenz beispielsweise zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung besteht.[12]

Alternativen und Ergänzungen zum Maisanbau

Um Maismonokulturen zu vermeiden, gibt es vielfältige Bemühungen, auch andere Feldfrüchte wie Sonnenblumen und Zuckerrüben für die Biogaserzeugung nutzbar zu machen. Da Mais als wärmebedürftige Pflanze erst spät gesät werden kann, wird versucht, die Vegetationsperiode, beispielsweise mit Grünroggen als Zwischenfrucht zur Erzeugung von Ganzpflanzensilage (GPS), besser auszunutzen und so höhere Erträge pro Fläche und Jahr zu erzielen.[13] Ein weiterer Vorteil ist, dass durch die winterliche Bodenbedeckung Nährstoffverluste und Erosion verringert werden. Auch Untersaaten, z. B. um Erosion zu vermeiden, und höhere Bestandsdichten sind möglich.[14] Seit 2005 werden ökologische und ökonomische Aspekte des Energiepflanzenanbaus in einem umfangreichen Verbundprojekt untersucht. In sechs typischen Anbauregionen Deutschlands werden verschiedene Energiepflanzen-Fruchtfolgen getestet, darunter sowohl die heute gängigen Kulturen als auch mögliche

Alternativen.[15] . Von der FNR werden zahlreiche weitere Projekte im Bereich alternativer und nachhaltiger Anbauverfahren für Energiepflanzen koordiniert.[16]

Rechtliche Unterscheidung zwischen Energie- und Futtermais

Da für Energiemais bis 2009 eine Anbauprämie (Energiepflanzenprämie) gezahlt wird, ist eine Unterscheidung zum Silomais zur Verwendung als Futtermittel notwendig. Die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung erfasst den Mais prämienberechtigter Anbauflächen, der in Biogasanlagen verwertet wird und regelt die Prämienzahlung.[17]

Literatur

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): *Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung*, 3. Auflage (2006), 232 S. ISBN 3-00-014333-5 (pdf-Dokument [9])
- KTBL: *Energiepflanzen - Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus*, Darmstadt (2006), ISBN 978-3939371212

Weblinks

- Mais für Biogasanlagen [18] (Sortenversuche)
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): *Aktuelle Projekte des Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz im Bereich "Nachwachsende Rohstoffe", unter anderem viele Projekte im Bereich Energiemais und alternativer und ergänzender Energiepflanzen* [19], Projektdatenbank der FNR

Referenzen

[1] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): *Biogas Basisdaten Deutschland Stand: Januar 2008.*

[2] Statistisches Bundesamt Deutschland (Destatis): *Ernte: Feldfrüchte - Anbauflächen, Hektarerträge und Erntemengen* (http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/LandForstwirtschaft/Ernte/Tabellen/Content75/FeldfruechteAnbauflaechenErntemengen.psml), abgerufen am 5. März 2010

[3] Deutsches Maiskomitee e. V.: *Statistik zum Thema Biogas* (http://www.maiskomitee.de/web/intranetHomepages.aspx?hp=eeb5e45e-d543-3bd6-a04d-51c423770c68), abgerufen am 5. März 2010

[4] Produktionstechnik Energiemais: Informationen der Saaten-Union zum Energiemaisanbau vom 09. Januar 2007 (http://www.saaten-union.de/index.cfm/nav/404/article/2756.html)

[5] KWS Saat AG: *Anbauratgeber für die Biogasproduktion 2009* (http://www.kws.de/aw/KWS/Germany/Produkte/~cdjz/Energie/), als pdf verfügbar, abgerufen am 6. März 2010

[6] Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein: *Wenn das Silo „zu laufen" beginnt... - Verlustquelle Sickersäfte sicherer vermeiden* (http://lwksh.de/cms/fileadmin/user_upload/Presse/Archiv_2009/PDF_5309_02.01.2010/18-21_Thaysen.pdf), Bericht in *Landpost*, vom 2. Januar 2010, abgerufen am 6. März 2010

[7] Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen: *Landessortenversuche mittelspäte Maissorten / Biogasmais 2008* (http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/mais/energiemais-sv-2008.htm), vom 5. Januar 2009, abgerufen am 6. März 2010

[8] Stand der Energiemaiszüchtung bei der KWS SAAT AG, Vortrag im Rahmen des 2. Einbecker Energiepflanzen Kolloquiums am 05./06. November 2007 (http://www.kws.de/aw/KWS/Germany/innovation/Energiepflanzen/~crtp/KWS_Energiepflanzen-Kolloquium/)

[9] www.innovations-report.de: *Energiemais: umweltgerechter Anbau mit hohen Erträgen* (http://www.innovations-report.de/html/berichte/agrar_forstwissenschaften/bericht-30911.html)], Bericht vom 6. Juli 2004, abgerufen am 5. März 2010

[10] Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2009: Was Alternativen zum Mais kosten dürfen. (http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/360/article/11573.html) Abgerufen am 14. April 2009

[11] http://www.maiskomitee.de/fb_fakten/03_02_03_08.htm

[12] NABU, 2006: Energie-Mais nur mit Umweltauflagen. (http://www.nabu.de/m07/m07_05/05971.html) Abgerufen am 14. April 2009

[13] Information der Saaten-Union zum Anbau von Grünroggen zur Biogaserzeugung vom 13. Juli 2007 (http://www.saaten-union.de/index.cfm/nav/410/article/3081.html)

[14] Saaten-Union GmbH: *Untersaaten, kostengünstig und effektiv* (http://www.saaten-union.de/index.cfm/nav/410/article/2766.html), vom 5. Februar 2007, abgerufen am 5. März 2010

[15] Informationen zum Projekt "Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands" (EVA) der [[FNR|Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (http://www.energiepflanzen.info/projekte/eva.html)] (FNR)]

[16] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): *Aktuelle Projekte des Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz im Bereich "Nachwachsende Rohstoffe"* (http://www.nachwachsenderohstoffe.de/projekte-foerderung/projekte.html), Projektdatenbank der FNR

[17] "Merkblatt zur Verwendungskontrolle Energiepflanzen in Biogasanlagen" (http://www.ble.de/cln_099/nn_471076/SharedDocs/Downloads/06__Aktuelles/05__Publikationen/Broschueren/BiogasEnergiepflanzenVerwendung.html?__nnn=true), Information der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung vom 17. Juli 2008]

Energiepflanze

Eine **Energiepflanze** ist eine Pflanze, die speziell für die energetische Nutzung angebaut wird. Die Bioenergie wird üblicherweise thermisch, also durch Verbrennung, aus festen, flüssigen oder gasförmigen Pflanzenprodukten (Biogener Brennstoff) gewonnen. Wild wachsende Pflanzen, die z. B. als Brennholz energetisch genutzt werden, oder Pflanzen, die vorwiegend Nahrungsmittel dienen, werden nicht zu den Energiepflanzen gezählt.



Raps zur Produktion von Biodiesel gehört zu den wichtigsten Energiepflanzen Mitteleuropas.

Definition und Abgrenzung

Als Energiepflanzen werden landwirtschaftliche Nutzpflanzen bezeichnet, die mit dem Hauptziel einer Energiegewinnung angebaut werden, in Abgrenzung zu Pflanzen zur Nahrungsmittelerzeugung, Futterpflanzen und Industriepflanzen. Forstpflanzen, die auf landwirtschaftlichen Flächen zur Energienutzung angebaut werden (beispielsweise in Kurzumtriebsplantagen) werden gelegentlich mit erfasst. Teilweise wird nur bei einer energetischen Nutzung der ganzen Pflanze von Energiepflanzen gesprochen.[1]

Entscheidend ist also die Nutzung der Pflanze. So kann z. B. Mais sowohl als Zuckermais zur menschlichen Ernährung als auch als Futtermais (Maissilage) zur Tierfütterung oder als Energiemais zur Biogaserzeugung kultiviert werden. Je nach Nutzungsrichtung unterscheiden sich die verwendeten Sorten und Anbauverfahren für Energiepflanzen teilweise von den bei Nahrungs- und Futtermitteln genutzten.

Pflanzengruppen und Nutzung

Zahlreiche Pflanzenarten eignen sich für die energetische Nutzung. Darunter sind sowohl traditionelle Kulturpflanzen des Ackerbaus, für die teilweise für die Energienutzung optimierte Sorten gezüchtet werden (z. B. Raps, Mais), als auch Kulturpflanzen, die bisher nicht oder kaum ackerbaulich genutzt wurden, unter dem Aspekt der energetischen Nutzung jedoch interessant werden können (z. B. Chinaschilf, Durchwachsene Silphie). Bisher konzentriert sich der Anbau auf bereits verbreitete Ackerkulturen. Die Züchtung neuer Sorten und die Nutzung neuer Kulturarten stehen erst am Anfang. Untenstehende Tabelle nennt einige in Mitteleuropa als Energiepflanzen kultivierte Pflanzenarten und -gruppen. Energiepflanzen mit bedeutenden Anbauflächen oder großem Potenzial in anderen Regionen sind u. a. Soja, Ölpalme, Purgiernuss und Zuckerrohr.

Pflanzenarten / -gruppen	Rohstoffe	Nutzung
Zuckerrübe, Kartoffel, Getreide, Mais	Zucker, Stärke	Bioethanol, Kraftstoff-Additive
Raps, Sonnenblume	Pflanzenöl	Biodiesel, Pflanzenöl-Kraftstoff
Bäume, Gräser, Getreide (Ganzpflanze), Miscanthus	Stückholz, Hackschnitzel, Pellets	Wärme, Kälte, Dampf, Strom
Mais, Gräser, Getreide, Zuckerrübe	Substrat (Biogasanlage)	Wärme, Kälte, Dampf, Strom, Kraftstoff Biomethan

|+ Energiepflanzen in Mitteleuropa und ihre Nutzung[2] Energiepflanzen werden mit dem Ziel der Gewinnung von Wärme und elektrischer Energie sowie als Biokraftstoffe genutzt. Dabei kommt eine Vielfalt von Nutzungspfaden zum Einsatz, vor allem die Vergärung bzw. Biogaserzeugung in Biogasanlagen (Nutzung als Gärsubstrat), die Verbrennung (Nutzung als Biobrennstoff) sowie verschiedene weitere Formen der vollständigen oder teilweisen Umsetzung der Biomasse (u. a. Pyrolyse, Erzeugung synthetischer Biokraftstoffe BtL). Energieträger sind entweder das Pflanzen-Substrat selbst nach Zerkleinerung (z. B. biogene Festbrennstoffe wie Brennholz , Pellets) Pressung/ Extraktion oder Weiterverarbeitung (z. B. biogene Flüssigbrennstoffe wie Pflanzenöl-Kraftstoff, Bioethanol, Biodiesel, BTL) oder durch Vergasung der Biomasse gewonnene energiereiche Gase (z. B. biogene Brenngase wie Biogas, Syngas, Wasserstoff).

Anbauumfang und -entwicklung

In Deutschland werden auf 1,75 Millionen ha Energiepflanzen angebaut (Stand: 2008). Davon entfallen ca. 1 Million ha auf den Anbau von Raps für Biodiesel und Pflanzenöl-Kraftstoff, auf 500.000 ha wachsen Pflanzen zur Biogaserzeugeung, und 250.000 ha dienen der Kultur von Zucker- und Stärkepflanzen für Bioethanol. Der Anbau von Energiepflanzen hat in den letzten Jahren stark zugenommen – 1998 betrug die gesamte Anbaufläche für Nachwachsende Rohstoffe insgesamt (einschließlich Anbau zur stofflichen Nutzung) noch weniger als 500.000 ha.[3]



Energiemais für die Produktion von Biogas.

Förderung

Der Anbau von Energiepflanzen wurde bisher im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union mit Direktzahlungen (sogenannte Energiepflanzenprämie) finanziell unterstützt. Diese Förderung von maximal 45 €/ha wird zu 2010 abgeschafft. Im Rahmen der bis 2007 obligatorischen Flächenstillegung durften Landwirte auf einem Teil ihrer Ackerfläche keine Lebens- oder Futtermittel anbauen und erhielten dafür eine Stilllegungsprämie. Der Energiepflanzenanbau auf diesen Flächen war jedoch zugelassen. Eine Energiepflanzenprämie erhalten Landwirte nur für den Anbau auf nicht stillgelegten Flächen. Durch die Abschaffung der obligatorischen Flächenstillegung und der Energiepflanzenprämie verliert die direkte Förderung des Energiepflanzenanbaus an Bedeutung.

Umweltwirkungen

(siehe Artikel Bioenergie)

Durch den Einsatz von Energiepflanzen können Energieträger umweltverträglich bereitgestellt werden. Dabei ist die Verminderung des Kohlenstoffdioxid-Ausstoßes (CO_2) zur Verminderung des Treibhauseffektes ein wichtiger Faktor. Die Klimawirksamkeit des Anbaus und der Nutzung von Energiepflanzen wird kontrovers diskutiert. Neben der CO_2-Ersparnis durch Nutzung nachwachsender Rohstoffe müssen Klimabilanzen des Ackerbaus die klimarelevanten Emissionen von Lachgas N_2O berücksichtigen, das vor allem bei stickstoffgedüngten Ackerkulturen entsteht. Anbauweise und Landnutzung können zudem großen Einfluss auf die Klimawirksamkeit des Energiepflanzenanbaus haben: Bei Rodung von Regenwald, der Kultivierung von Mooren oder Umbruch von Grünland zum Anbau von Energiepflanzen werden große Mengen klimaschädlcher Gase frei.

Die Europäische Union hat die ab Juni 2009 gültige Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EG) erlassen. Mit ihr werden unter anderem Nachhaltigkeitskriterien für die Förderung von Biokraftstoffen und deren Anrechnung auf die EU-Biokraftstoffziele einführt. Die Umsetzung dieser Nachhaltigkeitskriterien in deutsches Recht erfolgte mit der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (Biost-NachV, gültig ab August 2009) und der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV, gültig ab September 2009).[4] .

Ein Ziel der Forschung zur Energiepflanzennutzung ist, die Energieausbeute pro Anbaufläche durch Nutzung der gesamten Pflanzen und Verfahrensoptimierungen zu verbessern. Außerdem werden Methoden zur Ausweitung der nutzbaren Fläche untersucht, z. B. Zucht von Salzwasseralgen in Wüstengebieten oder Anbau der genügsamen Ölpflanze Jatropha.

Die Flächen, die für den Energiepflanzenanbau nötig sind, können auch für andere ökonomisch und ökologisch sinnvolle Zwecke eingesetzt werden (z. B. Nachwachsende Rohstoffe zur stofflichen Nutzung, Extensivierung der Landwirtschaft). Zudem stehen nicht mehr der Nahrungsmittelproduktion zur Verfügung (Flächenkonkurrenz). In Anbetracht des Bevölkerungswachstums werden in diesem Zusammenhang ethische Probleme diskutiert, besonders der Einsatz von Lebensmitteln wie Getreide (z. B. Getreideverbrennung) wird kritisiert (Nutzungskonkurrenz).

Der Energiepflanzenanbau wird oft als Ackerbau mit hoher Intensität betrieben, u. a. in Bezug auf Düngemittel- und Pflanzenschutzmitteleinsatz, was zu ökologischen Schäden führen kann. Die Kultivierung von Pflanzen aus fremden Herkunftsregionen als Energiepflanzen birgt Risiken, z. B. durch Verbreitung von Neophyten.

Literatur

- Rolf Meyer, Armin Grunwald, Christine Rösch, Arnold Sauter (2007): Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen – Basisanalysen. Arbeitsbericht Nr. 121 des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. pdf [5]
- KTBL: *Energiepflanzen - Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus*, Darmstadt (2006), ISBN 978-3939371212

Weblinks

- Informationsseiten der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V: 8FNR) zu Energiepflanzen [6]
- Kurzumtriebsplantagen [7]
- Spezielle Energiepflanzenzüchtung [8]
- Anbaumethoden von Energiepflanzen [9]

Referenzen

[1] Rolf Meyer, Armin Grunwald, Christine Rösch, Arnold Sauter (2007): Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen – Basisanalysen. Arbeitsbericht Nr. 121 des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestags, S. 31. pdf (http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2007/meua07a.pdf&ei=24TUScfBDNOOsAbbxtH_Dg&usg=AFQjCNFvx_pVkButYKAfEyu5-Xtao8K4QQ&sig2=KLBuKwJ7mlYSI2AOvFzdPg)

[2] C.A.R.M.E.N. e. V.: Hintergrund Nachwachsende Rohstoffe: 1.4 Produktlinien (http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/nawaros.html#4) (modifiziert)

[3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2008: Anbau Nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. (http://www.nachwachsenderohstoffe.de/presseservice/grafiken/medien-details/archive/2008/september/article/deutschland-setzt-weiter-auf-nachwachsende-rohstoffe.html?tx_ttnews[day]=08&cHash=ec3b654e6d)

[4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2009: Entwurf der Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung. (pdf (http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nachv_entwurf.pdf))

Energiepflanzenprämie

Die **Energiepflanzenprämie** ist ein agrarpolitisches Instrument, um den Anbau von Pflanzen zur energetischen Verwendung in der Europäischen Union (EU) zu unterstützen. Sie wurde im Rahmen der Agrarreform im Jahr 2003 eingeführt und wird im Jahr 2009 letztmalig gewährt. Landwirte, die Energiepflanzen anbauen, erhalten unter bestimmten Voraussetzungen die Energiepflanzenprämie als flächenbezogene Beihilfe. Für Anbau auf Stilllegungsflächen wird keine Energiepflanzenprämie gezahlt.

Geschichte der Energiepflanzenprämie

Mit der Umsetzung der Beschlüsse der Agrarreform der EU (Mid-Term-Review) im Jahre 2003 wurde die Förderung des Anbaus von Energiepflanzen in der EU beschlossen.[1] Damit wollte man auch einen Beitrag zur Erreichung der Ziele aus der EU-Richtlinie 2003/30/EG zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen leisten. Die Richtlinie schreibt einen Anteil von 5,75% Biokraftstoffen bis zum Jahr 2010 vor. [2]

Ab dem Anbaujahr 2004 wurde eine Prämie von 45€/ha bis zu einer Anbauhöchstfläche von 1,5 Mio. ha für die EU-15 gewährt. Bei einer möglichen Überschreitung der Anbaufläche würde die Beihilfe anteilig gekürzt werden. Im Jahre 2006 wurde beschlossen die förderfähige Anbaufläche auf 2 Mio. ha zu erweitern und auch den 10 neuen Beitrittsländern die Möglichkeit einzuräumen, die Beihilfe zu beantragen.[3]

Die Energiepflanzenprämie gilt nur für Flächen, die nicht im Rahmen der Flächenstilllegung als stillgelegt gemeldet sind. Zudem muss eine Reihe von Nachweisen (Meldungen, Anbauverträge, Kautionen, ...) bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung erbracht werden, die Kosten verursachen.

Entwicklung der Flächen mit Energiepflanzenprämie

Im Jahr 2004 wurde europaweit für insgesamt 0,31 Mio. ha die Beihilfe gezahlt. Im Jahr 2005 waren es bereits 0,57 Mio. ha, im Jahr 2006 1,23 Mio. ha und im Anbaujahr 2007 ungefähr 2,84 Mio. ha.[3]

Aktuelle Entwicklungen

Aufgrund des rasanten Anstieg des Energiepflanzenanbaues in der Europäischen Union wurde 2007 für ca. 2,84 Mio. ha Energiepflanzenprämie beantragt und überschritt damit die förderfähige Gesamtfläche von 2 Millionen Hektar. Entsprechend erfolgte eine Kürzung der Beihilfe um ca. 30%, d.h. die Landwirte erhielten nicht mehr 45 €/ha sondern nur noch rund 33 €/ha. Im Rahmen der Überprüfung (Health Check) der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) wurde die Abschaffung der Energiepflanzenprämie beschlossen. Die Auszahlung erfolgt letztmalig für die Ernte 2009.[3] [4]

Referenzen

[1] Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 des Rates vom 29. September 2003 mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe, Amtsblatt Nr. L 270 vom 21/10/2003 S. 0001 - 0069 Online (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003R1782:DE:HTML)

[2] Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor*, Amtsblatt Nr. L 123 vom 17/05/2003 S. 0042 - 0046, Online* (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003L0030:DE:HTML)

[3] Pressemitteilung der Europäischen Union: *Biobrennstoffe: Beihilfe pro Hektar Energiepflanzen gesenkt, da Flächen über 2 Millionen Hektar liegt*, Reference: IP/07/1528, 17.10.2007, Online (http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/07/1528&format=HTML&aged=0&language=DE&guiLanguage=en)

[4] Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2009: Energiepflanzenprämie 2009. (http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/foerderung/nav/19/article/9582.html) Abgerufen am 2009-04-14.

Energiesteuergesetz (Deutschland)

Basisdaten	
Titel:	Energiesteuergesetz
Abkürzung:	EnergieStG
Art:	Bundesgesetz
Geltungsbereich:	Bundesrepublik Deutschland
Rechtsmaterie:	Steuerrecht
FNA:	612-20
Datum des Gesetzes:	15. Juli 2006 (BGBl. I S. 1534)
Inkrafttreten am:	1. August 2006
Letzte Änderung durch:	Art. 1 ÄndG vom 17. Juli 2009 (BGBl. I S. 1979)
Inkrafttreten der letzten Änderung:	z. T. 23. Juli 2009 (Art. 2 Abs. 1 f. ÄndG vom 17. Juli 2009)
Bitte den Hinweis zur geltenden Gesetzesfassung beachten.	

Das **Energiesteuergesetz** vom 15. Juli 2006 hat das bis dahin geltende **Mineralölsteuergesetz** abgelöst. Eine Neufassung des Gesetzes wurde zur Umsetzung der Vorgaben der Richtlinie 2003/96/EG zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom (Energiesteuerrichtlinie) notwendig.

Allgemeines

Die Energiesteuerrichtlinie forderte eine Harmonisierung der Mindestbesteuerung für elektrischen Strom und Energieerzeugnisse aus anderen Energiequellen als Mineralöl. Daher wurden im Energiesteuergesetz als weitere fossile Energieträger Steinkohle, Braunkohle sowie Koks und Schmieröle aufgenommen. Gesondert wird Strom im Stromsteuergesetz geregelt. Zudem war seit dem 1. Januar 2004 auch die Besteuerung von Biokraftstoffen im Mineralölsteuergesetz geregelt. Diese irritierende Situation wurde ebenfalls durch die Neufassung im Energiesteuergesetz aufgehoben.

Das Gesetz regelt nun die Besteuerung aller Energiearten fossiler Herkunft (Mineralöle, Erdgas, Flüssiggase und Kohle) als auch der nachwachsenden Energieerzeugnisse Pflanzenöle, Biodiesel, Bioethanol und synthetische Kohlenwasserstoffe aus Biomasse als Heiz- oder Kraftstoff in der Bundesrepublik Deutschland.

Das Energiesteuergesetz ist ein Verbrauchsteuergesetz. Die Energiesteuer ist als Verbrauchsteuer eine indirekte Steuer. Zuständig für die Erhebung der Energiesteuer sind die Hauptzollämter. Diese haben auch die Steueraufsicht. Die Einnahmen aus der Mineralölsteuer sind für das Jahr 2005 mit ca. 42 Mrd. € veranschlagt, die gem. Art. 106 Absatz 1 Nr. 2 Grundgesetz dem Bundeshaushalt zufließen. Die Einnahmen aus der Mineralölsteuer stiegen von 5,886 Mrd. € (11,512 Mrd. DM) im Jahre 1970 auf 41,782 Mrd. € im Jahre 2004.

Bei den Steuersätzen wird unterschieden zwischen Heizöl und Kraftstoffen zur Fortbewegung (wobei chemisch zwischen Diesel und Heizöl kein Unterschied besteht). Dies wird damit begründet, dass mit der Mineralölsteuer auch Kosten des Straßenbaus und -erhalts abgedeckt werden. Die niedrigere Besteuerung von Dieselkraftstoff gegenüber Ottokraftstoff wird oftmals als versteckte Subvention des Straßengüterverkehrs angesehen.

Im Gegensatz zu allen anderen Verbrauchsteuervorschriften legt das Energiesteuergesetz fest, dass nicht jedes Mineralöl der Energiesteuer unterliegt.

Für landwirtschaftliche Zwecke verwendeter Kraftstoff ist steuerbegünstigt (Agrardiesel), während für Dieselloks – die ja ebenfalls keine Straßen benutzen – der Normalsatz angewendet wird.

Kerosin (Jet A-1) und Flugbenzin (AvGas) ist zur gewerbsmäßigen Beförderung von Personen oder Sachen durch Luftfahrtunternehmen steuerfrei.

Die deutsche Bundesregierung senkte mit dem *„Gesetz zur Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform“* aus dem Jahre 2002 für alle Fahrzeuge im öffentlichen Straßenverkehr den Steuersatz auf Erdgas bis zum 31. Dezember 2020 und für Flüssiggas bis zum 31. Dezember 2009. Dadurch reduzierte sich der Preis für Erdgas auf rund 54 Cent im Vergleich zu einem Liter bleifreiem Benzin (Stand Juli 2006).

Im Zuge der Gleichstellung von Erd- und Flüssiggas beschloss der Deutsche Bundestag, die Steuerbegünstigung für diese beiden Alternativ-Kraftstoffe gleichermaßen bis zum Jahr 2018 festzulegen.

Vergleich der Energiesteuersätze 2007 in Deutschland[1]

- Benzin (Schwefelgehalt kleinergleich 10 mg/dm³): 65,45 €cent/Liter ↔ 7,3 €cent/kWh
- Diesel bzw. Gasöl (Schwefelgehalt kleinergleich 10 mg/dm³): 47,04 €cent/Liter ↔ 4,7 €cent/kWh
- unvermischtes Flüssiggas (LPG) als Kraftstoff: 16,6 €cent/kg ↔ 8,96 €cent/Liter ↔ 1,29 €cent/kWh
- Erdgas (CNG) als Kraftstoff: 18,03 €cent/kg ↔ 1,39 €cent/kWh
- Schweres Heizöl: 13,00 €cent/kg ↔ 1,19 €cent/kWh

In diesen Preisen ist die Ökosteuer enthalten, nicht aber die Umsatzsteuer.

Bei Verwendung des Energieträgers zur Erzeugung von elektrischem Strom oder Strom und Wärme (Stand 2006):

- Heizöl: (0,21…0,62) €cent/kWh
- Erdgas: 0,55 €cent/kWh
- Flüssiggas: 0,43 €cent/kWh
- Kohle: 0,12 €cent/kWh

Aufbau des Gesetzes

Geltungsbereich, Steuergegenstand

- In § 1 Abs. wird der Geltungsbereich des Gesetzes als Gebiet der Bundesrepublik Deutschland ohne Büsingen am Hochrhein und die Insel Helgoland definiert.
- Der § 1 Abs. 2 definiert anhand der Kombinierten Nomenklatur (ehemals Zolltarif) was Energieerzeugnisse im Sinne des Gesetzes sind. Mineralöle im Sinne des Gesetzes sind grob gesagt Mineralöle, Mineralölerzeugnisse, deren Mischungen und Erdgas (inkl. Schmieröle).

Steuertarife, Steuerbegünstigungen und -ermäßigungen

- § 2 Absatz 1 definiert die Regelsteuersätze für verschiedene Steuergegenstände. So werden z. B. 1000 Liter Benzin (nicht schwefelarm) mit EUR 669,80 besteuert. In Absatz 2 werden die Maßeinheiten des Gesetzes genau definiert. (z. B. Liter = Liter bei +15 °C)
- § 2 regelt auch die Steuerbegünstigung für so genannte Biokraftstoffe bis zum 31. Dezember 2009. Es ist eine Versteuerung mit einem geringeren Steuersatz oder eine Erstattung der Differenz möglich. Die Steuersätze für Biokraftstoffe werden nunmehr gestaffelt ansteigen.
- In § 3 wird die Versteuerung von Erdgas oder Flüssiggas als Kraftstoff, die Steuerbegünstigung für Schweröl als Heizstoff, für Heizöl (chemisch nichts anderes als gefärbter Dieselkraftstoff) und andere Steuerermäßigungen geregelt.

Steuerbefreiungen

- §§ 26–29, 37, 44 regeln die Verwendungen von Mineralölen und anderen Energieerzeugnissen, welche steuerbefreit sind. (z. B. das Mineralöl, welches im Herstellungsbetrieb verbraucht wird, befristet Kohle zum Beheizen des eigenen privaten Haushalts, Schmieröl, Flugzeugtreibstoff, Schiffstreibstoff etc.)

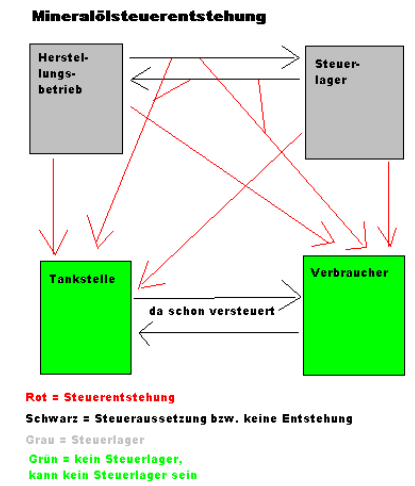
Steueraussetzungsverfahren

- Nach § 5 ist die Steuerentstehung ausgesetzt für Energieerzeugnisse, welches sich in einem Steuerlager oder in einem Versandverfahren (Transport zwischen zwei Steuerlagern oder ins Ausland) befindet.
- Die §§ 6, 7 definieren was ein Energieerzeugnisherstellungsbetrieb, Energieerzeugnislager (beide Steuerlager) und was ein Einlagerer (Dritter, welcher Stauraum in einem Steuerlager nutzt) sind und unter welchen Voraussetzungen diese vom Hauptzollamt zugelassen werden und wann diese Zulassungen entzogen werden können.

- Wichtig ist, dass nur die Energieerzeugnisse nach § 4 dem Steueraussetzungsverfahren unterliegen können!

Steuerentstehung

- §§ 8ff. regelt die Entstehung der Steuer für Energieerzeugnisse nach § 4. Sie entsteht bei Entnahme aus dem Steuerlager in den freien Verkehr, bei der Herstellung, wenn keine Erlaubnis nach § 6 als Herstellungsbetrieb vorliegt (Abs. 2). Es sind weiterhin die Fälle abgedeckt, in denen Steuergegenstände zur Verwendung als Heiz- oder Kraftstoff entnommen werden. Keine steuerpflichtige Herstellungshandlung ist das Vermischen von versteuerten Kraftstoffen, z. B. beim Befüllen des Tanks eines Kraftfahrzeuges an einer Tankstelle.
- Die übrigen Entstehungsvorschriften je nach Energieerzeugnis finden sich in den §§ 20–23, 32 (Kohle), 43 (Erdgas) EnergieStG.



Schema der Entstehung der Energiesteuer, Rot bedeutet jeweils Entnahme aus dem Steuerlager (Grau unterlegt) und Überführung in den Freien Verkehr (hier grün dargestellt), Schwarz sind Transporte unter Steueraussetzung bzw. unten von schon versteuertem Kraftstoff

Beispiele für die Steuerentstehung

- Der Inhaber eines Herstellungsbetriebes entnimmt Benzin zur Überführung in den freien Verkehr (Lieferung an Tankstelle). Steuerentstehung nach § 8, Steuerschuldner ist der Inhaber des Herstellungsbetriebes.
- Ein Chemiestudent destilliert in seiner Garage aus Rohöl Benzin als Kraftstoff für sein Auto. Steuerentstehung nach § 9 Abs. 2, Steuerschuldner ist der Student.
- Erdgas wird aus einem Gaslager an einen regionalen Energieversorger geliefert. Steuerentstehung nach Abs. 3, Steuerschuldner ist der Inhaber des Gaslagers.
- Ein Steuerlagerinhaber tankt seinen privaten PKW mit Beständen aus dem Steuerlager. Die Steuer entsteht gem. Abs. 4, Steuerschuldner ist der Steuerlagerinhaber.
- Ein Deponiebetreiber fängt aus umweltschutzrechtlichen Gründen Deponiegas auf (gilt als Herstellung und bedarf der Erlaubnis) und verwendet es in einem BHKW. Die Steuer entsteht nach § 9 Abs. 2, Steuerschuldner ist der Deponiebetreiber. (Der Steuer kann mit einem Billigkeitserlass begegnet werden, da die spätere Verwendung im BHKW allgemein erlaubt ist.)

Steueranmeldung

- Die Formalitäten der Steueranmeldung werden in §§ 10, 33, 39 EnStG geregelt.

Fälligkeit

- In § 11 wird die Fälligkeit der Energiesteuer für Mineralölprodukte geregelt. Grundsätzlich ist die Steuer bis zum 10. des auf die Steuerentstehung übernächsten Monates vom Steuerschuldner zu entrichten. (z. B. Steuern für den Monat Januar bis zum 10. März)
- Steuern auf Grund unerlaubter Herstellungshandlungen und Ähnlichem sind sofort fällig.
- Für Kohle ist die Regelung in § 33 zu finden.
- Für Erdgas ist die Regelung in § 39 zu finden.

Weblinks

- Text des Gesetzes [2]
- Text der entsprechenden Durchführungsverordnung [3]
- Zoll.de: *Steuertarif für Energieerzeugnisse* [4]

Referenzen

[1] Bundesministerium der Justiz, Energiesteuergesetz (http://bundesrecht.juris.de/energiestg/__2.html#) Abrufdatum 8. April 2008

Energiewende

Als **Energiewende** wird die Realisierung einer nachhaltigen Energieerzeugung bezeichnet. Insbesondere Erneuerbare Energien (Windenergie, Wasserkraft, Sonnenenergie, Bioenergie, Geothermie) werden als Alternative zu fossilen Energieträgern (Öl, Kohle, Erdgas) und Kernbrennstoffen (Uran) verstanden. Das Energiesparen und eine höhere Energieeffizienz spielen eine wichtige Rolle. Mit **Energiewende** wird der Teil der **Rohstoffwende** bezeichnet, der die Energierohstoffe betrifft.



Offshore-Windenergie Testfeld in Cuxhaven, größte Anlage: derzeit leistungsstärke Windkraftanlage mit 6 MW maximaler Leistung, 114 m Rotordurchmesser, 124 m Nabenhöhe

Begriff

Der Begriff diente zunächst als Titel einer vom Öko-Institut 1980 erarbeiteten wissenschaftlichen Prognose zur vollständigen Abkehr von Kernenergie und Energie aus Erdöl. In den darauf folgenden Jahrzehnten wurde er erheblich erweitert und geht in der heutigen Form wenigstens auf das Jahr 2002 zurück. In jenem Jahr fand am 16. Februar in Berlin die Fachtagung *Energiewende – Atomausstieg und Klimaschutz* statt, veranstaltet vom Bundesumweltministerium.

Die Energiewende wird dabei mit einer Veränderung der Energiepolitik verbunden: Durch einen Wechsel von einer angebots- zu bedarfsorientierter Energiepolitik und einen Übergang von zentralistischer zu dezentraler Energieerzeugung (z.B. gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung in Blockheizkraftwerken) soll es anstelle von Überproduktion und Energieverschwendung zu Energiesparmaßnahmen und höherer Effizienz kommen. Diese im Szenario niedergelegten, anfangs stark bekämpften Ansichten des Öko-Instituts sind mittlerweile – anders als der Wechsel der Energieträger – energiepolitisches Allgemeingut geworden.

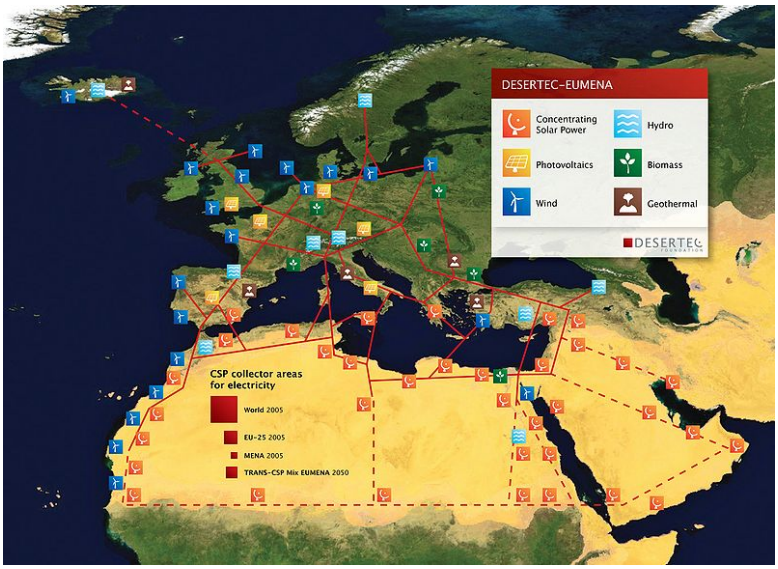
Nachhaltige Energiewende

Die Energiewende wird als ein möglicher Baustein gesehen hin zu einer nachhaltigen Energieversorgung (Strom, Wärme, Treibstoff) mit erneuerbaren Energien wie

- Sonnenenergie (Solarthermie, Photovoltaik)
- Wasserkraft
- Windenergie
- Biomasse (Bioenergie)
- Geothermie
- Meeresenergie.

Auch andere Maßnahmen wie

- Energiesparen (Wärmeisolierung von Gebäuden, etc.)
- Energieeffizienz (Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), intelligente Stromzähler, etc.)



Euro-Supergrid mit einer EU-MENA-Connection: Skizze einer möglichen Infrastruktur für eine nachhaltige Stromversorgung in *EU*ropa, dem Nahen Osten (the *M*iddle-*E*ast) und *N*ord-*A*frika (kurz: *EU-MENA*)

können einen großen Beitrag liefern. Da die einzelnen Maßnahmen ein begrenztes Potential haben, sind sie gemeinsam für eine zügige Umsetzung der Energiewende notwendig. Ein Beispiel für einen umfassenden Ansatz ist das DESERTEC-Projekt, das sich aktuell noch in der Anfangsphase der Planung (Stand 2009) befindet. Im Rahmen dieses Projekts ist vorgesehen, die Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien in Europa, Nordafrika und dem Nahen Osten massiv auszubauen. Durch eine Verknüpfung der Stromübertragungsnetze dieser Regionen soll sichergestellt werden, daß die lokal unstet verfügbare Energie (Wind- und Solarstrom) durch Überschüsse aus anderen Regionen ersetzt wird. Zudem soll die Erzeugung des in Europa benötigten Stroms in Regionen mit hoher Sonneneinstrahlung (z. B. Sahara), hohen Windgeschwindigkeiten (z. B. afrikanische Atlantikküste), etc. trotz Leitungsverlusten wirtschaftlicher sein. Von verschiedenen Seiten wird die Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit angezweifelt. (Hauptartikel: Desertec)

Vor- und Nachteile

Die bisherige vor allem auf fossilen Energieträgern und Kernkraft basierende Energieversorgung verursacht verschiedene Probleme. Die Umstellung auf Erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Energiesparen bietet Vorteile, aber auch Nachteile.



Parabolrinnenkraftwerk zur Erzeugung von elektrischem Strom in Kramer Junction, Kalifornien

Vorteile

- Vermeidung der Umweltzerstörung durch Förderung fossiler Energieträger (Zerstörung von Umwelt/ Landschaft, Umweltverschmutzung, etc.)
- Verringerung der Treibhausgasemissionen
- Verringerung der Schadstoffemissionen
- Schonung von begrenzten Ressourcen wie vor allem Erdöl (Peak Oil) und Erdgas, aber auch Kohle
- größere wirtschaftliche und politische Unabhängigkeit von Exporteuren fossiler Energieträger
- Vermeidung von Atommüll

Nachteile

- Eingriff in die Natur durch Windräder, Wasserkraftwerke, Energiepflanzenanbau
- Flächen- und Nutzungskonkurrenz zwischen Nahrungsmittelerzeugung und Energiepflanzenanbau
- höhere Kosten für Erneuerbare Energien

Da die Vorteile die Nachteile überwiegen, findet in vielen Industriestaaten und auch in Schwellenländernein massiver Ausbau der Erneuerbaren Energien statt. Die begrenzten Ressourcen fossiler Energieträger und der Klimawandel machen zudem eine Energiewende aus heutiger Sicht unvermeidbar. Einige Alternativen, wie beispielsweise die Photovoltaik, liefern derzeit noch teuren Strom. Allerdings konnte der der Wirkungsgrad in den letzten Jahren deutlich gesteigert werden. Zudem sinken die Produktionskosten mit der Stückzahl, wie aktuelle Preisentwicklungen zeigen (2009). Zukünftig sind weiter sinkende Kosten zu erwarten. Windenergie ist bereits heute häufig preiswerter als konventioneller Strom. Bei den Preisen für Strom aus fossilen Energieträgern sind außerdem externe Kosten, wie z. B. für den Klimaeffekt durch emittiertes CO_2 oder Folgen der Schadstoffemissionen, nicht mit einbezogen.

Kritik

Bioenergien

(siehe auch Hauptartikel: Bioenergie)

In den Industrieländern zunehmend nachgefragter Biosprit wird als Ursache oder Mitursache für die zeitweilige starke Verteuerung von Nahrungsmitteln Ende 2007 (sogenannte Tortilla-Krise) angesehen. Daher wird der Beitrag einiger Bioenergien (z. B. Biokraftstoffe wie Bioethanol aus Maisstärke) in Frage gestellt.[1] Das Absinken der Nahrungsmittelpreise nach 2007 auf alte Tiefstände zeigt, daß das derzeitige Maß der Bioenergienutzung keinen starken Einfluss ausübt. Ein weiterer Ausbau der Bioenergien und der steigende Nahrungsmittelbedarf durch die steigende Weltbevölkerung verschärfen jedoch diese Nutzungskonkurrenz. Zudem sind auch ökologische und andere Aspekte zu beachten.

Potential der Erneuerbaren Energien und Gesamtenergiebedarf

Jeroen van der Veer, Vorstand des Ölkonzerns Shell AG, hielt es im Jahr 2007 zwar für möglich, in 2050 bis zu 30 Prozent der Energiebedarfs aus erneuerbaren Quellen zu decken. In absoluten Zahlen werde 2050 aber sogar mehr Öl, Gas und Kohle konsumiert werden als heute. Die Menschen schätzten seiner Ansicht nach die Dimensionen der für eine Rohstoffwende notwendigen Veränderungen falsch ein. [2] Dem stehen mehrere Argumente entgegen. So sind die Reserven an Öl (siehe Globales Ölfördermaximum) und Erdgas sehr begrenzt. Gegen die verstärkte Nutzung von Kohle zur Bereitstellung von Strom, und Wärme sowie als Alternative zu Erdöl (coal-to-liquid (CTL)) sprechen die damit verbundenen überproportional hohen Treibhausgas-Emissionen. Auch das Potential und die Geschwindigkeit des Ausbaus der Erneuerbaren Energien wird unterschiedliche eingeschätzt. In Deutschland, Europa und der Welt wurde dies in zahlreichen Studien massiv unterschätzt, wie eine Analyse der Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) aus dem Jahre 2009 zeigt.[3] (siehe Artikel Erneuerbare Energie) Schwer einschätzbare Faktoren wie die zunehmende Konkurrenzfähigkeit von Erneuerbare Energien durch technische Weiterentwicklung, Entwicklung der Preise für fossile Energieträger, unklare Reichweite der fossilen Energieträger, Intensität der Bemühungen zum Klimaschutz und anderes lassen keine exakten Prognosen zu. In ihrer Potentialstudie *ERNEUERBARE ENERGIEN 2020 - Potenzialatlas Deutschland* aus dem Jahre 2010 geht die Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) bzw. der Bundesverband Erneuerbare Energien (BEE) jedoch davon aus, dass bis 2020 ein Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch in Höhe von 28 % bei vertretbarem Flächenbedarf erreichbar ist. Dies sind 55 % mehr als das Ziel der Bundesregierung für 2020 mit 18 % (Stand 2009). Bei der Stromversorgung könnten 47 % mit erneuerbaren Energien gedeckt werden (Prognose der Bundesregierung 2009: 30 %), bei der Wärmeversorung 25 % (Bundesregierung 2009: 14 %) und bei der Mobilität 22 % (Bundesregierung 2009: 12 %).[4]

Literatur

- Florentin Krause, Hartmut Bossel, Karl-Friedrich Müsser-Reissmann: *Energie-Wende: Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran. Ein Alternativ-Bericht des Öko-Instituts*. Fischer, Frankfurt am Main 1980, ISBN 3-10-007705-9.
- Volker Hauff: *Energie-Wende – von der Empörung zur Reform. Mit den neuesten Gutachten zum Ausstieg aus der Kernenergie*. Droemer Knaur, München 1986, ISBN 3-426-03853-6.
- Uwe Fritzsche: *Das Energiewende-Szenario 2020. Ausstieg aus der Atomenergie, Einstieg in Klimaschutz und nachhaltige Entwicklung. Untersuchung im Auftrag der Bundestagsfraktion und der Landtagsfranktion NRW von Bündnis 90/Grüne sowie der Heinrich-Böll-Stiftung*. Öko-Institut, Freiburg 1996, ISBN 3-928433-26-1.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: *Welt im Wandel. Energiewende zur Nachhaltigkeit*. Springer, Berlin 2003, ISBN 3-540-40160-1. (online [5], PDF, 3,84 MB)
- Gero Jenner: *Energiewende – so sichern wir Deutschlands Zukunft*. Propyläen, Berlin 2006, ISBN 3-549-07297-X.
- Agentur für Erneuerbare Energie: *ERNEUERBARE ENERGIEN 2020 - Potenzialatlas Deutschland* [6], vom 14. Januar 2010, als pdf

Weblinks

- Fachtagung *Energiewende – Atomausstieg und Klimaschutz* am 16. Februar 2002 [7]
- Argumente des Solarenergie-Fördervereins Deutschland e.V. (SFV) für eine vollständige Energiewende hin zu erneuerbaren Energien [8]
- Energiewende: Hintergrund/Aktuelles im Agenda-21-Treffpunkt [9]
- Bürgerstiftung Energiewende Oberland [10]

Referenzen

[1] Elmar Altvater: *Die achte Plage* 25. April 2008 (http://www.freitag.de/2008/17/08170101.php), zitiert: "Dadurch befinden wir uns in der fatalen Lage, dass ein abhebender Ölpreis auch Biomasse und Nahrungsmittel verteuert."

[2] Joren van der Veer im Gespräch mit dem Spiegel, Juni 2007 http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,486715,00.html

[3] Agentur für Erneuerbare Energien e. V. (AEE) *Vergleich von Prognosen und Szenarien mit der tatsächlichen Entwicklung Erneuerbarer Energien - Deutschland - Europa - Welt* (http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Prognose-Analyse_mai09_01.pdf) Kurzgutachten, Mai 2009, 30-seitig, als pdf, abgerufen am 01. Februar 2010

[4] Agentur für Erneuerbare Energie: *ERNEUERBARE ENERGIEN 2020 - Potenzialatlas Deutschland* (http://www.unendlich-viel-energie.de/fileadmin/content/Wirtschaft/Potenziale/Potenzialatlas_2020_online.pdf), 68-seitig, pdf vom 14. Januar 2010

Energiewirt

Ein **Energiewirt** ist ein Landwirt, der neben oder statt der klassischen Tätigkeiten, wie z. B. Erzeugung von Lebens- und Futtermitteln und/oder Veredelung, in der Energiewirtschaft tätig ist.

Der Tätigkeitsbereich der Energiewirte wird auch als Agrarenergie bezeichnet. Dieser umfasst Erneuerbare Energien wie vor allem Bioenergien. Dazu gehört die Rohstoffbereitstellung, wie z. B. Rapssaat für die Gewinnung von Pflanzenöl oder Getreide, Kartoffeln und Zuckerrüben für Bioethanol oder Biomasse (Substrate) für Biogas. Die Umwandlung der Rohstoffe (Nachwachsenden Rohstoffe (Nawaros)) kann in Anlagen des Energiewirts, wie z. B. einer Biogasanlagen, geschehen.[1]



Fermenter einer Biogasanlage (links), Photovoltaikanlage (hinten) und Windkraftanlage

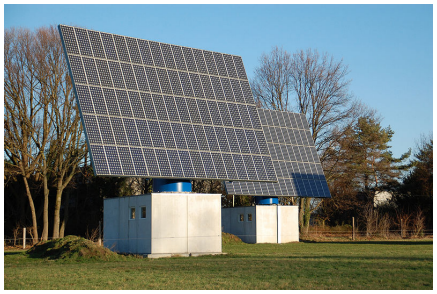
Teilweise wird auch der Betrieb von Photovoltaik- und Windkraftanlagen zum Tätigkeitsbereich eines Energiewirts gezählt, da landwirschaftliche Gebäude bzw. landwirtschaftliche Flächen gut geeignete Standorte sein können.

Die Bedeutung der Agrarenergien hat aus mehreren Gründen in den vergangenen Jahren stark zugenommen, so dass auch immer mehr Ausbildungs- und Weiterbildungsmöglichkeiten zum Energiewirt angeboten werden.[2] [3]

Bereitgestellte Energien

(siehe Artikel Agrarenergie und Bioenergie)

Energiewirte stellen Energie in Form von Biokraftstoffen, Elektrischer Strom oder Wärme bereit bzw. liefern sie die Rohstoffe für ihre Erzeugung.[4] Folgende Energien bzw. Energieträger sind bedeutend:



Freistehende Photovoltaikanlage auf landwirtschaftlicher Weidefläche

- Biogene Brennstoffe
  - Biogene Flüssigbrennstoffe (vor allem Biokraftstoffe):
    - Pflanzenöl
    - Biodiesel
    - Bioethanol
    - Biomass to Liquid (BtL)
  - biogene Festbrennstoffe zur Bereitstellung von Wärme und z. T. auch Strom:
    - Stroh
    - Holz aus betriebseigenem Wald oder aus Heckenschnitt
    - Holz aus Kurzumtriebsplantagen auf landwirschaftlichen Flächen
    - Biomasse anderer schnellwachsender Pflanzen, wie z. B. Miscanthus
  - Biogene Brenngase zur Bereitstellung von Strom und oft auch Wärme oder als Kraftstoff:
    - Biogas (Rohbiogas)
    - Biomethan
- Strom aus anderen Erneuerbaren Energien:
  - Strom aus Sonnenenergie (Photovoltaik)
  - Strom aus Wind (Windkraftanlagen)



Kurzumtriebskultur aus Hybrid-Pappeln

Geschichte und Perspektive



Rapsfelder am Wohlenberger Wiek

Lange Zeit hatte die Energiebereitstellung durch die Landwirtschaft keine große Bedeutung. In den 1950ern gab es Bemühungen, aus landwirtschaftlichen Abfällen bzw. Reststoffen wie Gülle und Mist Biogas zu erzeugen.[5] Aber der geringe Preis (Ölpreis) und die gute Verfügbarkeit machte Erdöl machte konkurrenzlos. Mit den Ölkrisen in den 1970ern gab es erneut Bemühungen in Forschung und Wirtschaft, alternative Energiequellen zu erschließen. Durch den erneut relativ niedrigen Ölpreis in den 1990ern waren diese aber wiederum wirtschaftlich nicht interessant. In den 1990ern wurden Faktoren wie Begrenztheit der Ressourcen, Unabhängigkeit von Erdöl- und Gasexporteuren, Umweltschutz und zunehmend auch der Klimaschutz wichtiger, so dass die Politik und auch die Wirtschaft erneut alternative Energiequellen zu aktivieren versuchte. Insbesondere die Rekordhöhe des Öl- und Erdgaspreises in 2007/08 ließ die künftige Wirtschaftlichkeit erneuerbarer Energien realistisch erscheinen.

Für Landwirte wurde die Energiebereitstellung in den vergangenen Jahren zunehmend zu einer interessanten Alternative, da die Preise für die klassischen Agrarprodukte bis Mitte der 2000er über Jahre hinweg eine sinkende

Tendenz gezeigt hatten. Zudem gab es bis 2008 in der Europäischen Union (EU) die obligatorische Flächenstilllegung, durch die in einigen Jahren bis zu 10 % der landwirtschaftlichen Anbauflächen zur Verringerung der Produktionsüberschüsse stillgelegt werden mußten. Der Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen (Nawaros), z. B. auch zur Energiebereitstellung, war jedoch zugelassen. Ein weiterer Impuls kam z. B. auch durch die Verringerung der maximal zulässigen Zuckerexporte der EU gemäß der Europäischen Zuckermarktordnung in 2005, die weitere Anbauflächen freisetzte.[1]

Ein wichtiger Faktor war und ist in Deutschland das in 2000 in Kraft getretene Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das eine langfristige Vergütungsgarantie über 20 Jahre für Strom, z. B. aus Biogas, Wind und Sonne, garantiert und so eine Investitionssicherheit bietet. Für Biokraftstoffe galt in Deutschland zeitweise eine Steuerbefreiung gemäß dem Energiesteuergesetz, die die Konkurrenzfähigkeit zu fossilen Kraftstoffen sicherstellte. Die Steuerbefreiung wird sukzessiv abgeschafft und durch eine Zwangsbeimischung von Biokraftstoffen zu konventionellen Kraftstoffen ersetzt. Der so geschaffene Bedarf wird auch durch preiswertere Importe gedeckt, so dass unklar ist, welche Rolle die Erzeugung von Kraftstoffen bzw. die Rohstoffbereitstellung für Energiewirte in der EU zukünftig spielen wird.

Ausbildung

Mit der stark zugenommenen Bedeutung der Erneuerbaren Energien in der Landwirtschaft stieg auch der Bedarf und das Angebot an Weiter- und Ausbildungsmöglichkeiten. Zahlreiche Möglichkeiten zur Qualifizierung, z. B. von Biogasanlagen-Betreibern und -Servicekräften sowie Fortbildungen und Lehrgänge für Landwirte im Bereich Biomassenutzung, Energieholz, Ölmühlenbetrieb, Sonnenenergie etc. werden angeboten. Darüber hinaus werden eine Reihe von Aufbau- und Weiterbildungsstudiengängen angeboten, die sich unterschiedlich stark mit den Fähigkeite und Kenntnissen eines Energiewirts decken.[2] [3]

Weblinks

- "Bioenergie Basis für eine wettbewerbsfähige und nachhaltige Landwirtschaft" [6] Veranstaltung der DECHEMA und der FNR am 08. und 09. März 2006, Zusammenfassungen der verschiedenen Vorträge verfügbar

Referenzen

[1] *Der Landwirt als Energiewirt - Chancen und Perspektiven* (http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/dechema2006/Gienapp-lang.pdf), Vortrag im Rahmen einer Veranstaltung zum Thema "Bioenergie Basis für eine wettbewerbsfähige und nachhaltige Landwirtschaft" der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 08. und 09. März 2006, abgerufen am 08.01.2010

[2] [day (http://www.nachwachsenderohstoffe.de/presseservice/pressemitteilungen/archiv/archiv-nachricht/archive/2006/september/article/nachwachsende-rohstoffe-wer-bildet-aus.html?tx_ttnews)=29&cHash=bf2a5b6ad5 *Nachwachsende Rohstoffe: Wer bildet aus?*], Informationen der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), vom 29.06.2006, abgerufen am 07.01.2010

[3] *Neue Berufe in der Bioenergie-Branche - vom Bauer zum Energiewirt* (http://www.general-anzeiger-bonn.de/index.php?k=wett&itemid=10580&detailid=302237), General-Anzeiger Bonn, 20.04.2007, abgerufen am 07.01.2010

[4] Bioenergie - "Der Landwirt als Energiewirt" (http://www.innovations-report.de/html/berichte/energie_elektrotechnik/bericht-38732.html) Bericht bei *innovations-report.de* am 12.01.2005, abgerufen am 08.01.2010

[5] B. Eder, H. Schulz: *Biogas Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagebau, Beispiele und Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen* ökobuch Verlag Staufen 2006, 3. Auflage, ISBN 978-3-936896-13-8

Entschleimung

Die **Entschleimung** ist ein Verfahrensschritt bei der Raffination von Pflanzenöl, der unerwünschte Schleimstoffe aus dem Öl entfernt. Er wird bei der industriellen Herstellung von Pflanzenöl in zentralen Ölmühlen eingesetzt, die mit Heißpressung und Extraktion arbeiten.

Verfahren

Bei der klassischen (chemischen) Raffination ist das Verfahren der Enschleimung in zwei Phasen unterteilt. Während der *Vorentschleimung* (auch als Lecithingewinnung oder Entlecithinisierung bezeichnet) hydratisiert zugeführtes Wasser einen Teil der Phosphatide (Lecithin) und der anderen Schleimstoffe. Es bildet sich ölunlöslicher Schlamm, der durch Separatoren vom Öl abgetrennt wird. Der Schlamm wird zum Extraktionsschrot gegeben oder (vor allem bei Soja, selten bei Raps) zum Wertstoff Lecithin aufgearbeitet.

Für die *Nachentschleimung* werden neben Wasser und Wasserstoff häufig Säuren (Phosphor-, Zitronen-, Schwefelsäure) eingesetzt. Nicht-hydratisierbare Phosphatide werden zerstört und dadurch hydratisierbar. Ebenso wird der Hydratationseffekt verstärkt. Die Säure muss dabei genau so stark sein, dass die Phosphatide, aber nicht das Öl zerstört werden. Eine Nachentschleimung ist auch durch Erhitzung auf 240 bis 280°C ("Brechen"), die Zugabe von Adsorptionsmitteln (z.B. Kieselgur, Bleicherde, Aktivkohle), und/oder eine Ultrafiltration möglich.

Mit einem biotechnologischen Entschleimungsverfahren auf der Basis von Enzymen können der Verbrauch an Wasser, Natronlauge, Phosphor- und Schwefelsäure sowie Abwasser- und Klärschlammaufkommen stark verringert werden. Dabei spaltet das Enzym Phospholipase A2 selektiv die mittelständig gebundene Fettsäure aus dem Phospholipid-Molekül ab, wodurch das verbleibende Molekül ölunlöslich wird und abgetrennt werden kann[1] .

Weblinks

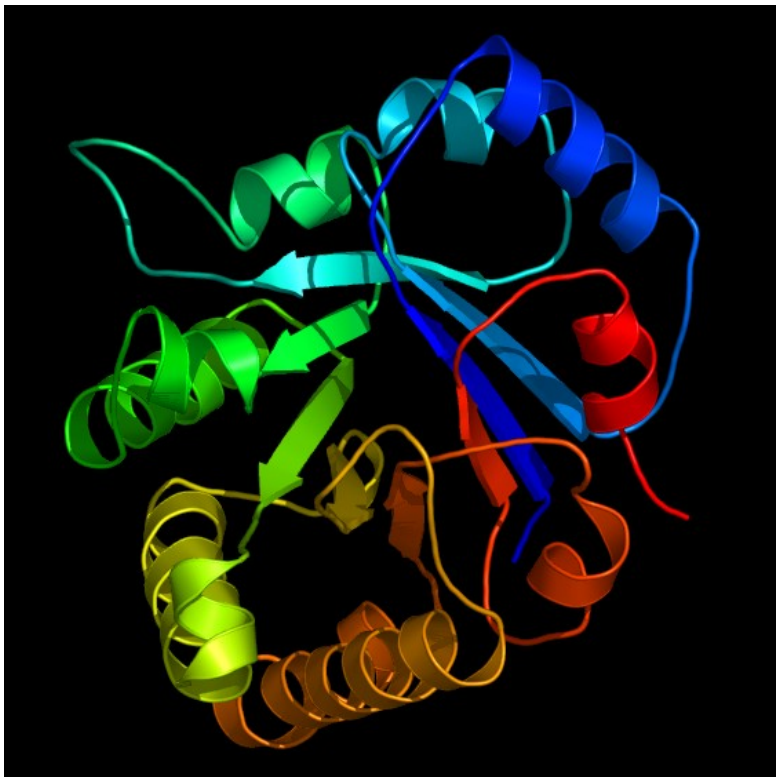
- Technologie- und Förderzentrum des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Ölraffination in zentralen Ölmühlen [2]

Referenzen

[1] H. Buchold, 1993: Enzymatische Phosphatidentfernung aus Pflanzenölen. (http://dx.doi.org/10.1002/lipi.19930950805) In: Fett Wissenschaft Technologie/Fat Science Technology, 95/8, S. 300-304

Enzym

Enzyme (altgriechisches Kunstwort ἔνζυμον, *énzymon*), früher **Fermente** (lateinisch *fermentum*), sind Proteine, die biochemische Reaktionen steuern. Enzyme haben wichtige Funktionen im Stoffwechsel von Organismen: Sie steuern den überwiegenden Teil biochemischer Reaktionen - von der Verdauung bis hin zum Kopieren (DNA-Polymerase) und Transkribieren (RNA-Polymerase) der Erbinformationen.



Bändermodell des Enzyms Triosephosphatisomerase (TIM) der Glykolyse, eine stilisierte Darstellung der Proteinstruktur, gewonnen durch Kristallstrukturanalyse. Die TIM gilt als katalytisch perfektes Enzym (siehe Enzymkinetik).

Wortherkunft

Vor 1878 benutzte man den im deutschen Sprachraum im 15. Jahrhundert aus dem lateinischen *fermentum* entstandene Ausdruck *Ferment*. Er bedeutet „Gärungsmittel“ oder „Sauerteig“ und wurde auch für Fermenter, Fermentation und abgeleitete Begriffe verwendet [1] . 1878 führte Wilhelm Friedrich Kühne das heutige neoklassische griechische Kunstwort *Enzym* (*ἔνζυμον*, *enzymon*) ein, abgeleitet von *ἐν-*, *en-*, „in-“ und *ζύμη*, *zýmē*, welche ebenfalls „der Sauerteig“ oder „die Hefe“ bedeutet[1] . Dieser Begriff hielt dann Einzug in die internationale Wissenschaft und ist nun auch Bestandteil der griechischen Sprache[2] .

Benennung und Einteilung

Nomenklatur nach IUPAC und IUBMB

Die IUPAC und die International Union of Biochemistry haben zusammen eine Nomenklatur der Enzyme erarbeitet, die diese homogene und zahlreiche Vertreter enthaltende Gruppe der Moleküle klassifiziert. Hierzu erarbeitete die IUPAC Prinzipien der Nomenklatur:

- Enzymnamen enden auf -ase, wenn es sich nicht um mehrere Enzyme in einem System handelt. (Beispiel: Hydrol*ase*)
- Der Enzymname soll erklärend sein, also die Reaktion, die das Enzym katalysiert, beschreiben (Beispiel: Cholinesterase: ein Enzym, das die Estergruppe im Cholin-Molekül hydrolysiert)
- Der Enzymname soll seine Klassifikation (siehe unten) enthalten. (Beispiel: Cholin*esterase*)

Außerdem wurde ein Codesystem, das EC-Nummern-System, entwickelt, in dem die Enzyme unter einem Zahlencode aus vier Zahlen zu finden sind. Die erste Zahl bezeichnet die Enzymklasse. Listen aller erfassten Enzyme gewährleisten ein schnelleres Auffinden des angegebenen Enzymcodes. Zwar orientieren sich die Codes an Eigenschaften der Reaktion, die das Enzym katalysiert, in der Praxis erweisen sich Zahlencodes jedoch als

unhandlich. Häufiger gebraucht werden systematische, nach den oben genannten Regeln konzipierte Namen. Probleme der Nomenklatur ergeben sich etwa bei Enzymen, die mehrere Reaktionen katalysieren. Für sie existieren deshalb manchmal mehrere Namen. Einige Enzyme tragen Trivialnamen, die nicht erkennen lassen, dass es sich bei der genannten Substanz um Enzyme handelt. Da die Namen traditionell eine breite Verwendung fanden, wurden sie teilweise beibehalten (Beispiele: die Verdauungsenzyme Trypsin und Pepsin des Menschen).

Klassifikation nach IUPAC und IUBMB

Enzyme werden entsprechend der von ihnen katalysierten Reaktion in sechs Enzymklassen eingeteilt:

1. *Oxidoreduktasen*, die Redoxreaktionen katalysieren.
2. *Transferasen*, die funktionelle Gruppen von einem Substrat auf ein anderes übertragen.
3. *Hydrolasen*, die Bindungen unter Einsatz von Wasser spalten.
4. *Lyasen*, auch *Synthasen* genannt, die die Spaltung oder Synthese komplexerer Produkte aus einfachen Substraten katalysieren, allerdings *ohne* Spaltung von ATP.
5. *Isomerasen*, die die Umwandlung von chemischen Isomeren beschleunigen.
6. *Ligasen* oder *Synthetasen*, die die Bildung von Substanzen katalysieren, die chemisch komplexer sind als die benutzten Substrate, allerdings im Unterschied zu den Lyasen nur unter *ATP-Spaltung* enzymatisch wirksam sind.

Manche Enzyme sind in der Lage, mehrere, zum Teil sehr unterschiedliche Reaktionen zu katalysieren. Ist dies der Fall, werden sie mehreren Enzymklassen zugerechnet.

Aufbau

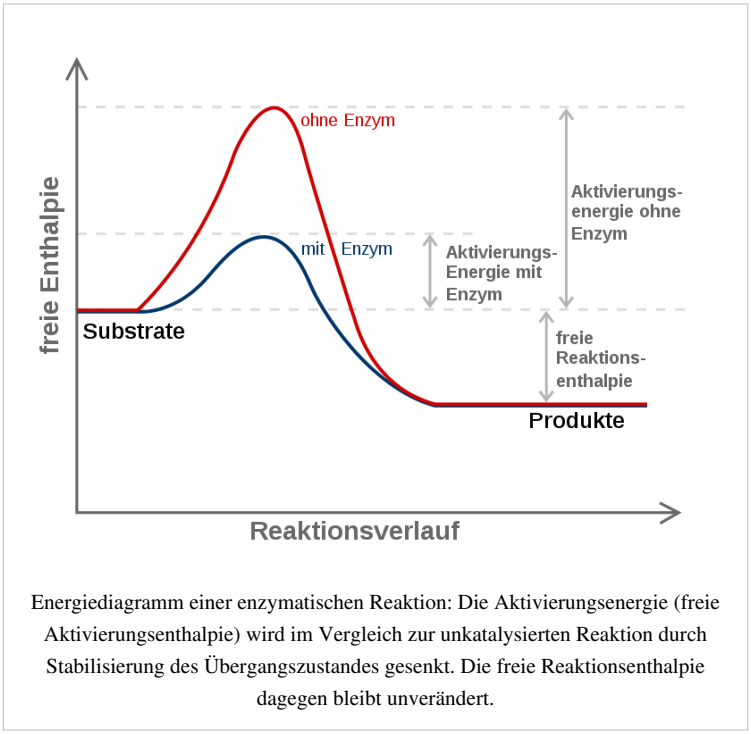
Enzyme lassen sich anhand ihres Aufbaus unterscheiden. Während viele Enzyme aus nur einer Proteinkette bestehen, so genannte Monomere, bilden andere Enzyme Oligomere aus mehreren Proteinketten, den Untereinheiten. Einige Enzyme lagern sich mit weiteren Enzymen zu sogenannten Multienzymkomplexen zusammen und kooperieren miteinander oder regulieren sich gegenseitig. Umgekehrt gibt es auch einzelne Proteinketten, welche mehrere Enzymaktivitäten enthalten *(multifunktionelle Enzyme)*. Eine weitere mögliche Einteilung hinsichtlich ihres Aufbaus berücksichtigt das Vorhandensein von Kofaktoren:

- *Reine Protein-Enzyme* bestehen ausschließlich aus Protein, das aktive Zentrum wird nur aus Aminosäureresten und dem Peptidrückgrat gebildet. Zu dieser Gruppe gehören beispielsweise das Verdauungsenzym Chymotrypsin und die Triosephosphatisomerase (TIM) der Glycolyse.
- *Holoenzyme* bestehen aus einem Proteinanteil, dem *Apoenzym*, sowie aus einem Kofaktor, einem niedermolekularen Molekül (kein Protein). Beide zusammen sind für die Funktion des Enzyms wichtig. Organische Moleküle als Kofaktoren werden Koenzyme genannt. Sind sie kovalent an das Apoenzym gebunden, nennt man sie prosthetische Gruppen, andernfalls auch zutreffender als Kosubstrat, da sie in äquivalenten Mengen bei der enzymatischen Reaktion mit dem Substrat umgesetzt werden. Kosubstrate sind zum Beispiel Adenosintriphosphat (ATP) und Nicotinamidadenindinukleotid (NAD). ATP wird oft als Energiequelle für die Reaktion genutzt, z. B. von Proteinkinasen. NAD wird von Enzymen, z. B. die Alkoholdehydrogenase, als Elektronenakzeptor verwendet. Benötigt ein Enzym Metallionen (z. B. Eisen-, Zink- oder Kupferionen), spricht man von einem Metalloenzym. Die Lipoxygenase zum Beispiel enthält Eisen und die Carboanhydrase enthält Zink.

Funktion

Als Biokatalysatoren beschleunigen Enzyme biochemische Reaktionen, indem sie die Aktivierungsenergie herabsetzen, die überwunden werden muss, damit es zu einer Stoffumsetzung kommt. Theoretisch ist eine enzymatische Umsetzung reversibel, d. h. die Produkte können wieder in die Ausgangsstoffe umgewandelt werden. Die Ausgangsstoffe (Edukte) einer Enzymreaktion, die Substrate, werden im so genannten *aktiven Zentrum* des Enzyms gebunden, es bildet sich ein *Enzym-Substrat-Komplex*. Das Enzym ermöglicht nun die Umwandlung der Substrate in die Reaktionsprodukte, die anschließend aus dem Komplex freigesetzt werden. Wie alle Katalysatoren liegt das Enzym nach der Reaktion wieder in der Ausgangsform vor. Enzyme zeichnen sich durch hohe *Substrat-* und *Reaktionsspezifität* aus, unter zahlreichen Stoffen wählen sie nur die passenden Substrate aus und katalysieren genau eine von vielen denkbaren Reaktionen.

Energetische Grundlagen der Katalyse



Energiediagramm einer enzymatischen Reaktion: Die Aktivierungsenergie (freie Aktivierungsenthalpie) wird im Vergleich zur unkatalysierten Reaktion durch Stabilisierung des Übergangszustandes gesenkt. Die freie Reaktionsenthalpie dagegen bleibt unverändert.

Die meisten biochemischen Reaktionen würden ohne Enzyme in den Lebewesen nur mit vernachlässigbarer Geschwindigkeit ablaufen. Wie bei jeder spontan ablaufenden Reaktion muss die freie Reaktionsenthalpie (ΔG) negativ sein. Das Enzym beschleunigt das chemische Gleichgewicht - ohne es zu verändern. Die katalytische Wirksamkeit eines Enzyms beruht einzig auf seiner Fähigkeit, in einer chemischen Reaktion die Aktivierungsenergie $\left(\Delta G^{\ddagger}\right)$zu senken: das ist der Energiebetrag, der zunächst investiert werden muss, um die Reaktion in Gang zu setzen. Während dieser wird das Substrat zunehmend verändert, es nimmt einen energetisch ungünstigen *Übergangszustand* ein. Die Aktivierungsenergie ist nun der Energiebetrag, der benötigt wird, um das Substrat in den Übergangszustand zu zwingen. Hier setzt die katalytische Wirkung des Enzyms an: Durch nicht-kovalente Wechselwirkungen mit dem Übergangszustand stabilisiert es diesen, so dass weniger Energie benötigt wird, um das Substrat in den Übergangszustand zu bringen. Das Substrat kann wesentlich schneller in das Reaktionsprodukt umgewandelt werden, da ihm gewissermaßen ein Weg „geebnet“ wird.

Das aktive Zentrum – strukturelle Grundlage für Katalyse und Spezifität

Für die katalytische Wirksamkeit eines Enzyms ist das *aktive Zentrum* verantwortlich. An dieser Stelle bindet es das Substrat und wird danach „aktiv“ umgewandelt. Das aktive Zentrum besteht aus gefalteten Teilen der Polypeptidkette oder reaktiven Nicht-Eiweiß-Anteilen (Kofaktoren, prosthetische Gruppen) des Enzymmoleküls und bedingt eine Spezifität der enzymatischen Katalyse. Diese Spezifität beruht auf der Komplementarität der Raumstruktur und der oberflächlich möglichen Wechselwirkungen zwischen Enzym und Substrat. Es kommt zur Bildung eines *Enzym-Substrat-Komplexes*.

Die Raumstruktur des aktiven Zentrums bewirkt, dass nur ein strukturell passendes Substrat gebunden werden kann. Veranschaulichend passt ein bestimmtes Substrat zum entsprechenden Enzym wie ein Schlüssel in das passende Schloss (Schlüssel-Schloss-Prinzip). Dies ist der Grund für die hohe *Substratspezifität* von Enzymen. Neben dem Schlüssel-Schloss-Modell existiert das nicht starre *Induced fit model*: Da Enzyme flexible Strukturen sind, kann das aktive Zentrum durch Interaktion mit dem Substrat neu geformt werden.

Bereits kleine strukturelle Unterschiede in Raumstruktur oder Ladungsverteilung des Enzyms können dazu führen, dass ein dem Substrat ähnlicher Stoff nicht mehr als Substrat erkannt wird. Glucokinase beispielsweise akzeptiert Glucose als Substrat, die verwandte Galactose jedoch nicht. Enzyme können verschieden breite Substratspezifität haben, z. B. bauen Alkohol-Dehydrogenasen neben Ethanol auch andere Alkohole ab und Hexokinase akzeptiert neben der Glucose auch andere Hexosen als Substrat.

Die Erkennung und Bindung des Substrats gelingt durch nicht-kovalente Wechselwirkungen (Wasserstoffbrücken, elektrostatische Wechselwirkung oder hydrophobe Effekte) zwischen Teilen des Enzyms und des Substrats. Die Bindung des Enzyms muss stark genug sein, um das oft gering konzentrierte Substrat (mikro- bis millimolare Konzentrationen) zu binden, sie darf jedoch nicht zu stark sein, da die Reaktion nicht mit der Bindung des Substrates endet. Wichtig ist eine noch stärkere Bindung des Übergangszustandes der Reaktion und damit dessen Stabilisierung. Nicht selten nehmen zwei Substrate an einer Reaktion teil, das Enzym muss dann die richtige Orientierung der Reaktionspartner zueinander garantieren. Diese letzteren mechanistischen Eigenheiten einer enzymatischen Reaktion sind die Grundlage der *Wirkungsspezifität* eines Enzyms. Es katalysiert immer nur eine von vielen denkbaren Reaktionen der Substrate.

Katalytische Mechanismen

Obwohl die Mechanismen enzymatischer Reaktionen im Detail vielgestaltig sind, nutzen Enzyme in der Regel eine oder mehrere der folgenden katalytischen Mechanismen:

- *Bevorzugte Bindung des Übergangszustandes:*

Die Bindung des Übergangszustandes ist stärker als die Bindung der Substrate und Produkte, daraus resultiert eine Stabilisierung des Übergangszustandes.

- *Orientierung und Annäherung* von Substraten:

Die Bindung zweier Substrate in der passenden Orientierung und Konformation kann die Reaktionsgeschwindigkeit erheblich erhöhen, da die reaktiven Gruppen der Moleküle in die richtige Lage zueinander kommen und für die Reaktion günstige Konformationen der Moleküle stabilisiert werden.

- *Allgemeine Säure-Basen-Katalyse:*

Aminosäurereste z. B. von Histidin reagieren als Säure oder Base, indem sie während einer Reaktion Protonen (H^+-Ionen) aufnehmen oder abgeben.

- *Kovalente Katalyse:*

Aminosäurereste oder Koenzyme gehen kovalente Bindungen mit einem Substrat ein und bilden ein kurzlebiges Zwischenprodukt. In der Regel sind bei solchen Reaktionen nukleophile Aminosäure-Seitenketten (beispielsweise Lysin-Seitenketten mit Aminogruppe) oder Koenzyme wie Pyridoxalphosphat beteiligt.

- *Metallionen-Katalyse:*

Metallionen können als strukturstabilisierende Koordinationszentren, Redox-Partner (oft Eisen- oder Kupfer-Ionen) oder als Lewis-Säuren (häufig Zink-Ionen) die Katalyse unterstützen. Sie können negative Ladungen stabilisieren bzw. abschirmen oder Wassermoleküle aktivieren.

Enzymkinetik

Hauptartikel: Enzymkinetik

Die Enzymkinetik beschäftigt sich mit dem zeitlichen Verlauf enzymatischer Reaktionen. Eine zentrale Größe hierbei ist die Reaktionsgeschwindigkeit. Sie ist ein Maß für die Änderung der Substratkonzentration mit der Zeit, also für die Stoffmenge Substrat, die in einem bestimmten Reaktionsvolumen pro Zeiteinheit umgesetzt wird (Einheit: mol/(l·s)). Neben den Reaktionsbedingungen wie Temperatur, Salzkonzentration und pH-Wert der Lösung, hängt sie von den Konzentrationen des Enzyms, der Substrate und Produkte sowie von Effektoren (Aktivatoren oder Inhibitoren) ab.

Im Zusammenhang mit der Reaktionsgeschwindigkeit steht die Enzymaktivität. Sie gibt an, wie viel aktives Enzym sich in einer Enzym-Präparation befindet. Die Einheiten der Enzymaktivität sind Unit (U) und Katal (kat), wobei 1 U definiert ist als diejenige Menge Enzym, welche unter angegebenen Bedingungen ein Mikromol Substrat pro Minute umsetzt: 1 U = 1 µmol/min. Katal wird selten benutzt, ist jedoch die SI-Einheit der Enzymaktivität: 1 kat = 1 mol/s. Eine weitere wichtige Messgröße bei Enzymen ist die spezifische Aktivität (Aktivität pro Masseneinheit, U/mg). Daran kann man sehen, wie viel von dem gesamten Protein in der Lösung wirklich das gesuchte Enzym ist.

Die gemessene Enzymaktivität ist proportional zur Reaktionsgeschwindigkeit und damit stark von den Reaktionsbedingungen abhängig. Sie steigt mit der Temperatur entsprechend der RGT-Regel an: eine Erhöhung der Temperatur um ca. 5–10 °C führt zu einer Verdoppelung der Reaktionsgeschwindigkeit und damit auch der Aktivität. Dies gilt jedoch nur für einen begrenzten Temperaturbereich. Bei Überschreiten einer optimalen Temperatur kommt es zu einem steilen Abfallen der Aktivität durch Denaturierung des Enzyms. Änderungen im pH-Wert der Lösung haben oft dramatische Effekte auf die Enzymaktivität, da dieser die Ladung einzelner für die Katalyse wichtiger Aminosäuren im Enzym beeinflussen kann. Jenseits des pH-Optimums vermindert sich die Enzymaktivität und kommt irgendwann zum Erliegen. Ähnliches gilt für die Salzkonzentration bzw. die Ionenstärke in der Umgebung.

Michaelis-Menten-Theorie

Hauptartikel: Michaelis-Menten-Theorie

Ein Modell zur kinetischen Beschreibung einfacher Enzymreaktionen ist die Michaelis-Menten-Theorie (MM-Theorie). Sie liefert einen Zusammenhang zwischen der *Reaktionsgeschwindigkeit v* einer Enzymreaktion sowie der Enzym- und Substratkonzentration $[E_0]$ und $[S]$. Grundlage ist die Annahme, dass ein Enzym mit einem Substratmolekül einen Enzym-Substrat-Komplex bildet und dieser entweder in Enzym und Produkt oder in seine Ausgangsbestandteile zerfällt. Was schneller passiert hängt von den jeweiligen Geschwindigkeitskonstanten *k* ab.

$$\mathrm{E + S \underset{k_1'}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} [ES] \xrightarrow{k_2} P + E}$$

Das Modell besagt, dass mit steigender Substratkonzentration auch die Reaktionsgeschwindigkeit steigt. Das geschieht anfangs linear und flacht dann ab, bis eine weitere Steigerung der Substratkonzentration keinen Einfluss mehr auf die Geschwindigkeit des Enzyms hat, da dieses bereits mit Maximalgeschwindigkeit V_{max} arbeitet. Die MM-Gleichung lautet wie folgt:

$$v = \frac{k_{cat}[E_0][S_0]}{K_m + [S_0]}$$

Die Parameter K_m (Michaeliskonstante) und k_{cat} (Wechselzahl) sind geeignet, Enzyme kinetisch zu charakterisieren, d. h. Aussagen über ihre katalytische Effizienz zu treffen. Ist K_m beispielsweise sehr niedrig, heißt das, das Enzym erreicht schon bei niedriger Substratkonzentration seine Maximalgeschwindigkeit und arbeitet damit sehr effizient. Bei geringen Substratkonzentrationen ist die Spezifitätskonstante k_{cat} / K_m ein geeigneteres Maß für die katalytische Effizienz. Erreicht sie Werte von mehr als 10^8 bis 10^9 M^{-1} s^{-1}, wird die Reaktionsgeschwindigkeit nur noch durch die Diffusion der Substrat- und Enzymmoleküle begrenzt. Jeder zufällige Kontakt von Enzym und Substrat führt zu einer Reaktion. Enzyme, die eine solche Effizienz erreichen, nennt man „katalytisch perfekt“.

Kooperativität und Allosterie

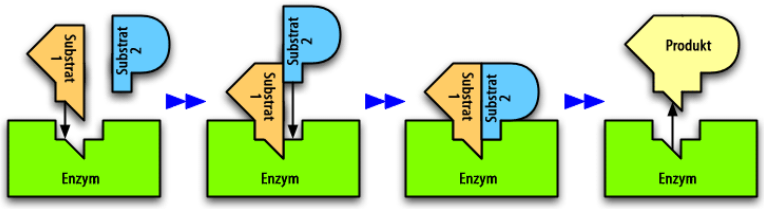
Hauptartikel: Kooperativität

Einige Enzyme zeigen nicht die hyperbolische Sättigungskurve, wie sie die Michaelis-Menten-Theorie vorhersagt, sondern ein sigmoides Sättigungsverhalten. So etwas wurde erstmals bei Bindeproteinen wie dem Hämoglobin beschrieben und wird als positive Kooperativität mehrerer Bindungsstellen gedeutet: die Bindung eines Liganden (z. B. Substratmolekül) beeinflusst weitere Bindungsstellen im gleichen Enzym (oft aber in anderen Untereinheiten) in ihrer Affinität. Bei positiver Kooperativität hat ein Bindeprotein mit vielen freien Bindungsstellen eine schwächere Affinität als ein größtenteils besetztes Protein. Bindet derselbe Ligand an alle Bindungszentren, spricht man von einem *homotropen Effekt*. Die Kooperativität ist bei Enzymen eng mit der Allosterie verknüpft. Unter Allosterie versteht man das Vorhandensein weiterer Bindungsstellen *(allosterischen Zentren)* in einem Enzym, abgesehen vom aktiven Zentrum. Binden Effektoren (nicht Substratmoleküle) an allosterische Zentren, liegt ein *heterotroper Effekt* vor. Die Allosterie ist zwar begrifflich von der Kooperativität zu unterscheiden, dennoch treten sie oft gemeinsam auf.

Mehrsubstrat-Reaktionen

Hauptartikel: Mehrsubstratreaktion

Die bisherigen Überlegungen gelten nur für Reaktionen, an denen ein Substrat zu einem Produkt umgesetzt wird. Viele Enzyme katalysieren jedoch die Reaktion zweier oder mehrerer Substrate bzw. Kosubstrate. Ebenso können mehrere Produkte gebildet werden. Bei reversiblen Reaktionen ist die Unterscheidung zwischen Substrat und Produkt ohnehin relativ. Die Michaelis-Menten-Theorie gilt für eines von mehreren Substraten nur, wenn das Enzym mit den anderen Substraten gesättigt ist.



Ein Enzym katalysiert eine Reaktion zweier Substrate zu einem Produkt. Erfolgt die Bindung des Substrats 1 stets vor der Bindung des Substrats 2, so liegt ein *geordneter sequenzieller Mechanismus* vor.

Für Mehrsubstrat-Reaktionen sind folgende Mechanismen vorstellbar:

- **Sequenzieller Mechanismus:** Die Substrate binden nacheinander an das Enzym. Haben alle Substrate gebunden, liegt ein *zentraler Komplex* vor. In diesem findet die Umwandlung der Substrate zu den Produkten statt, welche anschließend der Reihe nach aus dem Komplex entlassen werden. Man unterscheidet dabei zwischen:
  - Zufalls-Mechanismus (engl. *random*): Die Reihenfolge der Substratbindung ist zufällig.
  - Geordneter Mechanismus (engl. *ordered*): Die Reihenfolge der Bindung ist festgelegt.
- **Ping-Pong-Mechanismus:** Die Bindung von Substrat und die Freisetzung von Produkt erfolgen abwechselnd. Erst bindet Substrat A an das Enzym und wird als erstes Produkt P abgespalten. Dabei wird das Enzym modifiziert. Dann wird das zweite Substrat B aufgenommen und reagiert zu einem zweiten Produkt Q. Das Enzym hat wieder seine Ausgangsgestalt.

Enzymhemmung

Hauptartikel: Enzymhemmung

Als Enzymhemmung (Inhibition) bezeichnet man die Herabsetzung der katalytischen Aktivität eines Enzyms durch einen spezifischen Hemmstoff (Inhibitor). Grundlegend unterscheidet man die **irreversible Hemmung**, bei der ein Inhibitor eine unter physiologischen Bedingungen nicht umkehrbare Verbindung mit dem Enzym eingeht (z. B. Penicillin mit der **D-Alanin-Transpeptidase**), von der **reversiblen Hemmung**, bei der der gebildete Enzym-Inhibitor-Komplex wieder in seine Bestandteile zerfallen kann. Bei der reversiblen Hemmung unterscheidet man wiederum zwischen

- kompetitiver Hemmung – das Substrat konkurriert mit dem Inhibitor um die Bindung an das aktive Zentrum des Enzyms. Der Inhibitor ist aber nicht enzymatisch umsetzbar und stoppt dadurch die Enzymarbeit;
- unkompetitiver Hemmung – der Inhibitor kann ausschließlich an den Enzym-Substrat-Komplex binden. Er verhindert die katalytische Umsetzung des Substrates zum Produkt – und
- nicht-kompetitiver Hemmung – der Inhibitor bindet sowohl an das freie Enzym als auch an den Enzym-Substrat-Komplex. Der Enzym-Substrat-Inhibitor-Komplex ist katalytisch inaktiv.

Regulation und Kontrolle der Enzymaktivität im Organismus

Enzyme wirken im lebenden Organismus in einem komplexen Geflecht von Stoffwechselwegen zusammen. Um sich schwankenden inneren und äußeren Bedingungen optimal anpassen zu können, ist eine feine Regulation und Kontrolle des Stoffwechsels und der zugrundeliegenden Enzyme nötig. Unter *Regulation* versteht man Vorgänge, die der Aufrechterhaltung stabiler innerer Bedingungen bei wechselnden Umweltbedingungen (Homöostase) dienen. Als *Kontrolle* bezeichnet man Veränderungen, die auf Grund von externen Signalen (z. B. Hormonen) stattfinden. Es gibt schnelle/kurzfristige, mittelfristige sowie langsame/langfristige Regulations- und Kontrollvorgänge im Stoffwechsel:

Kurzfristige Anpassung

Schnelle Veränderungen der Enzymaktivität erfolgen als direkte Antwort der Enzyme auf veränderte Konzentrationen von Stoffwechselprodukten, wie Substrate, Produkte oder *Effektoren* (Aktivatoren und Inhibitoren). Enzymreaktionen, die nahe am Gleichgewicht liegen, reagieren empfindlich auf Veränderungen der Substrat- und Produktkonzentrationen. Anhäufung von Substrat beschleunigt die Hinreaktion, Anhäufung von Produkt hemmt die Hinreaktion und fördert die Rückreaktion *(kompetitive Produkthemmung)*. Allgemein wird aber den irreversiblen Enzymreaktionen eine größere Rolle bei der Stoffwechselregulation und Kontrolle zugeschrieben.

Von großer Bedeutung ist die *allosterische Regulation*. Substrat- oder Effektormoleküle, die im Stoffwechsel anfallen, binden an allosterische Zentren des Enzyms und verändern seine katalytische Aktivität. Allosterische Enzyme bestehen aus mehreren Untereinheiten (entweder aus gleichen oder auch aus verschiedenen Proteinmolekülen). Die Bindung von Substrat- oder Hemmstoff-Molekülen an eine Untereinheit führt zu *Konformationsänderungen* im gesamten Enzym, welche die Affinität der übrigen Bindungsstellen für das Substrat verändern. Eine *Endprodukt-Hemmung (Feedback-Hemmung)* entsteht, wenn das Produkt einer Reaktionskette auf das Enzym am Anfang dieser Kette allosterisch hemmend wirkt. Dadurch entsteht automatisch ein Regelkreis.

Mittelfristige Anpassung

Eine häufige Form der Stoffwechselkontrolle ist die kovalente Modifikation von Enzymen, besonders die Phosphorylierung. Wie durch einen molekularen Schalter kann das Enzym beispielsweise nach einem hormonellen Signal durch phosphat-übertragende Enzyme (Kinasen) ein- oder ausgeschaltet werden. Die Einführung einer negativ geladenen Phosphatgruppe zieht strukturelle Änderungen im Enzym nach sich und kann prinzipiell aktive als auch inaktive Konformationen begünstigen. Die Abspaltung der Phosphatgruppe durch Phosphatasen kehrt diesen

Vorgang um, so dass eine flexible Anpassung des Stoffwechsels an wechselnde physiologische Anforderungen möglich ist.

Langfristige Anpassung

Als langfristige Reaktion auf geänderte Anforderungen an den Stoffwechsel werden Enzyme gezielt abgebaut oder neugebildet. Die *Neubildung* von Enzymen wird über die Expression ihrer Gene gesteuert. Eine solche Art der *genetischen Regulation* bei Bakterien beschreibt das Operon-Modell von Jacob und Monod. Der kontrollierte *Abbau* von Enzymen in eukaryontischen Zellen kann durch Ubiquitinierung realisiert werden. Das Anheften von Polyubiquitin-Ketten an Enzyme, katalysiert durch spezifische Ubiquitin-Ligasen, markiert diese für den Abbau im Proteasom, einem „Müllschlucker“ der Zelle.

Biologische Bedeutung

Enzyme haben eine nicht zu unterschätzende biologische Bedeutung, sie spielen *die* zentrale Rolle im Stoffwechsel aller lebenden Organismen. Nahezu jede biochemische Reaktion wird von Enzymen bewerkstelligt und kontrolliert. Bekannte Beispiele sind Glycolyse und Citrat-Zyklus, Atmungskette und Photosynthese, Transkription und Translation sowie die DNA-Replikation. Enzyme wirken nicht nur als Katalysatoren, sie sind auch wichtige Regulations- und Kontrollpunkte im Stoffwechselgeschehen.

Die Bedeutung der Enzyme beschränkt sich jedoch nicht auf den Stoffwechsel, auch bei der Reizaufnahme und -weitergabe sind sie wichtig. An der Signaltransduktion, also der Vermittlung einer Information innerhalb einer Zelle, sind häufig Rezeptoren mit enzymatischer Funktion beteiligt. Auch Kinasen, wie die Tyrosinkinasen und Phosphatasen spielen bei der Weitergabe von Signalen eine entscheidende Rolle. Die Aktivierung und Deaktivierung der Träger der Information, also der Hormone geschehen durch Enzyme.

Weiterhin sind Enzyme an der Verteidigung des eigenen Organismus beteiligt, so sind zum Beispiel diverse Enzyme wie die Serinproteasen des Komplementsystems Teil des unspezifischen Immunsystems des Menschen.

Fehler in Enzymen können fatale Folgen haben. Durch solche Enzymdefekte ist die Aktivität eines Enzyms vermindert oder gar nicht mehr vorhanden. Manche Enzymdefekte werden genetisch vererbt, d. h. das Gen, das die Aminosäuresequenz des entsprechenden Enzyms kodiert, enthält eine oder mehrere Mutationen oder fehlt ganz. Beispiele für vererbbare Enzymdefekte sind die Phenylketonurie und Galaktosämie.

Geschichte und Verwendung

Enzyme sind wertvolle Werkzeuge der Biotechnologie. Ihre Einsatzmöglichkeiten reichen von der Käseherstellung (Labferment) bis hin zur Gentechnik. Für bestimmte Anwendungen entwickeln Wissenschaftler heute gezielt leistungsfähigere Enzyme durch Protein-Engineering. Zudem konstruierte man eine neuartige Form katalytisch aktiver Proteine, die katalytischen Antikörper, die aufgrund ihrer Ähnlichkeit zu den Enzymen Abzyme genannt wurden. Auch Ribonukleinsäuren (RNA) können katalytisch aktiv sein; diese werden dann als Ribozyme bezeichnet.

Enzyme werden unter anderem in der Industrie benötigt. Waschmitteln fügt man Lipasen (Fett spaltende Enzyme), Proteasen (Eiweiß spaltende Enzyme) und Amylasen (Stärke spaltende Enzyme) zur Erhöhung der Reinigungsleistung hinzu, weil diese Enzyme die entsprechenden Flecken zersetzen. Enzyme werden auch zur Herstellung einiger Medikamente und Insektenschutzmittel verwendet. Bei der Käseherstellung wirkt das Labferment mit, ein Enzym, das aus Kälbermägen gewonnen wurde. Viele Enzyme können heute mit Hilfe von gentechnisch veränderten Mikroorganismen hergestellt werden.

In der Medizin spielen Enzyme eine wichtige Rolle. Viele Arzneimittel hemmen Enzyme oder verstärken ihre Wirkung, um eine Krankheit zu heilen. Prominentester Vertreter solcher Arzneistoffe ist wohl die Acetylsalicylsäure, die das Enzym Cyclooxygenase hemmt und somit unter anderem schmerzlindernd wirkt.

Siehe auch: Protoplastenisolation

Bedeutung von Enzymen in der medizinischen Diagnostik

Die Diagnostik verwendet Enzyme, um Krankheiten zu entdecken. In den Teststreifen für Diabetiker befindet sich zum Beispiel ein Enzymsystem, das unter Einwirkung von Blutzucker einen Stoff produziert, dessen Gehalt gemessen werden kann. So wird indirekt der Blutzuckerspiegel gemessen. Man nennt diese Vorgehensweise eine „enzymatische Messung“. Sie wird auch in medizinischen Laboratorien angewandt, z. B. zur Bestimmung von Glucose (Blutzucker) oder Alkohol. Enzymatische Messungen sind relativ einfach und preisgünstig anzuwenden. Man macht sich dabei die Substratspezifität von Enzymen zu Nutze. Es wird also der zu analysierenden Körperflüssigkeit ein Enzym zugesetzt, das das zu messende Substrat spezifisch umsetzen kann. An der entstandenen Menge von Reaktionsprodukten kann man dann ablesen, wie viel des Substrats in der Körperflüssigkeit vorhanden war.

Im menschlichen Blut sind auch eine Reihe von Enzymen anhand ihrer Aktivität direkt messbar. Die im Blut zirkulierenden Enzyme entstammen teilweise spezifischen Organen. Es können daher anhand der Erniedrigung oder Erhöhung von Enzymaktivitäten im Blut Rückschlüsse auf Schädigungen bestimmter Organe gezogen werden. So kann z. B. eine Bauchspeicheldrüsenentzündung durch die stark erhöhte Aktivität der Lipase und der Pankreas-Amylase im Blut erkannt werden.

Historie der Enzymforschung

Die wissenschaftliche Erforschung der Enzyme begann 1833, als der französische Chemiker Anselme Payen Diastase das erste Enzym überhaupt entdeckte. Einen weiteren Meilenstein stellen die Untersuchungen zur Enzymspezifität von Emil Fischer dar. Er postulierte, dass Enzyme und ihr Substrat sich wie ein Schloss und der passende Schlüssel verhalten. 1897 entdeckte Eduard Buchner anhand der alkoholischen Gärung, dass Enzyme auch ohne die lebende Zelle katalytisch wirken können. Anfang des 20. Jahrhunderts geschah sehr viel in der Enzymforschung. Der bedeutendste Wissenschaftler dieser Zeit war der deutsche Chemiker Otto Röhm. Er isolierte erstmals Enzyme und entwickelte Verfahren zur enzymatischen Ledergerbung, Fruchtsaftreinigung sowie eine Reihe diagnostischer Anwendungen. Leonor Michaelis und Maud Menten leisteten Pionierarbeit in der Erforschung der Enzymkinetik.

Literatur

- Jeremy M. Berg, John L. Tymoczko, Lubert Stryer: *Biochemie*. 5. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg – Berlin 2003, ISBN 3-8274-1303-6.
- David Fell: *Understanding the Control of Metabolism*. Portland Press Ltd, London 1997, 2003, ISBN 1-85578-047-X.
- Alfred Schellenberger (Hrsg.): *Enzymkatalyse. Einführung in die Chemie, Biochemie und Technologie der Enzyme*. Gustav Fischer Verlag, Jena 1989. ISBN 3-540-18942-4
- Donald Voet, Judith G. Voet: *Biochemistry*. 3. Auflage. John Wiley & Sons Inc., London 2004, ISBN 0-471-39223-5.
- Brigitte Osterath, Nagaraj Rao, Stephan Lütz, Andreas Liese: *Technische Anwendung von Enzymen.* Chemie in unserer Zeit 41(4), S. 324 - 333 (2007), ISSN 0009-2851 [6]

Weblinks

- IUBMB – Verzeichnis und Nomenklatur der Enzyme [3]
- BRENDA [4] umfangreiche Enzymdatenbank
- PDBsum [5] bekannte 3D Strukturen von Enzymen in der „Protein Data Bank (PDB)“
- Aufbau und Wirkungsweise von Enzymen [6]
- Enzymdatenbank mit Suchmaschine [7]
- Weizmann Institute's Genecards Database [8], große Datenbank von Proteineigenschaften und der zugehörigen Gene.
- Cytochrome P450 Enzyme [9] über 4000 P450 Enzyme.
- KEGG Metabolic Pathway Database (graphische Darstellungen der biochemiischen Reaktionen mit den dazugehörigen, systematisch identifizierten Enzymen) [10]

Referenzen

[1] Kluge Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache, 24. Auflage
[2] *Dictionary* bei www.in.gr http://www.in.gr/dictionary/lookup.asp?Word=enzyme&x=0&y=0

Erneuerbare Energie



Beispiele der Gewinnung erneuerbarer Energie: Biogas, Photovoltaik und Windenergie

Als **erneuerbare Energien**, auch *regenerative Energien*, bezeichnet man Energie aus Quellen, die sich entweder kurzfristig erneuern oder solche, bei denen die Nutzung nicht zur Erschöpfung der Quelle beiträgt. Dieses sind die solare Strahlung (Sonnenenergie), Wärme im Erdinnern, z. B. aus radioaktiven Zerfallsprozessen (Geothermie), und Effekte der Anziehungkräfte vor allem von Mond und Sonne (Gezeiten). Andere erneuerbare Energien leiten sich daraus ab, wie z. B. Wind (Windenergie) und Biomasse (Bioenergie) aus der Sonnenenergie.

Die Bezeichnung erneuerbare Energien ist der Gegenbegriff zu den begrenzt verfügbaren fossilen Energieträgern wie Erdöl, Kohle und Erdgas, auf denen die heutige Energieversorgung (Elektrischer Strom, Wärme, Kraftstoffe) im Wesentlichen basiert. Kernenergie durch Kernspaltung und die noch in der Entwicklung befindliche Kernfusion werden in der Regel als nicht erneuerbar bezeichnet, aber nicht den fossilen Energien zugeordnet.

Derzeit findet ein starker Ausbau der Nutzung der erneuerbaren Energien statt. Gründe sind die begrenzten Ressourcen an fossilen Energieträgern, Bestrebungen zum Umwelt- und Klimaschutz und zu geringerer Abhängigkeit von Energieexporteuren bzw. insgesamt zu einer nachhaltigeren Energiebereitstellung. Eine gewisse Bedeutung hat traditionelle die Nutzung der Wasserkraft und von Biomasse. Seit den 1990ern nimmt insbesondere die Nutzung von Wind, Sonnenenergie und Biomasse stark zu.

Die aus diesen erneuerbaren Energiequellen abgeleiteten Energieformen (Strom, Wärme, Kraftstoff) werden oft ebenfalls als erneuerbare Energien bezeichnet.

In Deutschland wird erneuerbare Energien seit längerem mit unterschiedlichen Maßnahmen gefördert. Das im Jahr 2000 in der ersten Form erlassene Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)) war maßgeblich für den Strombereich. Seit dem Jahr 2009 wird mit dem Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWG)) auch die Wärmebereitstellung gefördert. Seit dem Jahr 2007 ist das Biokraftstoffquotengesetz gültig, das die zuvor bestehenden Steuervergünstigungen zur

Förderung von Biokraftstoffen ablöste.

Mit der EU-Richtlinie zu den erneuerbaren Energien vom 23. April 2009 (2009/28/EG) [1] wird den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union der Erlass von Gesetzen vorgeschrieben, die die Verwendung der erneuerbaren Energien in den Bereichen Strom, Wärme und Kälte sowie Verkehr fördern, damit bis 2020 ein Gesamtanteil dieser Energien am Energiegesamtverbrauch innerhalb der EU von 20 % erreicht wird.

In vielen anderen Staaten wird die Nutzung der erneuerbaren Energien forciert.

Quellen erneuerbarer Energien

Als erneuerbare Energien werden Energiequellen bzw. Energieträger bezeichnet, die kurzfristig und nach menschlichen Maßstäben unerschöpfbar zur Verfügung stehen.

Die derzeitige Energieversorgung basiert vor allem auf den fossilen Energieträgern Erdöl, Kohle und Erdgas. Deren Vorkommen haben eine begrenzte Reichweite und erschöpfen sich (vgl. Peak Oil). Die fossilen Energien erneuern sich zwar auch, jedoch finden diese Prozesse so langsam statt, dass sie den menschlichen Verbrauch nicht annähernd decken können.

Energie kann nicht erzeugt, sondern nur in eine andere Erscheinungsform gewandelt werden. Der Begriff *Erneuerbarkeit* bezieht sich somit auf die jeweilige Erscheinungsform, die z. B. dem System Erde entnommen werden kann, aber von einer anderen Energiequelle wieder ersetzt wird.

Die Basis bilden drei Energiequellen:

Sonnenenergie

(siehe Artikel Sonnenenergie)

Durch Kernfusion werden in der Sonne große Mengen Energie freigesetzt, die als Solarstrahlung (elektromagnetische Strahlung) die Erde erreichen. Ein Teil der Strahlung wird von der Erdatmosphäre absorbiert und reflektiert, so dass nur ein Teil die Erdoberfläche erreicht und z. B. mit Photovoltaikanlagen, solarthermischen Kraftwerken und thermischen Solaranlagen genutzt werden kann. Die von der Atmosphäre und von der Erdoberfläche absorbierte Sonnenenergie liefert zudem die Energie zur Entstehung von Wind, Meeresströmungen und der Verdampfung von Wasser. Pflanzen absorbieren die Strahlung im Zuge der Photosynthese ebenfalls und fixieren sie in Biomasse. Indirekt ermöglicht die Sonnenenergie also den Betrieb von Windkraftanlagen, Kraftwerken, die die Meeresenergie nutzen, Wasserkraftwerken und die verschiedenen Möglichkeiten zur energetischen Nutzung von Biomasse (Biogener Brennstoff, Biokraftstoff, etc.). Die innerhalb von Millionen Jahren aus Biomasse entstandenen fossilen Energieträger basieren somit letztlich auch auf Sonnenenergie.

Geothermie

Die im Erdinneren gespeicherte Wärme basiert vor allem auf radioaktiven Zerfallsprozessen (primordialen Radio-Nuklide). Sie kann für Heizzwecke (vor allem oberflächennahe Geothermie) oder auch zur Stromerzeugung (meist Tiefengeothermie) genutzt werden.

Wechselwirkung der Erde

Durch die Anziehungkraft (Schwerkraft) von Sonne, Mond und anderen Himmelkörpern werden auf der Erde die Gezeiten verursacht. Zudem entsteht durch diese Gezeitenkraft im Erdkern Reibung, die dem Erdinneren weitere Wärme zuführt.

Nutzungsarten der Erneuerbaren Energien

Die Erneuerbaren Energiequellen können auf vielfältige Weise genutzt werden, um Wärme, Strom, Kraftstoffe und Kälte bereitzustellen. Die Nutzung bzw. die Erzeugung einiger der aufgezählen erneuerbaren Energien befinden sich noch in der Entwicklung.

- Bioenergie (aus Biomasse in unterschiedlichster Form, siehe Artikel biogener Brennstoff und Biokraftstoff)
  - Holz
  - Pflanzenöl
  - Biodiesel
  - Bioethanol und Cellulose-Ethanol
  - Biogas
  - BtL-Kraftstoffe
  - Biowasserstoff
- Wasserkraft
  - Staudämme und Staumauern
  - Gezeitenkraft
  - Laufwasserkraftwerke
  - Wellenenergie des Meeres
  - Strömungsenergie des Meeres
  - Meereswärme
  - Osmosekraftwerk (Unterschiedlicher Salzgehalt von Süß- und Salzwasser)
- Windenergie
  - Windenergieanlage)
  - Aufwind- oder Thermikkraftwerk
- Solarenergie
  - Photovoltaik (Photovoltaikanlage)
  - Solarthermie (Sonnenkollektor, Sonnenwärmekraftwerk)
  - Solarchemie
  - Thermik (Thermikkraftwerk)
- Geothermie
  - Tiefe Geothermie
  - Oberflächennahe Geothermie
- Verdunstungskälte
  - adiabate Kühlung



Windpark bei Lübz, Mecklenburg-Vorpommern



Photovoltaikanlage in der Nähe von Freiberg (Sachsen)



Ein Wasserkraftwerk in New Mexico, USA

Die Kernspaltung in Kraftwerken wird nicht zu den erneuerbaren Energien gezählt, da sie auf den nur begrenzt verfügbaren Kernbrennstoffen (Uran) basiert. Ähnliches gilt für eine etwaige zukünftige Nutzung von Kernfusionsreaktoren, die in der sich derzeit entwickelnden Form Lithium verbrauchen. Auch eine Kernfusion auf Basis der in großen Mengen vorhandenen Protonen, die technisch noch

ferner liegt, wird von den meisten Fachleuten nicht zu den erneuerbaren Energien gezählt.

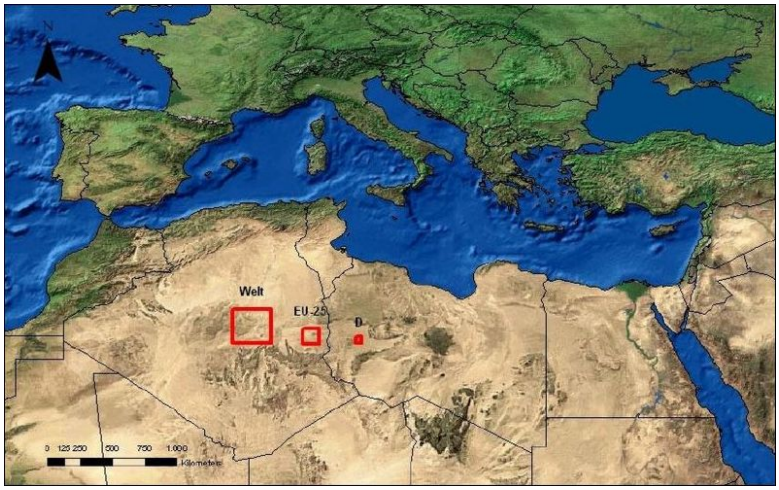


Holz ist wohl die am längsten genutzte erneuerbare Energie.

Potentiale

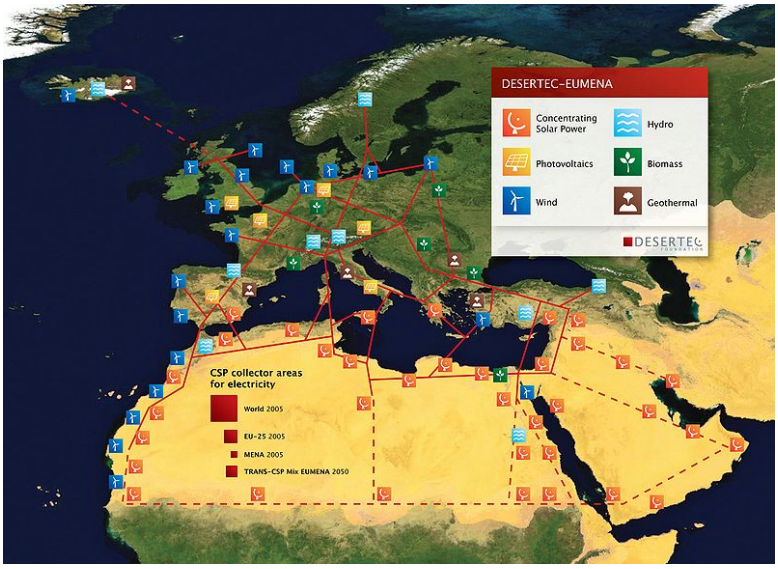
Globale Potentiale

Die auf die Erde eingestrahlte Sonnenenergie entspricht etwa dem Zehntausendfachen des aktuellen menschlichen Energiebedarfs. Erdwärme und Gezeitenkraft liefern deutlich geringere, aber immer Vergleich zum menschlichen Bedarf hohe Beiträge. Rein physikalisch betrachtet, steht damit mehr Energie zur Verfügung (theoretisches Potential), als in absehbarer Zukunft gebraucht werden wird.



Theoretischer Platzbedarf für Solarkollektoren, um in Solarthermischen Kraftwerken den Strombedarf der Welt, Europas (EU-25) oder Deutschlands zu erzeugen[2]

Die Internationale Energieagentur (IEA) geht davon aus, dass weltweit bis 2030 mehr als ein Viertel des Energieverbrauchs durch Erneuerbare Energien gedeckt werden kann. Studien von Greenpeace und des Wissenschaftlichen Beirats für Globale Umweltveränderungen (WBGU) der Bundesregierung prognostizieren, dass Erneuerbare Energien bis 2050 die Hälfte der weltweiten Energieversorgung sicher stellen können.[3]



Skizze einer möglichen Infrastruktur für eine nachhaltige Stromversorgung in **EU**ropa, dem Nahen Osten (the **M**iddle-**E**ast) und **N**ord-**A**frika (kurz: EU-MENA)

In einigen Beispielprojekten ist es gelungen, den an einem Ort benötigten Energieverbrauch dezentral mit Erneuerbaren Energien zu decken[4] [5] (Nullenergiehaus, Bioenergiedorf). Daneben gibt es immer wieder Anläufe für zentrale Großprojekte auf Basis erneuerbarer Energien. Ein Beispiel für ein solches Großprojekt ist das Mitte 2009 in Planung gegangene Desertec-Project. Studien des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) ergaben, dass mit weniger als 0,3 Prozent der verfügbaren Wüstengebiete in Nord-Afrika und im Nahen Osten durch Solarthermische Kraftwerke genügend Strom[6] und Trinkwasser für den steigenden Bedarf dieser Länder sowie für Europa erzeugt werden kann. Die Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation (TREC), ein internationales Netzwerk von Wissenschaftlern, Politikern und Experten auf den Gebieten der erneuerbaren Energien und deren Erschließung, setzt sich für eine solche kooperative Nutzung der Solarenergie ein. Eine Nutzung der Passatwinde im Süden Marokkos soll die solare Energieerzeugung ergänzen. Fünf realistische Szenarien für eine solche zukünftige Energieversorgung liefert Prof. David J.C. MacKay.[7]

Potentiale in Deutschland

Laut der 2008 vorgelegten Leitstudie des Bundesumweltministeriums (BMU) können die Erneuerbaren Energien in Deutschland bis 2020 einen Anteil von 30 Prozent an der Stromversorgung erreichen.[8] Damit kann der bis dahin geplante Wegfall an Kernenergiekapazitäten (Atomausstieg) vollständig ersetzt werden. Laut Branchenprognose der Erneuerbaren-Energien-Industrie können die Erneuerbaren Energien in Deutschland bereits im Jahr 2020 mit 48 Prozent knapp die Hälfte des gesamten deutschen Strombedarfs decken (heute (2009): ca. 15 Prozent).[9]

Der im Januar 2010 von der Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) vorgelegte Potenzialatlas zeigt, dass die technischen Potenziale in Deutschland zur Nutzung regenerativer Energien noch größtenteils unerschlossen sind. Der Potenzialatlas berechnet den Flächenverbrauch von heute bis zum Jahre 2020, der für Erneuerbare Energien bei deren weiterem Ausbau benötigt wird. So kann beispielsweise die Windenergie an Land bis 2020 ein Fünftel des deutschen Strombedarfs decken. Dafür benötigt sie aber nur etwa 0,75 Prozent der Landesfläche. Die Bioenergie stellt demnach im Jahr 2020 einen Anteil von 15 Prozent an der gesamten Strom-, Wärme- und Kraftstoffversorgung, wofür eine Fläche von 3,7 Mio. Hektar (heute: 1,6 Mio. ha) benötigt wird. Eine Konkurrenz mit der Nahrungsmittelerzeugung (Flächenkonkurrenz) sei jedoch aufgrund der EU-weiten Getreideüberschüsse nicht zu befürchten. Auch das Potenzial der Solarenergie ist noch weitgehend unerschlossen, wie der neue Atlas belegt. Nur 2,5 Prozent der geeigneten Gebäudeflächen werden bisher für Strom oder Wärme aus der Sonne genutzt. Solarparks auf Freiflächen belegen heute mit rund 1.700 Hektar nur etwa 0,005 Prozent der Landesfläche.[10]

Bewertung der erneuerbaren Energien

Die Nutzung erneuerbarer Energien hat verschiedene Vorteile gegenüber der Nutzung von fossiler und von Kernenergie, aber auch Nachteile. So unterschiedlich wie die verschiedenen Nutzungsarten der erneuerbaren Energien sind auch deren jeweilige Vor- und Nachteile.

Ressourcenschonung

Die derzeitige Energieversorung basiert vor allem auf fossilen Energieträgern und auf Kernbrennstoffen wie z. B. Uran. Die Reichweite dieser Ressourcen ist jedoch begrenzt. So wird z. B. das globale Ölfördermaximum (*Peak Oil*) beispielsweise von der Internationalen Energieagentur (IEA) etwa auf das Jahr 2020 datiert. Nach dem Maximum wird mit sinkenden Fördermengen bei gleichzeitig steigendem Weltenergiebedarf gerechnet. Die statische Reichweite (Reichweite bei derzeitigem Verbrauch und Preis) von Erdgas und Erdöl ist deutlich länger, aber ebenfalls so begrenzt, dass mittelfristig Alternativen notwendig sind. Durch die Nutzung erneuerbarer Energiequellen werden diese Ressourcen geschont. Ein frühzeitiger Ausbau der erneuerbaren Energien verlängert die Übergangsphase und könnte so eine wirtschaftliche Abwärtsspirale und Verteilungskonflikte vermeiden.[11] Da die chemische Industrie stark vom Rohstoff Erdöl abhängt, sichert die Ressourcenschonung langfristig die Rohstoffzufuhr.

Klimaschutz

(siehe Artikel Klimaschutz)

Bei der energetischen Nutzung fossiler Energieträger werden große Mengen Kohlenstoffdioxid (CO_2) ausgestoßen. Bei der Nutzung erneuerbarer Energien dagegen werden deutlich geringere Mengen an Treibhausgasen emittiert. Hauptsächlich durch die Herstellung der Anlagen (Windkraftanlage, Photovoltaikanlage, usw.), die beim heutigen Energiemix überwiegend noch auf Energie aus fossilen Energieträgern zurückgreift, werden Klimagase freigesetzt. Diese Emissionen werden jedoch in der Lebenszeit mehrfach amortisiert, so dass netto eine deutliche Einsparung an Klimagasen zu bilanzieren ist. Ein spezieller Fall ist die Bioenergien, bei deren Nutzung z. B. in Biomasseheizkraftwerken, Biogasanlagen oder als Biokraftstoff in Verbrennungsmotoren CO_2 freigesetzt wird. Dieses wurde jedoch zuvor beim Wachstum der verwendeten Pflanzen im Zuge der Photosynthese und CO2-Fixierung gebunden und wäre bei der natürlichen Zersetzung der Biomasse ohnehin freigesetzt worden. Netto beschränkt sich die tatsächliche CO_2-Emission also auf den Aufwand an fossiler Energie für land- und forstwirtschaftliche Maschinen (Dieselkraftstoff), Mineraldüngerherstellung und anderes. Zu beachten sind auch Emissionen der starken Klimagase Lachgas und Methan, die bei bestimmten Anbau- und Nutzungsarten von Biomasse freigesetzt werden können.[12]

Ob die erhofften ökologischen Vorteile im Einzelfall realistisch sind, kann jedoch nur durch eine Ökobilanz festgestellt werden. So müssen bei der Biomasse-Nutzung zum Beispiel Landverbrauch, chemischer Pflanzenschutz und Reduzierung der Artenvielfalt der erwünschten CO_2-Reduzierung gegenübergestellt werden. Die Abschätzung wirtschaftlicher Nebeneffekte ist ebenfalls mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Dezentralisierte Energieversorgung

(siehe Artikel Dezentrale Stromerzeugung)

Der Wandel von der konventionellen Ernergiebereitstellung zu erneuerbaren Energien verändert die Struktur der Energiewirtschaft massiv. Statt der Stromerzeugung in Großkraftwerken mit z. T. mehr als 1000 Megawatt Leistung (Kern-, Braunkohle- und Steinkohlekraftwerke) nimmt die Erzeugung in Kleinanlagen mit wenigen kW (z. B. Photovoltaik) bis wenige MW (kleinere Windparks) zu. Unter anderem mit dem Stromeinspeisegesetz zu Anfang der 1990er und mit dem daraus hervorgegangenen EEG erhielten Kleinerzeuger die Möglichkeit, in die Stromnetze der großen Energieversorgungsunternehmen (EVU) einzuspeisen und erhöhte Vergütungen zu erhalten. Häufig wird dies

als wichtiger Faktor gesehen, um die einstigen Monopole bzw. die derzeitige Dominanz der großen EVU zu verringern und den Wettbewerb anzuregen.

Nachdem die EVUs lange Zeit nicht oder nur wenig in die erneuerbaren Energien investierten, findet seit Mitte der 2000er ein Wandel statt. Insbesondere größere Projekte wie Offshore-Windparks werden zunehmend von den EVUs finanziert.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der dezentralen Energieversorgung ist die Verkürzung der Transportwege bzw. der Vermeidung von Transporten (von Brennstoffen wie Heizöl, Erdgas, Kohle). Auch verschiedene Infrastrukturen wie Öl- und Gaspipelines sind nicht bzw. in geringerem Umfang notwendig. Dies gilt insbesondere bei der Nutzung von Biomasse, Geothermie und Solarthermie, die jeweils vor Ort bzw. lokal bereitgestellt werden können. Zudem erleichtern Kleinkraftwerk die sogenannte Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), bei der die Erzeugung von Strom mit der Nutzung von Abwärme, z. B. für Heizzwecke, kombiniert wird und so der Gesamtwirkungsgrad erhöht wird. Bei zentralen Großkraftwerken dagegen wird die Abwärme häufig nicht genutzt. Die dezentrale Energieversorgung stärkt zudem die regionale und nationale Wirtschaft durch Schaffung von Arbeitsplätzen in Installation, Betrieb und Wartung der Anlagen.

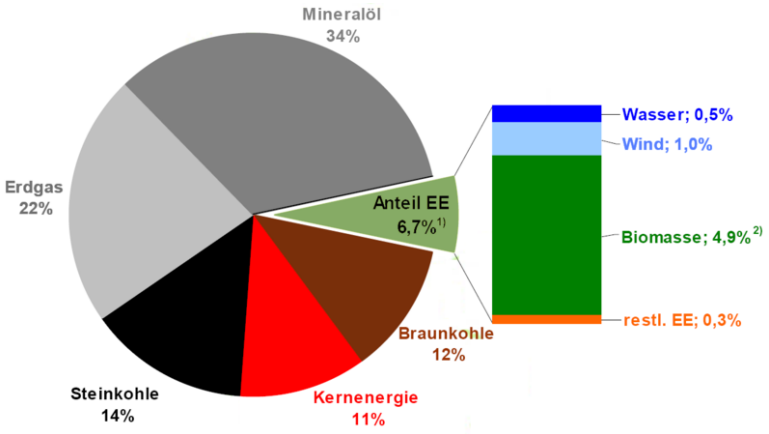
Nicht jede Region hat jedoch die Potentiale für eine Selbstversorgung mit Energie. Zum anderen überwiegt in anderen Regionen die Produktion, z. B. von Strom mit Windkraftanlagen in Norddeutschland, zeitweise oder häufig den lokalen Bedarf, so dass die Stromnetze zu den Verbrauchern ausgebaut werden müssen.

Kritiker der dezentralen elektrischen Energieversorgung betonen die Versorgungssicherheit durch weitgespannte Netzwerke. So können sich Überangebot und Mangel in verschiedenen Regionen ausgleichen. Zum Beispiel würde im Sommer ein Überschuss von Solarstrom aus den Mittelmeerländern geliefert, während im Winter Windstrom aus Nord- und Westeuropa genutzt werden könnte. Daneben weisen Kritiker auch auf Herausforderungen bei der Regelung vieler Kleinkraftwerke in einem großen Netzwerkverbund ohne die Stütze von Großkraftwerken hin. Richtig ist jedoch auch, dass ein System aus großen Verbundnetzen mit wenigen Großkraftwerken großflächige, beispielsweise europaweite Stromausfälle erst ermöglichen. Großflächige Stromausfälle sind bei einer dezentralen Energieversorgung unwahrscheinlicher, allerdings haben 95 % aller Stromausfälle ihre Ursachen in den regionalen Mittel- oder Niederspannungsnetzen. Der Umbau der Energieversorgung auf Nachhaltigkeit bedeutet jedoch nicht notwendigerweise ausschließlich dezentrale Versorgung. Einige Konzepte, wie beispielsweise Offshore-Windparks und Solarfarmkraftwerke, oder auch die Studien von TREC, setzen auch bei erneuerbaren Energien auf zentrale Gewinnung und großräumige Verteilung.

Ökologische Bewertung

Die unterschiedlichen Technologien zur Nutzung jeder Form von Energie, also auch erneuerbarer Energien, haben grundsätzlich immer Auswirkungen auf die Biosphäre, also auch auf Menschen und das ihr Leben ermöglichende Ökosystem. Dabei müssen auch Aufbau und Abbau der Anlagen (Produktlebenszyklus), Herstellung, Betrieb, Entsorgung etc. betrachtet werden. Diese Auswirkungen müssen verstanden, quantitativ dargestellt und mit den Alternativen verglichen werden. Erst dann werden Nutzen und Schaden in der Energie- und Entropiebilanz[13] , für die Artenvielfalt und soziale Folgen deutlich.

Solarenergie



2007 wurden in Deutschland 6,7 % des Primärenergiehaushaltes durch erneuerbare Energien gedeckt.

Die Herstellung von Photovoltaikanlagen ist relativ energieaufwändig, so dass die Energetische Amortisationszeit in Deutschland für mono- und polykristalline Zellen etwa sechs Jahre und für Dünnschichtmodule rund ein Jahr beträgt. Die Lebenszeit der Solaranlagen beträgt 20 bis 30 Jahre.

Wie bei allen elektronischen Bauteilen werden zum Teil giftige Schwermetalle sowie etwa 12 kg Silizium pro Kilowatt installierter Leistung (mono- und polykristalline Zellen) benötigt. Diese Stoffe verbleiben jedoch in der Fabrik. Das fertige Solarmodul selbst ist nicht giftig oder gefährlich und könnte wie normaler Hausmüll entsorgt werden. Bei solarthermischen Sonnenkollektoren werden Metalle wie Kupfer und Aluminium verwendet.

Lokal führt die Nutzung von Solartechnik zu einer Veränderungen der Energiebilanz, z. B. durch Verschattung und geänderte Reflexion. Global ist dieses jedoch unbedenklich, da das solare Energieangebot ist etwa um den Faktor 10.000 größer als der heutige gesamte Weltenergiebedarf. Selbst bei einer Deckung des Weltenergiebedarfs ausschließlich mit Solarenergie würde dies einen nur kleinen Eingriff bedeuten.

Wasserkraft

(siehe Artikel Wasserkraftwerk)

Die Errichtung von Talsperren und Staumauern stellen einen massiven Eingriff in die Umwelt dar. So mussten im Fall des chinesischen Drei-Schluchten-Damms mehr als eine Million Menschen umgesiedelt werden. Bei vielen Stauseeprojekten kam es zu Veränderungen im Ökosystem, da riesige Flächen geflutet wurden und in die saisonalen Wasserstandschwankungen der Flüsse eingegriffen wurde.

In Regionen mit Wassermangel kommt es zu Nutzungskonflikten. So staut zum Beispiel Tadschikistan den Syrdarja (und Nebenflüsse) im Sommer auf, um im Winter Energie zu gewinnen. Das unterhalb gelegene Kasachstan benötigt das Wasser aber im Sommer für seine Landwirtschaft.

Auch Laufwasserkraftwerke greifen in die Flusslandschaft ein. Allerdings werden die meisten europäischen Flüsse ohnehin für die Binnenschifffahrt aufgestaut. Neuere Entwicklungen wie die Strom-Boje verändern das Erscheinungsbild und den Wasserpegel hingegen nur unwesentlich.

Windenergie

(siehe Artikel Windkraftanlage)

Windparks werden von einigen Landschaftsschützern kritisch gesehen. An bestimmten Standorten besteht unter Umständen eine Gefahr für Vögel oder Fledermäuse (Vogel- und Fledermausschlag). Abhängig von den Prioritäten der Kommentatoren wird die Gefährdung von Vögeln entweder als gering oder als bedeutend eingeschätzt. Einfluss auf die regionalen Windverhältnisse wurde bisher nicht festgestellt. Um lokale Beeinflussungen zwischen den einzelnen Anlagen zu minimieren werden sie mit etwas Abstand untereinander (in Hauptwindrichtung meist drei Rotordurchmesser nebeneinander und acht bis zehn Rotordurchmesser hintereinander) errichtet.

Bioenergie

(siehe Artikel Bioenergie)

Bioenergie umfasst die Nutzung von festen, flüssigen und gasförmigen biogenen Energieträgern, vor allem von Holz, landwirtschaften Produkten (Energiepflanzen) und organischen Abfällen.

Die Verbrennung von Biomasse kann mit Gefahren für die menschliche Gesundheit einhergehen, wenn sie an offenen Feuerstellen oder in Öfen ohne Filtersysteme erfolgt, da Luftschadstoffe wie Stickoxide, Schwefeldioxid und Feinstaub entstehen. In Deutschland ist die Nutzung in Öfen, Kaminen und anderen Anlagen in der Verordnung über Kleinfeuerungsanlagen (1. BImSchV) geregelt und schreibt Grenzwerte und verschiedene Maßnahmen, wie z. B. Filtersystem, vor. *(siehe auch Artikel Holzheizung)*

Die verfügbare Fläche für den Anbau der Biomasse ist begrenzt und kann in ein Spannungsverhältnis zum Nahrungsmittelanbau und zum Natur- und Landschaftsschutz (z. B. Schutz der Biodiversität) geraten. Während beispielsweise die Nutzung landwirtschaftlicher Rest- und Abfallstoffe als unproblematisch gilt, ist der intensive Anbau von Nahrungspflanzen zur Herstellung von Treibstoffen in die Kritik geraten. Insbesondere Palmöl steht in der Kritik, da häufig artenreiche und als Kohlenstoffsenke fungierende tropische Regenwälder für Ölpalmenplantagen gerodet werden. *(siehe Artikel Flächen- bzw. Nutzungskonkurrenz und Nahrungsmittelkonkurrenz)*

Diskutiert wird auch der Nutzen von Biokraftstoffen. Für die Erzeugung z. B. von Rapsöl werden große Mengen an synthetischen Düngemitteln (Mineraldünger) und Pestiziden eingesetzt, die Mensch und Umwelt belasten. Strittig ist bisher auch, wie groß der Beitrag zum Klimaschutz ist, da z. B. durch Stickstoffdüngung verursachte Emissionen des sehr starken Treibhausgases Lachgas (rund 300-fach stärkeres Treibhausgas als CO_2) schwer zu quantifizieren sind. Zahlreiche Gutachten bestätigen die positive Klimabilanz von Biodiesel, betonen aber die Bedeutung der Anbaumethoden.[14] Mit gesetzlichen Vorgaben (EU-Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare-Energien-Richtlinie) und deren Umsetzung in deutsches Recht mit der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung) soll die nachhaltigere Erzeugung von Biokraftstoffen sichergestellt werden.

Von noch in der Entwicklung befindlichen Biokraftstoffen der zweiten Generation, wie Cellulose-Ethanol und BtL-Kraftstoffe erhofft man sich bessere ökologische Bilanzen, da diese Ganzpflanzen und Reststoffe nutzen und so höhere Erträge pro Fläche liefern können als die derzeit dominierenden Ölpflanzen. Jedoch ist der Herstellungprozess deutlich aufwendiger als bei den Biokraftstoffen der ersten Generation.

Geothermie

(siehe Artikel Geothermie)

Auch bei der Geothermie können negative Umwelteinwirkungen eintreten. Bei der Stimulation von untertägigen Wärmeübertragern treten seismische Ereignisse auf (Dezember 2006, Basel, Magnitude 3,4). Die Schäden beliefen sich auf 3 und 5 Mio. Franken (ca. 1,8 bis 3,1 Mio. Euro).[15] Das Projekt wurde eingestellt, gegen den Verantwortlichen wurde Anklage erhoben.

Bedeutung und Perspektive der Erneuerbaren Energien

Verschiedene Faktoren machen einen starken Ausbau der Nutzung Erneuerbarer Energien notwendig. Wichtige Faktoren sind die begrenzte Reichweite der derzeit vorwiegend genutzten fossilen Energieträger und die Klimaschutzbemühungen, sowie andere Umweltschutzbelange, Verringerung der Abhängigkeit von Energieexporteuren (siehe oben). Das Ausmaß des Ausbaus hängt von vielen technischen, politischen, wirtschaftlichen und anderen Faktoren ab.

Aktuelle Bedeutung und Entwicklungen

In vielen Ländern findet derzeit ein starker Ausbau der Erneuerbaren Energien statt. Neben den klassischen Bereichen Wasserkraft und Bioenergie betrifft dies insbesondere die zuvor unbedeutenden Bereiche Windenergie und Sonnenenergie.

Bereits heute haben in einigen Industriestaaten die erneuerbaren Energien einen hohen Anteil an der Energieversorgung, wie z. B. Wasserkraft und Bioenergie in Österreich und der Schweiz. Ein sehr starker Ausbau der Windenergienutzung findet zur Zeit in den USA, China, etc. und in den vergangenen Jahren auch in Dänemark, Deutschland, Spanien etc. statt.

Das deutsche *Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)* soll den Anteil von Wind-, Wasser-, Sonnenenergie und Geothermie an der Stromerzeugung in Deutschland bis 2010 auf mindestens 12,5 Prozent steigern (2020: 20 %). Bereits 2007 wurde ein Anteil von 14 % erreicht. Bis 2020 werden in diesen Branchen über 200 Milliarden Investitionen erwartet. Dies entspricht dem Vielfachen der in der fossilen Energieversorgung vorgesehenen Investitionen. Seit 1991 müssen Energieversorger Strom aus erneuerbaren Energien zu Mindestpreisen abnehmen. Dies führt zu einer Erhöhung der Strompreise beim Endkunden (rund 2 ct/kWh in 2010). *(siehe auch Artikel Erneuerbare-Energien-Gesetz* Nach einer Prognose, die Anfang 2009 veröffentlicht wurde, könnte im Jahre 2020 bereits 47 % des Bedarfs an elektrischem Strom in Deutschland durch erneuerbare Energien gedeckt werden.[16]

2007 wurden international mit 148 Mrd. US-Dollar etwa 60 Prozent mehr Investitionen in Anlagen zur Nutzung von erneuerbaren Energien als im Jahr 2006 getätigt. Mit 50,2 Mrd. fiel dabei der größte Teil auf Windkraftnutzung.[17] Die größte Investitionssteigerung erfuhr die Sonnenenergie; seit 2004 stiegen die Investitionen jährlich um 254 Prozent auf 28,6 Mrd. US-Dollar im Jahr 2007. Europa ist mit 49,5 Mrd. US-Dollar Spitzenreiter bei den Investitionen.[18]

Anfang Juni 2004 fand in Bonn die *Internationale Konferenz für erneuerbare Energien* („Renewables“) statt. Sie führte zu der Forderung, dass die Nutzung erneuerbarer Energien ausgebaut werden müsse. Dies sei im Sinne der Armutsbekämpfung und des Klimaschutzes. Es wurden dazu politische Strategien und konkrete Maßnahmen weiterentwickelt. Die Beratungen mündeten in drei Beschlüssen:

- Ein internationales Aktionsprogramm mit 165 bestätigten Aktionen und Verpflichtungen fasst konkrete Maßnahmen, Ausbauziele und freiwillige Verpflichtungen einzelner Länder und Regionen zusammen.
- In einer *Deklaration von Bonn* haben die Ministerinnen und Minister eine politische Vision für eine globale Energiewende formuliert und sich auf einen Folgeprozess für die Bonner Konferenz verständigt.
- Es wird angenommen, dass Politikempfehlungen praktikable Wege für den Ausbau erneuerbarer Energien zeigen.

Prognosen

Prognosen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien weichen stark voneinander ab. Das Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) geht in seiner 2008 veröffentlichten “Stromvision 2030” von einem Anteil von 33 % erneuerbarer Energien im Jahr 2030 aus.[19] Demgegenüber rechnen die deutschen Übertragungsnetzbetreiber in ihrer 2009 vorgelegten Mittelfristprognose mit über 30 % Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung bereits im Jahr 2015.[20] Der Bundesverband Erneuerbare Energien (BEE) hält in seiner 2009 veröffentlichten Branchenprognose einen Anteil von 47 % erneuerbaren Energien an der deutschen Stromversorgung im Jahre 2020 für erreichbar.[21]

Die in den letzten Jahrzehnten gemachten Prognosen und Szenarien haben die Potentiale der erneuerbaren Energien systematisch unterschätzt, wie im Rückblick festzustellen ist. Eine [[Metaanalyse|Meta-Studie] der Agentur für Erneuerbare Energien [22], die 50 der wichtigsten Szenarien für die deutsche, europäische und weltweite Entwicklung der Energieversorgung der letzten Jahrzehnte auswertet und der realen Entwicklung gegenüberstellt, kommt zu diesem Schluss.[22]

Die Prognosen der Europäischen Union (EU) und der Internationalen Energieagentur (IEA) weichen dabei besonders stark von der tatsächlichen Entwicklung ab. So wurden die in der 1994 vorgelegten „Primes"-Studie der EU[23] für 2020 angenommenen Kapazitäten bereits 2008 deutlich überschritten. Die IEA erwartete in ihrem World Energy Outlook 2002 für 2020 einen Anstieg der Windenergieproduktion auf 100.000 MW.[24] Dieser Wert wurde 2008, wenige Jahre nach der Veröffentlichung der Prognose, von der tatsächlichen installierten Leistung um mehr als 20 % übertroffen.[25]

Die größten Unterschiede zwischen Prognose und Realität des Ausbaus der erneuerbaren Energien in Deutschland ergeben sich für die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) in Auftrag gegebenen Studien der Prognos AG. Zum Beispiel war die reale Nutzung erneuerbarer Energien im Jahr 2000 fast dreimal so hoch wie die Prognose von 1998. Die für das Jahr 2020 erwartete Stromproduktion erreichten die erneuerbaren Energien bereits 2007.[26] Der Prognos-Studie von 1984 zufolge würden Windenergie, Photovoltaik, Biogas, Geothermie, Solarthermie und Biokraftstoffe selbst im Jahr 2000 gar keinen Beitrag zur Energieversorgung leisten.[27] Die in der Prognos-Studie von 2005 für 2030 vorhergesagten Werte für Strom aus Bioenergie und Photovoltaik und für Wärme aus erneuerbaren Energien wurden bereits 2007, nur zwei Jahre nach Veröffentlichung der Studie, erreicht. Die prognostizierte Biokraftstoffmenge für 2020 wurde ebenfalls schon 2007 übertroffen.[28]

Deutschland

Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in Deutschland (%) [29]

Energieträger	2005	2006	2007
Mineralöl	36,0	35,6	33,8
Steinkohle	13,0	13,2	14,1
Braunkohle	11,0	10,8	11,7
Erdgas, Erdölgas	22,0	22,6	22,7
Kernenergie	12,0	12,5	11,1
Wasser- und Windkraft 1)3)	1,0	1,2	1,6
Außenhandelssaldo Strom	–0,2	0,0	0,1
Sonstige 2)	5,0	4,1	5,0

1) Windkraft ab 1995

2) u.a. Brennholz, Brenntorf, Klärschlamm, Müll, sonstige Gase

3) inkl. Fotovoltaik

Im Jahr 2008 lag der aus erneuerbaren Energien gedeckte Endenergieverbrauch (EEV) in Deutschland bei 9,5 % des Gesamtverbrauchs. Der Anteil am Primärenergieverbrauch (PEV) lag mit 8,2 % niedriger, da erneuerbare Energien durch die Berechnungsmethode unterpräsentiert werden. (siehe Berechnung des PEV nach dem Wirkungsgradprinzip)[30] Den größten Anteil (rund 2/3) hatten feste und flüssige biogene Brennstoffe, welche insbesondere in der Wärmeerzeugung und als Kraftstoffe Verwendung finden. Bei der Stromerzeugung hatten biogenen Brennstoffe mit rund 29 % Anteil an den erneuerbaren Energien keine dominierende Bedeutung, wohingegen Windenergie (43,6 %) und Wasserkraft (22,4 %) relativ große Anteile ausmachten.[31]

Anteil der EE am Primär- und Endenergieverbrauch in %[32]

		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Anteil am Primärenergieverbrauch		2,0	2,1	2,2	2,6	2,7	3,0	3,5	3,9	4,7	5,5	6,7	7,1
davon[1*]	Stromerzeugung		0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,6	1,8	2,1	2,5	3,1	3,3
	Wärmebereitstellung		1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,8	1,9	2,0	2,3	2,6	2,8
	Kraftstoffverbrauch		0,03	0,03	0,06	0,1	0,1	0,2	0,3	0,6	1,0	1,2	1,0
Anteil am Endenergieverbrauch		2,9	3,1	3,3	3,8	3,8	4,3	4,9	5,5	6,6	8,1	9,8	9,7
davon[2*]	Stromerzeugung		4,8	5,5	6,3	6,7	7,8	7,9	9,3	10,4	11,7	14,0	14,8
	Wärmebereitstellung		3,5	3,5	3,9	3,8	3,9	4,6	4,9	5,4	6,1	7,5	7,7
	Kraftstoffverbrauch		0,2	0,2	0,4	0,6	0,9	1,4	1,9	3,8	6,3	7,3	6,1

[1*] der Anteil der drei Bereiche addiert sich zum Gesamtanteil am Primärenergieverbrauch

[2*] die angegebenen Werte entsprechen dem Anteil der erneuerbaren Energien innerhalb diese Bereichs

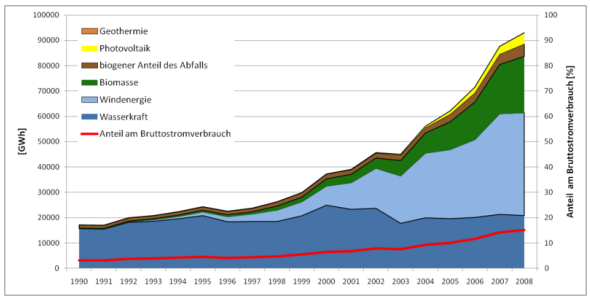
Arbeitsmarkt

Laut dem deutschen Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) hat sich die Zahl der Beschäftigten im Wirtschaftszweig erneuerbare Energien von 2004 (rund 160.500) bis 2008 (278.000) um rund 73 % erhöht (vorläufige Schätzung). In den Jahren bis 2007 gab es ein starkes Wachstum, das sich in 2008 jedoch auf die Solarbranche beschränkte. In 2008 fanden sich 30,6 % dieser Arbeitsplätze in der Windbranche (rund 85.000), 34,4 % in der Bioenergiebranche (rund 96.000) und 26,8 % in der Solarbranche (rund 74.000).

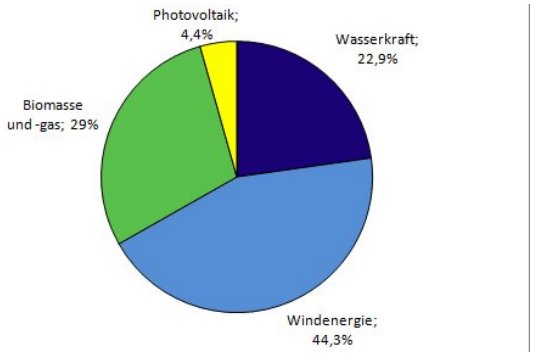
Nach Studien des BMU könnten bis zum Jahre 2020 über 400.000 Menschen in Deutschland im Bereich erneuerbare Energien beschäftigt sein.[33]

Erneuerbare Energien in Deutschland – in Petajoule[34]

	1995	2000	2004	2005	2006	2007	2008
Wasserkraft	77	92	76	77	78	76	75
Windenergie	6	35	92	95	110	143	145
Photovoltaik	0,03	0,3	2	4	7	11	14
Holz, Stroh, u.a. feste Stoffe	124	210	261	293	334	352	405
Biodiesel, u.a. flüssige Brennstoffe	2	13	42	85	163	206	167
Klärschlamm, Müll, Deponiegas	45	39	34	48	57	63	71
Klärgas einschl. Biogas	14	20	24	39	66	88	92
Sonstige erneuerbare (1)	7	9	15	16	19	22	24
Insgesamt	275	417	545	659	834	961	993
Prozentualer Anteil am Endenergieverbrauch	**3,8**	**5,5**	**6,6**	**8,1**	**9,8**	**9,7**	**9,5**
Prozentualer Anteil am Primärenergieverbrauch (nach Wirkungsgradprinzip)	**1,9**	**2,9**	**3,7**	**4,6**	**5,7**	**6,9**[35]	**7,1**[36]
(1) Solar-, Geothermie und Wärmepumpen • Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie Stand: 07.2007, • BMU 31. Juli 2008[38] • BMU April 2009[39]							



Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland



Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien machte im Jahr 2008 in Deutschland etwa 14,8 % der Gesamtstromerzeugung aus

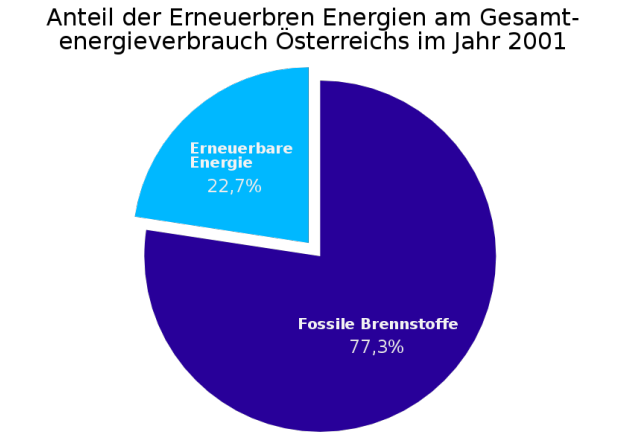
Stromerzeugung in Deutschland in GWh[32]

Jahr	Gesamt-erzeugung[37]	Summe EE		Wasserkraft		Windenergie		Biomasse und -gas		Photovoltaik		Geothermie
2008[38]		91.352	14,8 %	20.900	3,4 %	40.400	6,6 %	26.000	4,2 %	4.000	0,6 %	18
2007	632.000	87.450	14,2 %	21.700	3,4 %	39.500	6,4 %	23.750	3,9 %	3.500	0,6 %	0,4
2006	635.774	72.049	11,1 %	20.000	3,1 %	30.700	4,8 %	19.129	2,8 %	2.220	0,3 %	0,4
2005	620.285	63.569	10,2 %	21.524	3,5 %	27.229	4,4 %	13.534	2,2 %	1.282	0,2 %	0,2
2004	616.194	57.529	9,3 %	21.000	3,4 %	25.509	4,1 %	10.463	1,7 %	557	0,1 %	0,2
2003	607.378	48.674	8,0 %	20.350	3,4 %	18.859	3,1 %	9.132	1,5 %	333	0,1 %	0
2002	586.688	45.760	7,8 %	23.824	4,1 %	15.786	2,7 %	5.962	1,0 %	188	0,0 %	0
2001	586.411	39.073	6,7 %	23.383	4,0 %	10.509	1,8 %	5.065	0,9 %	116	0,0 %	0
2000	576.543	36.679	6,4 %	24.936	4,3 %	7.550	1,3 %	4.129	0,7 %	64	0,0 %	0
1999	556.252	29.890	5,4 %	21.300	3,8 %	5.528	1,0 %	3.020	0,5 %	42	0,0 %	0
1998	557.303	26.321	4,7 %	19.000	3,4 %	4.489	0,8 %	2.800	0,5 %	32	0,0 %	0
1997	552.313	24.505	4,4 %	19.000	3,4 %	3.000	0,5 %	2.479	0,4 %	26	0,0 %	0
1996	552.621	23.219	4,2 %	18.800	3,4 %	2.200	0,4 %	2.203	0,4 %	16	0,0 %	0
1995	536.816	25.431	4,7 %	21.600	4,0 %	1.800	0,3 %	2.020	0,4 %	11	0,0 %	0
1994	528.465	23.018	4,4 %	20.200	3,8 %	940	0,2 %	1.870	0,4 %	8	0,0 %	0

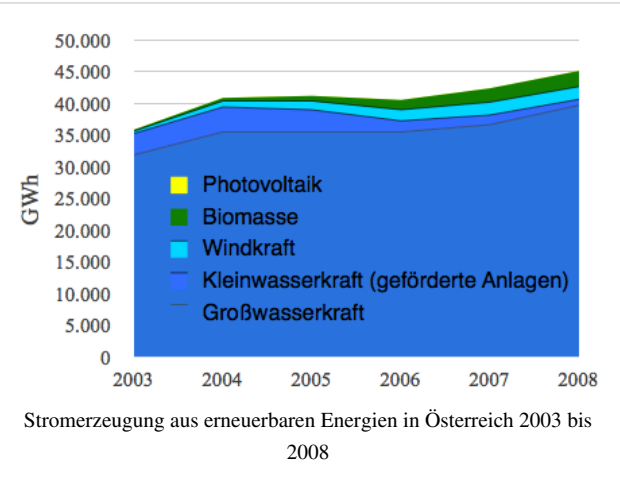
1993	527.115	21.246	4,0 %	19.000	3,6 %	670	0,1 %	1.570	0,3 %	6	0,0 %	0
1992	538.164	20.378	3,8 %	18.600	3,5 %	230	0,0 %	1.545	0,3 %	3	0,0 %	0
1991	540.210	17.492	3,2 %	15.900	2,9 %	140	0,0 %	1.450	0,3 %	2	0,0 %	0
1990	549.900	18.463	3,4 %	17.000	3,1 %	40	0,0 %	1.422	0,3 %	1	0,0 %	0

Österreich

Mit einem Anteil von etwa 22,7 % machten die erneuerbaren Energien fast ein Viertel des österreichischen Bruttoinlandsverbrauchs von Energie im Jahr 2001 aus.[39] Der Anteil der erneuerbaren Energien an der *Stromerzeugung* lag 2006 bei etwa 65 %. Da Österreich in den Wintermonaten in erheblichem Umfang elektrische Energie importiert,[39] [40] lag der Anteil am *Stromverbrauch* jedoch nur bei 45 %.[40]



Zusammensetzung des Österreichischen Bruttoinlandsverbrauchs[39]



Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Österreich 2003 bis 2008

Stromerzeugung in Österreich in GWh[40]

Jahr	Gesamt-erzeugung	Summe EE		Wasserkraft		Windenergie		Biomasse und -gas		Photovoltaik		Geothermie
2008[41]	63.500	39.700	63 %			1.988		2.489		17		2
2007[42]						2.019		2.194		15		2
2006	63.919	42.344	66,2 %	37.278	58,3 %	1.752	2,7 %	3.300	5,2 %	12	0,0 %	3
2005	66.479	42.911	64,5 %	39.019	58,7 %	1.331	2,0 %	2.545	3,8 %	13	0,0 %	2
2004	64.739	42.457	65,6 %	39.462	61,0 %	926	1,4 %	2.053	3,2 %	13	0,0 %	2
2003	60.219	37.467	62,2 %	35.292	58,6 %	366	0,6 %	1.794	3,0 %	11	0,0 %	3
2002	62.671	43.767	69,8 %	42.057	67,1 %	203	0,3 %	1.500	2,4 %	3	0,0 %	3

Schweiz

In der Schweiz werden erneuerbare Energien sehr intensiv genutzt. Im Jahr 2004 betrug deren Anteil am Endenergieverbrauch 16,5 %. Dieser Anteil wurde hauptsächlich durch Wasserkraft (70 %), Biomasse (25 %, inkl. Abfall) und Geothermie (3,5 %) gedeckt.[43] Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Wasserkraft in der Schweiz bereits seit Jahrzehnten aufgrund vorteilhafter natürlicher Grundlagen intensiv genutzt wird. Bei den *neuen* erneuerbaren Energien weist das Land bei weitem nicht den deutschen Ausbaustandard auf. Die Einspeisevergütung für solche Energieträger wurde erst 2008 eingeführt. Die schweizerischen Pumpspeicherkraftwerke importieren zudem in der Nacht aus dem Ausland preiswerten Strom, um Wasser in die Stauseen hochzupumpen. Dieser Strom stammt zu einem großen Teil aus nicht erneuerbaren Energiequellen. In Statistiken wird jedoch angegeben ob die Energie für die Speicherkraftwerke aus erneuerbaren Energien oder nicht erneuerbaren Energien stammt. So werden Pumpspeicherkraftwerke nicht per se als erneuerbare Energien deklariert.

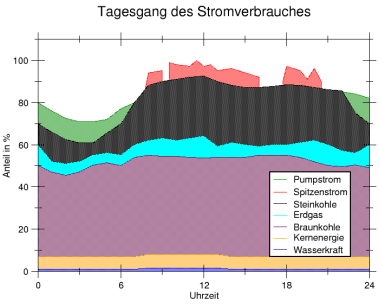
Europäische Union

Der durchschnittliche Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch aller EU-25-Staaten (Malta ausgenommen) lag im Jahr 2005 laut einem Vergleich des BMU bei 6,5 %. Spitzenreiter waren Lettland (36,3 %), Schweden (29,8 %) und Finnland (23,2 %). Österreich nahm mit 20,5 % den vierten Platz ein, während Deutschland mit 4,8 % (2008: 7,1 %)unter dem Durchschnitt lag.[44]

Die Europäische Union verpflichtete sich am 9. März 2007 verbindlich, den Ausstoß von Treibhausgasen bis 2020 um ein Fünftel im Vergleich zu 1990 zu verringern und den Anteil erneuerbarer Energien im Durchschnitt auf 20 Prozent bis 2020 zu erhöhen.[45] Im Januar 2008 beschloss die Europäische Kommission verbindliche Vorgaben für die einzelnen Mitgliedsstaaten.[46] Die Richtlinie 2009/28/EG (Nachfolger der Richtlinie 2001/77/EG) verpflichtet die Mitgliedstaaten zur Festlegung nationaler Richtziele für den Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch, wobei den einzelnen Staaten hinsichtlich der Fördersysteme im Einzelnen ausdrücklich freie Hand gelassen wird.[47]

Zeitliche Verfügbarkeit von Strom aus Erneuerbaren Energien

(siehe Artikel Kraftwerksmanagement und Regelenergie)



Lastgang: Verlauf des Stromverbrauchs (Prinzip)

Der Bedarf an Strom (Lastgang) schwankt stark. Da elektrische Energie nur aufwendig und mit Verlusten speicherbar ist, wird sie durch das Kraftwerksmanagement durch technische und organisatorische Maßnahmen entsprechend dem Bedarf bereitgestellt. In Deutschland wurden die sogenannte Grund- bzw.Mittellast bisher vor allem von Braunkohle- und Kernkraftwerken bzw. vor allem von Steinkohlekraftwerken abgedeckt. Die Spitzenlast lieferten vor allem Gas- und Pumpspeicherkraftwerke. Mit zunehmenden Anteilen an Strom aus Erneuerbaren Energien ist ein verändertes Kraftwerksmanagement notwendig. Zwar können Geothermiekraftwerke Grundlast und Wasserkraftwerke, Biomassekraftwerke und Biogasanlagen Grundlast und/ oder Spitzenlast abdecken. Die Stromerzeugung aus Sonnenenergie und Wind unterliegt dagegen starken Schwankungen. Teilweise korrelieren diese aber mit dem Lastgang. So wird Strom aus Sonnenenergie zu den Hauptbedarfszeiten bereitgestellt. Strom aus Windenergie fällt verstärkt im Winter an und kann die zu der Zeit verringerten Ausbeuten von Solaranlagen ausgleichen.

Verschiedene Maßnahmen können einzeln oder in Kombination eingesetzt werden, um höhere Anteile an Strom aus Erneuerbare Energien an der Versorgung zu ermöglichen. Studien, z. B. der Fraunhofer IWES im Auftrag des BEE (Dezember 2009) belegen, dass so eine zuverlässige Stromversorgung möglich ist.[48]

Bedarfgerechte Stromerzeugung

Bei der Wasserkraft kann die Energieumwandlung mehrere Wochen bis Monate, bei den Biogasanlagen mehrere Stunden ohne größere Verluste aufgeschoben werden. Photovoltaik- und Windenergieanlagen können zumindest abgeschaltet und innerhalb von etwa 30 s (Selbsttest und Anfahren eines Photovoltaik-Wechselrichters) bis wenige Minuten (größere Windenergieanlagen) wieder in Betrieb genommen werden. Dies ist sogar ein Vorteil gegenüber großen Dampfkraftwerken und Kernkraftwerken, die nach einer Abschaltung mehrere Stunden bis zur vollen Leistung benötigen. Allerdings wird durch die Abschaltung von Photovoltaik- oder Windenergieanlagen, anders als bei Biogasanlagen und konventionellen Kraftwerken, kein Brennstoff gespart. Daher ist es meist wirtschaftlicher, den Strom für nachrangige, zeitlich weniger fixierte Zwecke zu „verschwenden“ oder Energiespeicher damit aufzuladen.

Zur Deckung eines akuten *Strommangels* können Wasserkraftwerke und Biogaskraftwerke kurzzeitig über ihrer Durchschnittsleistung, die durch den Nachschub an Wasser und Biomasse begrenzt ist, betrieben werden.

Durch exakte Vorhersagen des Wetters und entsprechende Modellierungen ist es zudem möglich, die Erträge aus Wind- und Sonnenenergie immer exakter vorherzusagen.[49] Das Kraftwerksmanagement kann die kurzfristig und vor allem die längerfristig regelbaren Kraftwerke so besser steuern.

Energiespeicherung

(siehe Artikel Energiespeicher)

Bisher werden für die Speicherung von elektrischer Energie Pumpspeicherkraftwerke oder – für geringe Energiemengen bzw. kurzfristige Bedarfschwankungen – Akkumulatoren oder hochkapazitive Kondensatoren eingesetzt. Aber auch andere Techniken sind in der Entwicklung bzw. in der Diskussion.

Pumpspeicherkraftwerke

(siehe Artikel Pumpspeicherkraftwerk)

Pumpspeicherkraftwerke sind Kraftwerke, die in Zeiten mit Überangeboten an Strom (geringer Preis an der Strombörse) Wasser von einem tiefergelegenen in ein höhergelegenes Becken pumpen und so den Strom als potentielle Energie speichern. Bei einem zu geringen Angebot an Strom wird die potentielle Energie, wie in einem gewöhnlichen Wasserkraftwerk, durch Turbinen wieder in Strom umgewandelt. Die Wirkungsverluste sind mit rund 20 % vergleichsweise gering. In Deutschland haben Pumpspeicherkraftwerke eine große Bedeutung bei der Bereitstellung von Regelleistung zur Steuerung des Stromnetzes.

In Norwegen stehen Wasserkraftwerke mit hohen Kapazitäten zur Verfügung. Durch Ausbau des europäischen Stromnetzes (z. B. durch Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung) könnte es möglich sein, Überproduktion, z. B. durch Windparks zu windstarken Zeiten, zu nutzen, um die Wasserkraftwerke abzuschalten und so indirekt als Stromspeicher zu nutzen. Durch den Einbau von Pumpen und zusätzlichen Turbinen könnten sie auch zu Pumpspeicherkraftwerken mit einer Leistung von 60 GW (entspricht über 40 Kernkraftwerke) ausgebaut werden und so direkt als Stromspeicher dienen. Damit könnte Norwegen zur 'Batterie' Europas werden.[50] [51] (siehe auch Transport von Strom) In verschiedenen Projekten wird bereits die notwendige, stärkere Verknüpfung des europäischen Stromnetzes umgesetzt.

Druckluftspeicherkraftwerke

(siehe Hauptartikel Druckluftspeicherkraftwerk)

Für Druckluftspeicher können beispielsweise Kavernen in Salzstöcken genutzt werden. Eine Pilotanlage in Deutschland, die seit 1978 betrieben wird, ist das Druckluftspeicherkraftwerk Huntorf (Niedersachsen). Es wird Druckluft mit 72 bar gespeichert und damit bei Bedarf eine Drucklufturbine angetrieben. Wird die Druckluft mit zusätzlichem Erdgas aufgeheizt, wird ein Wirkungsgrad von etwa 42 % erreicht, also deutlich weniger als bei Pumpspeicherkraftwerken.

kinetische Energiespeicher

Auf hohe Umdrehungszahlen gebrachte Schwungräder vermögen kurzfristig kinetische Energie in Form des Drehmomentes zu speichern und zum mechanischen oder elektromechanischen Antrieb zur Verfügung zu stellen.

Wärmespeicher

Bei Solarthermischen Kraftwerken können Wärmespeicher (zum Beispiel Flüssigsalztanks) einen Teil der am Tage gewonnenen Wärme aufnehmen und die Dampfturbine nachts antreiben oder bei Nachfragespitzen zusätzlichen Dampf erzeugen. Um eine Versorgungssicherheit auch bei lang anhaltendem schlechtem Wetter zu gewährleisten, ist hier auch eine Zusatzfeuerung durch Öl, Erdgas oder Biomasse möglich. Durch Geothermie erzeugte elektrische Energie steht dagegen kontinuierlich zur Verfügung und kann daher einen Beitrag zur Stabilisierung des Angebots (Grundlastkraftwerk) leisten.

Elektrolyte

(siehe Artikel Redox-Flow-Zelle)

Eine weitere Speichermöglichkeit sind Redox-Flow-Zellen. Dabei wird die elektrische Energie in Elektrolyten gespeichert. Die Größe der Tanks (d. h. die Ladekapazität) sowie die Anzahl der Ladezellen (d. h. die Ladegeschwindigkeit) sind theoretisch beliebig skalierbar. So könnte je nach Größe und Lage eines Windparks ein Energiespeicher derart angepasst werden, dass die Speicherkapazität und Ladeleistung mit der Leistung des Windparks und den zu erwartenden Schwachwindphasen übereinstimmen. Windparks – und auch Solaranlagen – könnten dann Energie nach Bedarf liefern. Es existieren zwar bereits Versuchsanlagen, u. a. in Australien, Italien, Japan und Irland, doch eine kommerzielle Einführung scheitert bisher an den geringen Erfahrungen mit Systemen großer Dimension und an noch zu hohen Kosten.

Akkumulatoren

(siehe Artikel Akkumulator und Elektroauto)

Die Speicherung elektrischer Energie mit Akkumulatoren ist relativ teuer. Es wird jedoch erwartet, dass Elektrofahrzeuge zukünftig eine bedeutende Rolle spielen werden. Durch die zeitliche Steuerung der Aufladung ihrer Akkumulatoren können sie zum Management des Stromnetzes beitragen. Derzeit wird intensiv geforscht, um Akkumulatoren leistungsfähiger, leichter, zuverlässiger und preiswerter zu machen, die Verwendung von Schadstoffen zu vermeiden, die Ladezeit zu verkürzen und die Steuerung und Sicherheit zu verbessern.

Die Energiedichte von Akkumulatoren ist zwar geringer als die Energiedichte beim Wasserstoff, der ebenfalls als zukünftiger Energieträger für Fahrzeuge gehandelt wird. Jedoch relativiert sich dieser Effekt durch die Effizienz und die derzeit (vor allem von der Nachfrage für Mobiltelefone und Notebooks motivierte) starke Weiterentwicklung von Akkumulatoren.

Speicherung als Wasserstoff

(siehe Artikel Wasserstoffspeicher und Wasserstoffwirtschaft)

Durch Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mit Hilfe von Strom (Elektrolyse) kann elektrische Energie in eine besser speicherbare Form umgewandelt werden. Zum einen könnte Wasserstoff zukünftig als Treibstoff für Wasserstoffautos verwendet werden. Weitergehende Konzepte sehen eine sogenannte (solare) Wasserstoffwirtschaft als Alternative zur derzeitigen Stromwirtschaft. Problematisch sind der begrenzte Wirkungsgrad der Elektrolyse, Verluste und Verdichtungsaufwand bei Transport und Speicherung (insbesondere in Fahrzeugtanks) und begrenzte Wirkunggrade bei der Verstromung in Brennstoffzellen oder Verbrennung in Motoren. Daraus ergeben sich Gesamtwirkungsgrade, die eine Konkurrenzfähigkeit der Wasserstoffwirtschaft gegenüber anderen Energiespeichern fraglich erscheinen lassen.[52] [53] [54] [55] [56]

Das Umweltbundesamt lehnt den Einsatz von Wasserstoff als Treibstoff wegen der geringen Effizienz und sinnvollerer Alternativen ab (Stand 2006).[57]

Intelligenter Stromverbrauch

(siehe Artikel Intelligentes Stromnetz und Smart Metering)

Mit der heutigen Informationstechnik ist es möglich, zeitlich flexible Stromverbraucher (zum Beispiel Zementmühlen, Kühl- und Heizsysteme etc.) vorübergehend herunter- oder abzuschalten („Lastabwurfkunden“, „Demand Side Management“). Eine Regulierung über einen zeitnahen Strompreis ist denkbar, ähnlich dem sogenannten Niedertarifstrom (Nachtstrom). Der Preis würde bei Stromüberangebot gesenkt, bei Strommangel dagegen angehoben. Intelligente Stromverbraucher (zum Beispiel entsprechend ausgerüstete Waschmaschinen, Spülmaschinen usw.) schalten bei geringem Strompreis ein und bei hohem Strompreis aus. In der Industrie könnte eine kurzzeitige Spitzenstromlast vorerst zwischengespeichert (zum Beispiel Schwungrad) und zu einem späteren Zeitpunkt genutzt werden.

Virtuelles Kraftwerk

(siehe Hauptartikel virtuelles Kraftwerk)

Um zu testen, ob ein größeres Gebiet teilweise oder vollständig mit Strom aus erneuerbaren Energien sicher versorgt werden kann, gibt es Pilotprojekte, die die Dynamik und Einsatzmöglichkeiten von sogenannten Kombikraftwerken oder virtuellen Kraftwerken untersuchen. Hierbei werden Anlagen aus den verschiedenen erneuerbare Energie-Bereichen (Wasser, Wind, Sonne, Biogas, etc.) virtuell zu einem Kraftwerk zusammengeschlossen und simuliert, den zeitgenauen Strombedarf, zum Beispiel einer Großstadt zu decken.[58]

Ausbau und Verknüpfung der Stromnetze

Der Ausbau der Stromnetze kann mehrere Vorteile bieten. Zum einen erlaubt z. B. die engere Verknüpfung der nationalen Stromnetze eine bessere Aufnahme z. B. von Überkapazitäten der Windenergie durch regional gute Windverhältnisse. Durch die Verknüpfung von Regionen mit hohen Kapazitäten an Stromerzeugung aus Wind mit Regionen mit vielen Wasser- bzw. Pumpspeicherkraftwerken können zudem Leistungsspitzen gespeichert und abgepuffert werden. Bei entsprechendem Ausbau der Stromnetze kann Strom auch in abgelegenen Regionen erzeugt (z. B. mit offshore-Windkraftanlagen oder in solarthermischen Kraftwerken in der Sahara) und in die Regionen transportiert werden, wo er benötigt wird. Die Übertragung erfolgt dabei mit nicht, wie üblich, als Wechselstrom, sondern verlustärmer per Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ).

Mit herkömmlichen Drehstromnetzen kann man nur ein paar 100 km wirtschaftlich überbrücken. Grobe Regel: 1 km/kV, technische Grenze für Hochspannungsleitungen 400 kV.

HGÜ-Systeme existieren bislang als Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. Es liegt deshalb nahe, das herkömmliche Drehstrom-Hochspannungsnetz mit weiträumigen HGÜ-Verstärkungen zu ergänzen - etwa Norwegen - Hamburg oder Ostseeküste - Bayern. Für solche möglichst isolierten Verbindungen sprechen auch Gefahren wie ein Magnetischer Sturm.

Literatur

Bücher

- Mischa Bechberger, Danyel Reiche: *Ökologische Transformation der Energiewirtschaft – Erfolgsbedingungen und Restriktionen.* Schmidt, Berlin 2006, ISBN 3-503-09313-3.
- Thomas Bührke, Roland Wengenmayr: *Erneuerbare Energie – Alternative Energiekonzepte für die Zukunft.* 2. Aufl., Wiley-VCH, Weinheim 2009, ISBN 978-3-527-40973-0, ISBN 3-527-40973-4.
- Hans-Josef Fell und Carsten Pfeiffer: *Chance Energiekrise – Der solare Ausweg aus der fossil-atomaren Sackgasse* Solarpraxis, Berlin 2006, ISBN 3-934595-64-2.
- Sven Geitmann: *Erneuerbare Energien und alternative Kraftstoffe.* 2. Aufl., Hydrogeit Verlag, Kremmen 2004, ISBN 3-937863-05-2.
- Sven Geitmann: *Erneuerbare Energien - Mit neuer Energie in die Zukunft* Hydrogeit, Oberkrämer 2009, ISBN 978-3-937863-14-6.
- Wolfgang Gründinger: *Die Energiefalle. Rückblick auf das Erdölzeitalter.* C. H. Beck, München 2006.
- Martin Kaltschmitt, Andreas Wiese und Wolfgang Streicher (Hrsg.): *Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte.* 3. Aufl., Springer Verlag, Heidelberg 2003, ISBN 3-540-43600-6.
- Axel Kleidon, Ralph D. Lorenz : *Non-Equilibrium Thermodynamics and the Production of Entropy.* Springer Verlag, Heidelberg 2004, ISBN 3-540-22495-5.
- David J. C. MacKay: *Sustainable Energy – Without the Hot Air* UIT 2008, ISBN 978-1-906860-01-1, (auch online verfügbar [62]).
- Volker Quaschning: *Erneuerbare Energien und Klimaschutz.* 2. Aufl., Carl Hanser, München 2009, ISBN 978-3-446-41961-2.

- Volker Quaschning: *Regenerative Energiesysteme.* 6. Aufl., Carl Hanser, München 2009, ISBN 978-3-446-42151-6.
- Hermann Scheer: *Solare Weltwirtschaft – Strategie für eine ökologische Moderne.* 5. Aufl., Kunstmann, München 2005, ISBN 3-88897-314-7.
- Jens-Peter Springmann: *Förderung erneuerbarer Energieträger in der Stromerzeugung – Ein Vergleich ordnungspolitischer Instrumente.* DUV, Wiesbaden 2005, ISBN 3-8350-0038-1.

Aufsätze und Studien

- BMU (2006): *Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern* [63] (PDF)
- Bernd Geisen: *Energieversorgung der Zukunft – Strom, Wärme und Kraftstoffe aus Biomasse*. In: *Müll und Abfall*. Schmidt, Berlin 372005,11, S. 548–551, ISSN 0027-2957 [7]
- Bernd Oswald: *Regenerative Energien. Erneuerbare Entlastung.* [64] In: *Süddeutsche Zeitung.* München, 18. Januar 2006.
- Daniela Thrän, Alexander Vogel, Michael Weber: *Biogene Kraftstoffe in Deutschland, Techniken und Potenziale*. In: *Müll und Abfall.* Schmidt, Berlin 37.2005,11, S. 552–559, ISSN 0027-2957 [7]
- Internationale Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR): *Zur Lage der Regenerativen Energiewirtschaft in Nordrhein-Westfalen* für 2003 und 2004 (erschienen 2004 und 2005) [65]
- Internationale Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR): *Zur weltweiten Entwicklung der regenerativen Energien – Szenario bis 2010* (2000) [66] (PDF-Datei; 679 kB)
- Global Wind Energy Concil (GWEC): *Global Wind 2008 Report* – Report des GWEC zur Windenergie in 2008 inklusive Ausblick bis 2013 [67] (PDF-Datei; 1,43 MB)

Siehe auch

- Zukunftstechnologie
- Nachwachsender Rohstoff
- Energiepolitik
- Ökostrom

Weblinks

- Webseite des Bundesumweltministeriums über erneuerbare Energien [68], mit der jährlich erscheinenden Informationsbroschüre *Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und Internationale Entwicklung* [3], Ausgabe vom Juni 2009, 80-seitig, als pdf
- Bundesverband Erneuerbare Energien [69]
- Agentur für Erneuerbare Energien [3], mit der Broschüre *ERNEUERBARE ENERGIEN 2020 - Potenzialatlas Deutschland* [6], vom 14. Januar 2010, als pdf
- EUROSOLAR – Europäischer Verband für Erneuerbare Energien [70]
- Jugendbündnis Zukunftsenergie [71]
- *Regenerative Energien – immer ein Schritt in die richtige Richtung?* [72] (PDF-Datei; 45 kB)

Referenzen

[1] Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DE:PDF)

[2] Daten des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) (http://www.dlr.de/tt/trans-csp) 2005

[3] Potenziale erneuerbarer Energien – Übersicht (http://www.unendlich-viel-energie.de/de/wirtschaft/potenziale.html)

[4] sevenload.com: (http://de.sevenload.com/videos/5dmaEzH-Das-regenerative-Kombikraftwerk) Video: Das regenerative Kombikraftwerk, siehe auch (http://www.kombikraftwerk.de)

[5] Der große Blackout (http://wstreaming.zdf.de/zdf/veryhigh/070612_blackout.asx) (Film im wmv-Format), 3sat hitec vom 14. Juni 2007, Alternativlink (http://c36000-o.w.core.cdn.streamfarm.net/36000zdf/ondemand/3546zdf/zdf/zdf/07/06/070612_blackout_vh.wmv)

[6] nano.de: (http://www.3sat.de/mediathek/mediathek.php?obj=8588) Video: Spanien baut eines der weltgrößten Solarkraftwerke. Auch mit Informationen zu möglicher Energieerzeugung in Nordafrika. 9. Juni 2008

[7] Sustainable Energy – Without the Hot Air (englisch) (http://www.withouthotair.com/) Fünf durchgerechnete Szenarien, von konservativer bis grüner Energieversorgung von Großbritannien

[8] Bundesministerium für Umwelt (BMU): *"Leitstudie 2008" - Weiterentwicklung der "Ausbaustrategie Erneuerbare Energien" vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas* (http://www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/42383.php), vom Oktober 2008, als pdf

[9] Branchenprognose Erneuerbare Energie (http://www.unendlich-viel-energie.de/de/wirtschaft/detailansicht/article/201/sicher-sauber-schlauer-die-stromversorgung-der-zukunft.html)

[10] Potenzialatlas Erneuerbare Energien (http://www.unendlich-viel-energie.de/de/wirtschaft/detailansicht/article/201/viel-ertrag-auf-wenig-flaeche-erster-potenzialatlas-erneuerbare-energien-erschienen.html)

[11] Marion Lienhard, Anna Vettori, Rolf Iten: *Peak Oil – Chance für einen nachhaltigen Umgang mit Energie?* (http://inrate.ch/fileadmin/pdf/themen/peak_oil.pdf) (PDF) Hrsg.: INrate, Dezember 2006.

[12] WWF: *Methan und Lachgas: Die vergessenen Klimagase,* (http://www.wwf.de/themen/landwirtschaft/landwirtschaft-klima/) 2007.

[13] Forschung auf dem Gebiet u.A. der Entropiebilanzierung: Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena

[14] Sachverständigenrat für Umweltfragen SRU): *Klimaschutz durch Biomasse* (http://www.umweltrat.de/cae/servlet/contentblob/467474/publicationFile/34339/2007_SG_Biomasse_Buch.pdf), Sondergutachten, Juli 2007

[15] Basler Zeitung: Geothermie-Erdstösse: 3 bis 5 Millionen Franken Schaden (http://www.baz.ch/news/index.cfm?keyID=6BF9B4A6-7C45-4B8B-AAC0F6F27F40F7A6&startpage=1&ObjectID=5D2F0BA3-1422-0CEF-708EAF6D586FC125)

[16] Ausbauprognose des Bundesverbandes Erneuerbare Energien e.V. laut Zeitschrift "Immissionsschutz" Juni 2009

[17] n-tv.de: *Grüner Goldrausch – Ölpreis zeigt Wirkung* (http://www.n-tv.de/Gruener_Goldrausch_Oelpreis_zeigt_Wirkung/010720084721/987898.html) vom 1. Juli 2008.

[18] unep.org: *Clean Energy Investments Charge Forward Despite Financial Market Turmoil,* (http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=538&ArticleID=5849&l=en) abgerufen am 2. Juli 2008.

[19] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): *Sichere, bezahlbare und umweltverträgliche Stromversorgung in Deutschland – Geht es ohne Kernenergie?* Berlin 2008.

[20] Informationsplattform der deutschen Übertragungsnetzbetreiber: *EEG-Mittelfristprognose: Entwicklungen 2000 bis 2015,* (http://www.eeg-kwk.net/cps/rde/xbcr/eeg_kwk/2009-05-11_EEG-Mittelfristprognose-bis-2015.pdf) 11. Mai 2009.

[21] Bundesverband Erneuerbar Energien (BEE): *Branchenprognose Stromversorgung 2020* (http://www.bee-ev.de/Energieversorgung/Strom/Stromversorgung-2020.php), vom Januar 2009, abgerufen am 29. Januar 2010

[22] http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Prognose-Analyse_mai09.pdf

[23] EWEA: *Response to the European Commission's Green Paper: Towards a European strategy for the security of energy supply.* November 2001.

[24] IEA, 2002: *World Energy Outlook 2002*. Paris 2002.

[25] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): *Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung*. Berlin 2009

[26] Prognos AG, 1998: *Möglichkeiten der Marktanreizförderung für erneuerbare Energien auf Bundesebene unter Berücksichtigung veränderter wirtschaftlicher Rahmenbedingungen*.

[27] Prognos AG, 1984: *Energieprognose – Die Entwicklung des Energieverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland und seine Deckung bis zum Jahr 2000*.

[28] Prognos AG, 2005: *Energiereport IV. Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. Energiewirtschaftliche Referenzprognose. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit*. (http://www.prognos.ch/fileadmin/pdf/Energiereport IV_Kurzfassung_d.pdf) (PDF)

[29] BMWi Energiestatistiken (http://bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/energiestatistiken.html) Seite 4

[30] BMU:]http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_update_bf.pdf *Erneuerbare Energien in Zahlen - Internetupdate ausgewählter Daten], Stand Dezember 2009, 35-seitiges pdf-Dokument*

[31] BMU: *Erneuerbare Energien in Zahlen - Internet Update* (http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_zahlen_update.pdf) Stand: Dezember 2009

[32] *Erneuerbare Energien in Zahlen* (http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_update_bf.pdf) (PDF), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Stand: Dezember 2009.
[33] BMU, (http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/39983/40289/) 17. September 2007.
[34] BMWi Energiestatistiken (http://bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/energiestatistiken.html) Seite 20, Stand: November 2008
[35] BMU Erneuerbare Energien in Zahlen Internet Update (http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_zahlen_update.pdf) Stand: Dezember 2008, S. 8.
[36] BMU Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2008 (http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_in_deutschland_graf_tab_2008.pdf) Stand: April 2009.
[37] Tabellendokument auf www.bmwi.de (http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/Energiedaten/energietraeger10-stromerzeugungskapazitaeten-bruttostromerzeugung,property=blob,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.xls) (Excel), Stand: Oktober 2008.
[38] BMU: *Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2008,* S. 14 (http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_in_deutschland_graf_tab_2008.pdf) (PDF). Stand: April 2009.
[39] Österreichischer Energiebericht 2003 (http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/energie/Energieeinsatz_in_Oesterreich/Energiebericht2003.pdf) (PDF), aufgerufen Juli 2006.
[40] Energiestatistik e-control (http://www.e-control.at/portal/page/portal/ECONTROL_HOME/STROM/ZAHLENDATENFAKTEN/ENERGIESTATISTIK)
[41] e-control: Ökomengen Gesamtjahr 2008, (http://www.e-control.at/portal/pls/portal/portal.kb_folderitems_xml.redirectToItem?pMasterthingId=251283) aufgerufen 1. Januar 2010
[42] e-control: Ökomengen Gesamtjahr 2008, (http://www.e-control.at/portal/pls/portal/portal.kb_folderitems_xml.redirectToItem?pMasterthingId=251283) aufgerufen 1. Januar 2010.
[43] Green Power in Switzerland (http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=en&name=en_481865948.pdf), S. 3, aufgerufen im August 2006.
[44] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung, (http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/2720/) Stand: November 2007.
[45] n-tv: *Merkel schafft Kompromiss* (http://www.n-tv.de/775978.html) vom 9. März 2007.
[46] Der Tagesspiegel: *Erneuerbare Energien in der EU* (http://www.tagesspiegel.de/zeitung/Fragen-des-Tages;art693,2462261) vom 24. Januar 2008.
[47] Datenbank des BMU zu erneuerbaren Energien (http://res-legal.eu/suche-nach-laendern.html)
[48] Fraunhofer IWS: *Dynamische Simulation der Stromversorgung in Deutschland nach dem Ausbauszenario der Erneuerbare-Energien-Branche* (http://www.bee-ev.de/_downloads/publikationen/studien/2010/100119_BEE_IWES-Simulation_Stromversorgung2020_Endbericht.pdf), Abschlussbericht vom Dezember 2009
[49] Spiegel online: *Wetten auf den Wind* (http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/0,1518,659293,00.html), Bericht über die Prognostizierung von Erträgen aus Windenergie, 23. November 2009, abgerufen am 02. Februar 2010
[50] 3sat.de: (http://www.3sat.de/3sat.php?http://www.3sat.de/hitec/magazin/109583/index.html) Norwegen könnte die Batterie Europas werden
[51] video: (http://www.youtube.com/watch?v=YMWDXBpJltc) Doku – Der große Blackouts und die Strategien dagegen (3 Teile)
[52] Craig Morris: Keine Spur von einer Wasserstoffwirtschaft? (http://www.heise.de/tp/r4/artikel/18/18662/1.html) Telepolis 4. November 2004
[53] Wasserstoff: Der Kraftstoff der Zukunft? (http://www.heise.de/tp/r4/artikel/24/24719/1.html) – Telepolis, 26. Februar 2007.
[54] Technology Review: *Unterwegs im Wasserstoff-7er* (http://www.heise.de/tr/artikel/81413) vom 22. November 2006.
[55] Telepolis: *Wasserstoff bei niedrigem Druck speichern* (http://www.heise.de/tp/r4/artikel/18/18592/1.html) vom 20. Oktober 2004.
[56] Telepolis: *Pack den Blechroboter in den Tank* (http://www.heise.de/tp/r4/artikel/21/21174/1.html) vom 20. Oktober 2005.
[57] Bewertung alternativer Treibstoffe und Antriebe (http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/alternantrieb/kraftstoffe/altkraftst.htm) (Stand 1. September 2006)
[58] video: (http://www.youtube.com/watch?v=OzEhcypDX2U) Kombikraftwerk – Strom ohne Atom und Kohle

Erneuerbare-Energien-Gesetz

Basisdaten	
Titel:	Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien
Kurztitel:	Erneuerbare-Energien-Gesetz
Abkürzung:	EEG
Art:	Bundesgesetz, Einspruchsgesetz
Geltungsbereich:	Bundesrepublik Deutschland
Rechtsmaterie:	Umweltrecht
FNA:	754-22
Ursprüngliche Fassung vom:	29. März 2000 (BGBl. I S. 305)
Inkrafttreten am:	1. April 2000
Letzte Neufassung vom:	25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074)
Inkrafttreten der Neufassung am:	1. Januar 2009
Letzte Änderung durch:	Art. 12 G vom 22. Dezember 2009 (BGBl. I S. 3950, 3955)
Inkrafttreten der letzten Änderung:	1. Januar 2009 (Art. 15 Abs. 2 G vom 22. Dezember 2009)
Bitte den Hinweis zur geltenden Gesetzesfassung beachten.	

Das deutsche **Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien**, in der geläufigen Kurzfassung **Erneuerbare-Energien-Gesetz** (EEG) genannt, soll gemäß der Legaldefinition seines § 1 [1] Abs. 1 *„die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Quellen fördern“*. Es dient dem Klima- und Umweltschutz und gehört zu einer ganzen Reihe gesetzlicher Maßnahmen, mit denen die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern wie Erdöl, Erdgas oder Kohle und Kernkraft verringert werden soll. So schreibt das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz eine Nutzung von erneuerbaren Energien bei der Wärmeerzeugung vor und das Biokraftstoffquotengesetz ihre Verwendung im Verkehrsbereich. Das deutsche EEG gilt als Erfolgsgeschichte des Modells der Einspeisevergütung und wurde von 47 Staaten übernommen.[1] Eine vom Deutschen Bundestag am 6. Juni 2008 beschlossene neue und erweiterte Fassung[2] ist am 1. Januar 2009 in Kraft getreten.

Prinzip

Das EEG garantiert den Betreibern der zu fördernden Anlagen über einen Zeitraum von 15 bis zu 20 Kalenderjahren einen festen Vergütungssatz für den erzeugten Strom und verpflichtet die Netzbetreiber zu dessen vorrangiger Abnahme (§ 21 [4] und § 8 [5] Abs.1 EEG vom 25. Oktober 2008). Die Höhe der Vergütungen sind nach Technologien und Standorten differenziert und ermöglichen einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen. Der für neu installierte Anlagen festgelegte Satz sinkt jährlich um einen bestimmten Prozentsatz (Degression). Durch die stetige Absenkung der Vergütungen wird ein Kostendruck im Sinne einer gewollten Anreizregulierung erzeugt: Hersteller sollen ihre Anlagen effizienter und kostengünstiger machen, um langfristig unabhängig von Förderungen zu werden.
Gefördert wird die Erzeugung von Strom aus:

- Wasserkraft
- Deponiegas, Klärgas und Grubengas
- Biomasse
- Geothermie
- Windenergie
- solarer Strahlungsenergie (zum Beispiel Photovoltaik)

Der der Anlage nächstgelegene öffentliche Netzbetreiber ist aufgrund eines gesetzlichen Schuldverhältnisses zum Anschluss der Anlage und zur vorrangigen Einleitung des erzeugten Stromes sowie zur Zahlung der gesetzlich festgelegten Vergütung verpflichtet. Eines Vertrages zwischen dem Anlagenbetreiber und dem Netzbetreiber bedarf es nicht (sogenanntes *Koppelungsverbot* nach § 4 [6] Abs. 1 EEG), wie nicht von den Bestimmungen des EEG, soweit nicht ausdrücklich dort vorgesehen, abgewichen werden darf (§ 4 [6] Abs. 2 EEG).

Die entstandenen Mehrkosten, d. h. die Differenz zwischen Vergütungssatz und Marktpreis des Stroms, geben die aufnehmenden Netzbetreiber den bundesweit agierenden Übertragungsnetzbetreibern (das sind zur Zeit noch die vier großen Energieversorgungsunternehmen (EVU) E.ON, EnBW, RWE und Vattenfall) weiter, unter denen die Kosten gleichmäßig, das heißt entsprechend dem Umfang der in ihrem jeweiligen Gebiet erfolgenden Strombelieferung an Letztverbraucher, aufgeteilt werden (Bundesweite Ausgleichsregelung, § 36 [7] EEG). Dadurch werden unabhängig von den regionalen Unterschieden bei der Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien (wie etwa in den besonders windhöffigen Küstenregionen) alle Übertragungsnetzbetreiber gleich belastet. Diese leiten den Strom an die die Letztverbraucher beliefernden Elektrizitätsversorgungsunternehmen unter Berechnung der EEG-Mehrkosten weiter (§ 37 [8] EEG). Für die Belieferung der Letztverbraucher sieht das EEG keine besonderen Bestimmungen mehr vor, sondern unterstellt, dass die zusätzlichen Kosten in Form der sogenannten EEG-Umlage in die Kalkulation und Abrechnung der Endverbraucherpreise einfließen. Ab 2010 soll diese Vermarktung nach der AusglMechV vom 17. Juli 2009 dahingehend geändert werden, dass die Übertragungsnetzbetreiber nicht mehr zur Weiterleitung des EEG-Stroms verpflichtet sind, sie stattdessen den erhaltenen EEG-Strom an einer Strombörse vermarkten müssen. Den die Endverbraucher beliefernden Versorgungsunternehmen können sie aber die Differenz der Gestehungskosten für den EEG-Strom und der Vermarktungskosten in Form der EEG-Umlage anteilig berechnen.

Vorgeschichte

Stromeinspeisungsgesetz (1991)

Vorläufer des Erneuerbare-Energien-Gesetzes war das seit 1991 geltende *Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz*, kurz Stromeinspeisungsgesetz, vom 7. Dezember 1990.[3] Die *Einspeisung* wurde hervorgehoben, weil Strom aus erneuerbaren Energien – mit Ausnahme von Strom aus Wasserkraft – nur von kleinen Unternehmen erzeugt wurde, denen von den großen Stromerzeugern der Zugang zu dem ihnen gehörenden Verbundnetz verweigert oder stark erschwert wurde. Das Gesetz verpflichtete sie zur Einspeisung in dieses Verbundnetz und sicherte den Erzeugern bestimmte an den Durchschnittserlös für Strom gekoppelte Mindestvergütungen zu. Diese waren zumindest für die Windkraft ungefähr kostendeckend, was zu einem ersten Windkraft-Boom in Deutschland führte. Für Solarstromanlagen waren die Vergütungen noch weit von einer Kostendeckung entfernt.

Erneuerbare-Energien-Gesetz (2000)

Am 1. April 2000 wurde das Stromeinspeisungsgesetz durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 29. März 2000 (BGBl. I S. 305) ersetzt. Dabei wurde die geothermisch erzeugte Energie einbezogen und die Förderung neben einer generellen Absenkung auf kleinere Anlagen konzentriert, um ihren Charakter als Anschubförderung zu erhalten. Es erfuhr zum Jahreswechsel 2003/2004 eine Änderung, in der die Förderung der Photovoltaik nach dem Auslaufen des 100.000-Dächer-Programms angepasst wurde.

Beide Gesetze haben die Stromerzeugung durch erneuerbare Energien in Deutschland entscheidend gefördert.

Erneuerbare-Energien-Gesetz (2004)

Die novellierte Fassung des EEG vom 21. Juli 2004 (BGBl. I S. 1918) ist am 1. August 2004 in Kraft getreten. Vorausgegangen war eine Einigung im Vermittlungsausschuss, bei der die CDU/CSU eine Reduzierung der Förderung von Windkraftanlagen erreichte. Neben der erforderlich gewordenen Anpassung an die von der EU erlassene Richtlinie 2001/77/EG zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt[4] betrafen wesentliche Punkte der novellierten Fassung die Höhe der Fördersätze sowie die bessere juristische Stellung der Betreiber von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien gegenüber den örtlichen Netzbetreibern (u. a. Wegfall der Vertragspflicht).

Erneuerbare-Energien-Gesetz (2009)

Die Novellierung 2008 (BGBl. I S. 2074) hat das Ziel, den Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis 2020 auf einen Anteil von mindestens 30 % zu erhöhen (§ 1 [1] Abs. 2 EEG). In Ergänzung zum EEG, das sich nur auf die Stromerzeugung bezieht, wurde erstmals bundesweit in einem weiteren Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG 2008 – BGBl. I S. 1658) auch die Verwendung von erneuerbaren Energien im Bereich der Wärme- und Kälteerzeugung geregelt, mit dem die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien für die Wärmeerzeugung auf 14 % bis 2020 bezweckt wird.

Das EEG 2009 behält die Grundstrukturen des EEG 2004 zwar bei, führte aber zu einer vollkommenen Neunummerierung der Paragrafen, deren Anzahl von 22 auf nunmehr 66 anwuchsen. Die Neufassung des Gesetzes gilt sowohl für Neu- als auch für bereits zum Zeitpunkt seines Inkraftretens vorhandene Altanlagen, für die jedoch § § 66 [11] EEG einen umfassenden Katalog mit Übergangsbestimmungen enthält, die im Wesentlichen die bisherigen Bedingungen für die Abnahme und Vergütung im Sinne eines Bestandsschutzes aufrechterhalten.[5] Die Neufassung enthält eine Vielzahl von Detailregelungen. So wurden zum Zwecke der Verbesserung der Transparenz Meldepflichten erweitert. Betreiber von Solaranlagen müssen Standort und Leistung der Anlage an die Bundesnetzagentur melden.[6] Der Anlagenbegriff wurde im Hinblick auf Umgehungen, für Kleinanlagen geltende höhere Vergütungssätze durch Anlagensplitting in Anspruch zu nehmen, auch für Altanlagen neu definiert. Mit der Neufassung der § 19 [14] und § 66 [11] im EEG werden Anlagen, die in enger zeitlicher (innerhalb von zwölf aufeinander folgenden Monaten) und lokaler Nähe (auf demselben Grundstück oder in unmittelbarer Nähe) in Betrieb genommen wurden, hinsichtlich der Vergütung wie eine einzige Anlage gewertet. Zur Regelung von Engpässen bei der Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien wurde ein Einspeisemanagement vorgeschrieben, das für Anlagen mit einer Leistung ab 100 kW technische Einrichtungen zur laufenden Erfassung der eingeleiteten Strommenge durch den Netzbetreiber und die Möglichkeit einer vorübergehenden Beschränkung der Einspeisung vorsieht, wobei die betroffenen Anlagenbetreiber vom Netzbetreiber für den Ausfall zu entschädigen sind (§ 11 [15], § 12 [16] EEG).

Des Weiteren wurde für die Photovoltaik-Vergütung eine gleitende Degression eingeführt (§ 20 [17] Absatz 2a EEG), d.h. bei unerwartet großem Zubau und damit auch absolut höheren Vergütungskosten wird die garantierte Vergütung pro kWh schneller abgesenkt um ein Ausufern der Gesamtkosten für die Stromkunden einzudämmen. Z.B. ab 1,5 GW Zubau im Jahr 2009 folgt 1% zusätzliche Absenkung der Vergütung für das Jahr 2009.

Rahmenbedingungen

Anschluss- und Abnahmezwang

Ungeachtet ihres Bedarfs müssen die Betreiber öffentlicher Netze allen Strom, der von in Deutschland einschließlich der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone betriebenen Anlagen nach dem EEG gewonnen wird (§ 2 [18] Nr. 1 EEG), mit Vorrang vor dem Strom, der aus anderen Energiequellen erzeugt wird, vor allem aus fossilen Brennstoffen und Kernkraft, abnehmen. Gleichrangig mit dem Strom aus erneuerbaren Energien ist jedoch der mit Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen erzeugte Strom (§ 4 [19] Abs. 1 Satz 2 KWKG) einzuspeisen. Die Netzbetreiber sind verpflichtet, ihre Netze jeweils ausreichend ausbauen, so dass sie den bevorrechtigten Strom aufnehmen können, es sei denn die Maßnahmen wären wirtschaftlich unzumutbar (§ 9 [20] EEG). Eine Verletzung dieser Pflicht macht schadensersatzpflichtig (§ 19 [14] Abs. 1 EEG). Umgekehrt ist der Anlagenbetreiber, soweit er eine Vergütung nach dem EEG geltend macht, verpflichtet, dem Netzbetreiber seinen Strom anzudienen, es sei denn, er oder unmittelbar angeschlossene Dritte nutzen den Strom selber (§ 16 [21] Abs. 4 EEG) oder der Anlagenbetreiber vermarktet ihn in Übereinstimmung mit § 17 [22] EEG selber (was vor allem eine fristgebundene vorherige Ankündigung voraussetzt).

Für den eingespeisten Strom hat der Netzbetreiber dem Anlagebetreiber die im Gesetz festgesetzten Vergütungsätze zu zahlen. Die Vergütungssätze unterscheiden sich je nach der bei der Stromerzeugung eingesetzten Energieart erheblich, da sie auf der Grundlage der bei der Stromerzeugung anfallenden tatsächlichen und kalkulatorischen Selbstkosten berechnet worden sind. Die Vergütungen sind in dieser Höhe auf die Dauer von 20 Kalenderjahren zuzüglich des Inbetriebnahmejahres zu zahlen, bei großer Wasserkraft (ab 5 MW) verkürzt sich die Laufzeit auf 15 Jahre. Die gesetzlichen Vergütungssätze werden aufgrund einer bereits im Gesetz festgelegten Degression in Höhe eines dort vorgesehenen Prozentsatzes kalenderjährlich für dann in Betrieb gehende Neuanlagen gemindert (§ 20 [17] EEG).

Abnahme des EEG-Stroms durch die Letztverbraucher

Während die Abnahme des EEG-Stroms durch die Netzbetreiber und die Weiterleitung dieses Stroms einschließlich der Weitergabe der Mehrkosten an die höherrangigen Netzbetreiber und Elektrizitätsversorgungsunternehmen gesetzlich geregelt ist, sind die die Letztverbraucher beliefernden Elektrizitätsversorgungunternehmen selber in der Verwertung des EEG-Stroms frei. Sie sind Teil deren allgemeinen Stromportfolios und unterliegen der freien Verwertung. Nach ihren Allgemeinen Geschäftsbedingungen dürfen die Versorgungsunternehmer die durch das EEG verursachten Mehrkosten in ihre Kosten einstellen. Sie haben zudem das Recht, die EEG-Mehrkosten anteilig dem Endverbraucher gegenüber auszuweisen (Differenzkosten gem. § 53 [23] EEG). Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) kann aber auf Antrag Letztverbraucher, die stromintensive Unternehmen des produzierenden Gewerbes mit hohem Stromverbrauch oder Schienenbahnen sind, davon befreien, mehr als einen bestimmten Prozentsatz abzunehmen (§ 40 [24] Abs. 1 EEG), was dazu führt, dass diese Unternehmen für die darüber hinausgehende Menge den EEG-Zuschlag nicht zahlen müssen. Für ab 2010 erzeugten Strom ändert aber die AusglMechV diesen Weg grundlegend.

EEG-Umlage

Als EEG-Umlage werden die von den EEG-Strom aufnehmenden Netzbetreibern den Übertragungsnetzbetreibern berechnete Mehrkosten bezeichnet, mit der ab 2010 geltenden Änderung der Vermarktung durch die Verordnung zur Weiterentwicklung des bundesweiten Ausgleichmechanismus vom 17. Juli 2009 (AusglMechV) wird sich die Umlage nach der Differenz der den Übertragungsnetzbetreibern zufließenden Verwertungserträgen für EEG-Strom und der damit verbundenen Aufwendungen richten. Die Übertragungsnetzbetreiber geben diese Umlage an die Energieversorgungunternehmer anteilig weiter, wo sie als allgemeiner Kostenbestandteil Eingang in die Stromrechnung der Letztverbraucher findet, wobei sich die Belastung durch die hierauf entfallende Umsatzsteuer

noch erhöht. Die Differenzkosten, die als solche in der Stromrechnung ausgewiesen werden können, entsprechen der EEG-Umlage.[7] In der Ausgleichsmechanismusverordnung hat die Bundesregierung Grundsätze zur Ermittlung der EEG-Umlage aufgestellt mit der Absicht, für größere Transparenz zu sorgen. Aufgrund dieser Verordnung wurden erstmals die Kosten der EEG-Umlage mit dem Ergebnis ermittelt, dass der Letztverbraucher mit circa 2 ct/kWh durch die EEG-Umlage belastet wird, bisher war man von einer Belastung in Höhe von circa 1,2 ct/kWh ausgegangen.[8] Für das Jahr 2010 ist die EEG-Umlage auf 2,047 ct/kWh festgelegt worden.[9]

Verfassungs- und europarechtliche Zulässigkeit

Das Stromeinspeisemodell des EEG greift auf verschiedenen Ebenen in die Vertrags- und Verwertungsfreiheit ein, so dass die verfassungsrechtliche Zulässigkeit im Hinblick auf die Berufsfreiheit (Art. 12 [28] GG) und das Recht auf Eigentum (Art. 14 [29] GG) fraglich erschien, zudem führt das Gesetz in Form des EEG-Zuschlags zu einer Art Abgabe, deren Zulässigkeit als steuerrechtliche Sonderabgabe fraglich wäre.[10] Indessen wurde die Abgabe überwiegend als privatrechtlicher Preisbestandteil eingestuft, da die vom EEG verursachten Mehrkosten abgabenrechtlich öffentliche Haushalte nicht berühren.[11] Im Übrigen wurden die Vorschriften des EEG als zulässige Regelung der Berufsausübung, bzw. der Inhaltsbeschränkung des Eigentums eingestuft.[12]

Europarechtlich stand das Modell unter dem Gesichtspunkt einer Verletzung der Warenverkehrsfreiheit und des Verbots der Gewährung von Beihilfen auf dem Prüfstand. Die Europäische Kommission hatte jahrelang ein anderes Modell als marktwirtschaftlicher gestützt, wonach zur Verwendung erneuerbarer Energien bei der Stromerzeugung Quoten zugeteilt werden, die durch den Kauf von grünen Zertifikaten (über EE-Strom) erfüllt werden könnten.[13] Der Europäische Gerichtshof hatte aber bereits zum Stromeinspeisungsgesetz in seiner Entscheidung Preussen Elektra v. 13. März 2001[14] bestätigt, dass es sich bei der EEG-Umlage um keine Leistung der öffentlichen Hand handele, so dass ein Verstoß gegen das Beihilfeverbot ausschied; den vorliegenden Eingriff in die Warenverkehrsfreiheit sah das Gericht für den damaligen Zeitpunkt wegen der zwingenden Belange des Klima- und Umweltschutzes als noch hinnehmbar an. Indem die EG-Richtlinie 2009/28/EG vom 23. April 2009[15] das Modell des EEG (neben dem Quotenmodell) ausdrücklich bestätigt hat, sind letzte europarechtliche Zweifel ausgeräumt worden.[16]

Beständigkeit der zwanzigjährigen Preisgarantie

Das EEG räumt den Anlagenbetreibern den Anspruch ein, dass die im Jahr der Inbetriebnahme der Stromerzeugungsanlage geltenden Vergütungssätze für dieses Jahr und zwanzig weitere Jahre lang gezahlt werden müssen, bei großer Wasserkraft (mit über 5 MW) für 15 Jahre (§ 21 [4] Abs. 2 EEG). Mit dieser Preisgarantie soll den Anlagenbetreibern eine ausreichende Investitionssicherheit gegeben werden. Die im Gesetz vorgesehene jährliche Degression der Vergütungssätze gilt jeweils nur für im jeweiligen Jahr ans Netz gegangene Anlagen (§ 20 EEG). Nicht geklärt ist indessen, ob und unter welchen Voraussetzungen der Gesetzgeber rückwirkend für betriebene Anlagen die Vergütungsbedingungen einschließlich der Sätze kürzen kann. Das BVerfG, das sich in einer Entscheidung vom 18. Februar 2009 mit der rückwirkenden Anwendung des neuen Anlagenbegriffs des EEG 2009, der zu einem Vergütungseinbruch bei einigen Biomassenanlagenbetreibern ab Inkrafttreten des Gesetzes von knapp 50 % führte, befasste, ließ diese Frage dahinstehen, da es eine rückwirkende Änderung wegen unsicherer Rechtslage bereits für zulässig erachtete.[17] Der vom BMU beauftragte Gutachter Stefan Klinski geht davon aus, dass es sich bei einer nachträglichen Änderung der geltenden Vergütungssätze für die Zukunft um eine sogenannte unechte Rückwirkung handelt, die grundsätzlich erlaubt ist, bei der aber das vom Gesetzgeber hervorgerufene Vertrauen berücksichtigt werden muss. Sein vom BMU veröffentlichtes Gutachten kommt zu dem Ergebnis, dass in die laufende Vergütung und deren Bedingungen eingegriffen werden könne, falls EU-Recht dies verlange oder aber nachträglich festgestellt werden würde, dass die gezahlten Vergütungen wirtschaftlich zu hoch seien.[18]

Einordnung in das Energiewirtschaftsgesetz

Kleinere Anlagen, die Strom erzeugen, können als Vorhaben zum Zwecke der Energieversorgung die im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) vorgesehene Möglichkeit zur Enteignung gem. § 45 [39] I Nr. 3 EnWG in Anspruch nehmen, was vor allem dann Bedeutung hat, wenn die privaten Anlagen Grund und Boden Dritter zur Durchleitung von Kabeln zum nächsten aufnahmebereiten öffentlichen Netz beanspruchen müssen. Strittig ist unter den Gerichten, ob dies das Recht zur vorzeitigen Besitzeinweisung (§ 44b [40] EnWG) mitumfasst.[19]

Die Befugnisse der Energieversorgungs- und Netzunternehmen zur Wahrung der Sicherheit und Zuverlässigkeit des Elektrizitätsversorgungssystems nach § 13 [42] Abs. 1 und § 14 [43] Abs. 1 des EnWG Maßnahmen, wie Produktionsbeschränkungen, zu ergreifen, bestehen den EEG-Strom erzeugenden Anlagenbetreibern gegenüber - und zwar insoweit ohne Entschädigungspflicht (§ 11 [15] Abs. 2 EEG).[20]

Änderung der Vermarktung durch die Ausgleichsmechanismusverordnung vom 17. Juli 2009

Durch die Verordnung zur Weiterentwicklung des bundesweiten Ausgleichsmechanismus (AusglMechV)[21] , die für ab 2010 erzeugten EEG-Strom gilt, wird der gesetzliche Ausgleichsmechanismus des EEG grundsätzlich umgestaltet. Die AusglMechV erging auf der Grundlage des § 64 [46] Abs. 3 EEG, die die Bundesregierung zu weitgehenden Änderungen des bundesweiten Ausgleichsmechanismus im Hinblick auf die für EEG-Strom anfallenden Kosten ermächtigt. Die AusglMechV entbindet die Übertragungsnetzbetreiber davon, den EEG-Strom an die Energieversorgungsunternehmer durchzuleiten und diese werden wiederum aus ihrer Abnahmepflicht entlassen (§ 1 [47] Nr. 1 und 2 AusglMechV). Die Übertragungsnetzbetreiber werden stattdessen verpflichtet den EEG-Strom am Spotmarkt einer Strombörse transparent und diskriminierungsfrei zu verwerten (§ 1 [47] Nr. 3 und § 2 [48] AusglMechV). Die Übertragungsnetzbetreiber können zusätzlich von den Energieversorgungsunternehmen, die Strom an Letztverbraucher liefern, anteilig Ersatz der erforderlichen Aufwendungen im Zusammenhang mit der EEG-Umlage verlangen (§ 3 [49] Abs. 1 AuslgMechV). Die Umlage berechnet sich gemäß der AusglMechV nach der Differenz der Einnahmen aus der Vermarktung des EEG-Stroms nach § 2 [18] (zzgl. damit zusammenhängender Einnahmen) und der Aufwendungen im Zusammenhang mit der Abnahme des EEG-Stroms, hier vor allem der nach dem EEG zu leistenden Vergütungen (§ 3 [49] AusglMechV).

Die Vergünstigung von stromintensiven Unternehmen der Produktion und Schienenbahnen nach § 40 [24] EEG, wonach deren Pflicht zur Abnahme von EEG-Strom begrenzt werden kann, wird dahingehend geändert, dass diese nur einen Ausgleich von 0,05 Cent/kWh als EEG-Umlage zu zahlen haben. Darüber hinaus enthält die AusglMechV Grundsätze zu Ermittlung der EEG-Umlage und verpflichtet die Übertragungsnetzbetreiber, die für die Ermittlung der Umlage festgestellten Einnahmen und Ausgaben monatlich und jährlich auf ihren Internetseiten zu veröffentlichen wie auch eine Prognose für die erwartete Umlage des nächsten Jahres. Die Bundesnetzagentur wird wiederum ermächtigt weitergehende Verordnungen zu erlassen. Mit der AusglMechV wird ein wesentlicher Teil des EEG auf dem Verordnungswege geändert, weswegen die verfassungsrechtliche Zulässigkeit einer gesetzesvertretenden Verordnung bezweifelt wird, ein Einwand, den der Bundesrat im Gesetzgebungsverfahren bereits erhoben hatte.[22]

Vergütungssätze

Die nachfolgenden Vergütungssätze sind in Cent/kWh angegeben.[23] Neben dieser Grundvergütung kann unter bestimmten Umständen ein Anspruch auf einen oder mehrere Boni bestehen.

Wasserkraft

Die Vergütungen sind den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen.



Laufwasserkraftwerk bei Teufelsbruck (Bayern)

Leistungsanteil	EEG 2009 neue Anlagen	EEG 2004 Neue Anlagen	EEG 2009 modernisierte Anl.	EEG 2004 modernisierte Anl.
bis 500 kW	12,67	9,67	11,67	9,67
500 kW bis 2 MW	8,65	6,65	8,65	6,65
2 MW bis 5 MW	7,65	6,65	8,65	6,65

|+ Anlagen bis 5 MW

Leistungserhöhung	EEG 2009	EEG 2004
bis 500 kW	7,29	7,29
bis 10 MW	6,32	6,32
bis 20 MW	5,80	5,80
bis 50 MW	4,34	4,34
ab 50 MW	3,5	3,5

|+ Erneuerung von Anlagen ab 5 MW

Degression für Wasserkraft: ab 5 MW 1 % jährlich (ebenso nach dem EEG 2004)

Deponie-, Klär- und Grubengas

Die Vergütungen sind den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen.



Faultürme eines Klärwerks zur Klärgaserzeugung

Leistungsanteil	Deponiegas EEG 2009	Deponiegas EEG 2004	Klärgas EEG 2009	Klärgas EEG 2004
bis 500 kW_{el}	9,00	7,11	7,11	7,11
500 kW_{el} bis 5 MW_{el}	6,16	6,16	6,16	6,16

|+ Deponiegas- und Klärgasanlagen

Leistungsanteil	EEG 2009	EEG 2004
bis 500 kW_{el}	7,16	7,11
500 kW_{el} bis 1 MW_{el}	7,16	6,16
1 MW_{el} bis 5 MW_{el}	5,16	6,16
ab 5 MW_{el}	4,16	6,16

|+ Grubengasanlagen

Anlagen bis 5 MW_{el} erhalten nach Anlage 1 zum EEG für Innovative Anlagentechnik einen Bonus von 2,0 (2004: 2,00). Weitere Boni gibt es bei Deponie- und Klärgas für die Gasaufbereitung.

Die Degression für Grundvergütung und Boni beträgt jährlich 1,5 % (EEG 2004: 1,5 %)

Biomasse

Die Grundvergütung ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.



Landwirtschaftliche Biogasanlage

Leistungsanteil	EEG 2009	EEG 2004
bis 150 kW_{el}	11,67 auch für Altanlagen	10,67
150kW_{el} bis 500 kW_{el}	9,18	9,18
500kW_{el} bis 5 MW_{el}	8,25	8,25
5 MW_{el} bis 20 MW_{el}	7,79 nur bei KWK	7,79 nur bei KWK

|+ Biomasse Grundvergütung

Bei Biomasse sind besonders umfangreiche Boni möglich. Bedingung sind die Nutzung innovativer Technologien (Technologie-Bonus), Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen oder Gülle (Nawaro-Bonus, darin enthalten: der sogenannte Gülle-Bonus), die Anwendung von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK, KWK-Bonus) oder die Einhaltung von Grenzwerten bei den Formaldehyd-Emissionen (Formaldehyd-Bonus). (vgl. die Aufstellung des Bundesumweltministeriums *Vergleich der EEG-Vergütungsregelungen für 2009* [52].

Eine Vergütung nach dem EEG entfällt, wenn die zur Gewinnung von flüssiger Biomasse verwandten Rohstoffe nicht den Anforderungen der Nachhaltigkeitsverordnung[24] entsprechen, vor allem aus nicht nachhaltigem Anbau stammen, wie dem auf Regenwaldflächen oder in Feuchtgebieten.[25]

Die Degression auf Grundvergütung und Boni beträgt jährlich 1 % (EEG 2004: 1,5 %).

Geothermie



Geothermiekraftwerk in Landau

Leistungsanteil	EEG 2009	EEG 2004
bis 5 MW_{el}	20	15
bis 10 MW_{el}	20	14
bis 20 MW_{el}	14,50	8,95
ab 20 MW_{el}	14,50	7,16

|+ Geothermie Grundvergütung

Die Sätze nach dem EEG verringern sich bei Anlagen, die nach dem 31. Dezember 2015 in Betrieb gehen um 4 Cent/kWh.

Hinzukommen noch ein Bonus für Anlagen bis 10 MW_{el} für die Wärmenutzung (Wärmenutzungs-Bonus) in Höhe von 3 Cent/kWh bzw. bei Anlagen mit petrothermaler Technik (Hot-Dry-Rock-Verfahren) in Höhe von 4 Cent/kWh.

Die Degression auf Vergütung und Boni beträgt jährlich 1 % (EEG 2004: 1 % ab 2010).

Windkraft Festland



Windkraftanlagen in Niedersachsen

Strom aus Windenergie machte 2008 57% der EEG-Gesamtstrommenge und 39,5% von der gesamten EEG-Förderung aus. (siehe Absatz Zahlen zum EEG).

In den ersten fünf Jahren ab Inbetriebnahme beträgt die Anfangsvergütung **9,2 Cent/kWh** (EEG 2004: 7,87), anschließend wird nur noch die Grundvergütung von 5,02 Cent/kWh (EEG 2004: 5,5 Cent/kWh) gezahlt. Dies gilt für Windkraftanlagen, die einen Ertrag von mehr als 150 % des Referenzertrags erzielen (die also an windreichen Standorten stehen). Die Festlegung der jeweils für den Anlagentyp maßgebenden Referenzanlage ist im Gesetz und in der Anlage 5 zum EEG nach mittlerer Jahresgeschwindigkeit (5,5 m/Sekunde), Messpunkt (30 m über Grund), logarithmischem Höhenprofil und Rauhigkeitslänge (0,1 m) genau beschrieben. [26] Bei Anlagen mit einem geringeren Ertrag verlängert sich der Zeitraum der erhöhten Vergütung um 2 Monate je 0,75 % Minderertrag im Vergleich zu den 150 % Referenzertrag. Eine Windkraftanlage, die beispielsweise 120 % des Referenzertrages

erzielt, erhält demnach 5 Jahre + 40 × 2 Monate = 11 Jahre 8 Monate die erhöhte Vergütung (150 - 120 = 30, 30/0,75% = 40). Die Wahl der Referenzanlage gilt allgemein als sehr anspruchsvoll, so dass der überwiegende Teil der derzeit errichteten Anlagen über den gesamten Förderzeitraum von 20 Jahren die erhöhte Anfangsvergütung erhält.

Zusätzlich wird für Anlagen, die vor dem 1. Januar 2014 in Betrieb gehen und die die technischen Anforderungen einer nach § 64 [46] Abs. 1 EEG zu erlassenden Verordnung erfüllen, noch ein Systemdienstleistungsbonus in Höhe von 0,5 Cent/kWh gezahlt. Ihn können zwischen dem 1. Januar 2002 und 31. Dezember 2008 in Betrieb genommene Altanlagen mit 0,7 Cent/kWh in Anspruch nehmen, wenn sie die Voraussetzungen der genannten Verordnung erfüllen (§ 66 [11] Abs. Ziff. 6 EEG). Die Verordnung soll besondere Anforderungen an die Netzstabilität, das Last- und Erzeugungsmanagment sowie die Befeuerung aufstellen.[27] Die Systemdienstleistungsverordnung (SDLWindV) wurde am 3. Juli 2009 erlassen.[28]

Anlagen mit einer installierten Leistung von über 50 kW, die nur weniger als 60 % des Referenzertrages erzielen können, können von der Förderung ausgenommen werden.

Bei Neuanlagen, die mindestens zehn Jahre alte Anlagen, die im selben oder in einem angrenzenden Landkreis liegen müssen, ersetzen und deren Leistung mindestens doppelt so groß wie aber nicht fünfmal größer als die Altanlage sind, erhöht sich die Anfangsvergütung um 0,5 Cent/kWh (so genanntes Repowering, § 30 [58] EEG).

In jedem Folgejahr vermindert sich die Mindestvergütung für in diesem Jahr neu installierte Anlagen um jeweils 1 % (EEG 2004: 2 %) im Vergleich zum Vorjahr. Damit soll ein Anreiz zur technischen Weiterentwicklung gegeben und eine zeitlich unbegrenzte Förderung von Windkraftanlagen (wie bei den anderen Quellen regenerativer Energie) verhindert werden.

Windkraft Offshore



Erste deutsche offshore-Windkraftanlage im Windpark alpha ventus

Offshore-Anlagen sind Windenergieanlagen, die in einer Entfernung von mindestens drei Seemeilen gemessen von der Küstenlinie aus seewärts errichtet werden (§ 3 [59] Ziff. 9 EEG). Bis zum Jahr 2007 lagen 18 Genehmigungen für den Bau und Betrieb von Offshore-Windparks vor, jedoch wurde bis 2009 kein Vorhaben realisiert.[29] Aus diesem Grunde wurden im EEG 2009 die Sätze für die Anfangsvergütung deutlich angehoben. Für Strom aus Windkraftanlagen im Meer (Windenergie Offshore, § 33 [61] EEG) beträgt die in den ersten zwölf Jahren gezahlte Anfangsvergütung 13 Cent/kWh (EEG 2004: 8,74 Cent/kWh), bei bis zum 31. Dezember 2015 in Betrieb gegangenen Anlagen 15 Cent/kWh. Die anschließend zu zahlende Grundvergütung beträgt 3,5 Cent/kWh (EEG 2004: 5,95 Cent/kWh). Der Zeitraum der Anfangsvergütung verlängert sich in Abhängigkeit der Entfernung der Anlage zum Festland (ab einer Entfernung von 12 Seemeilen Verlängerung um 0,5 Monate je abgeschlossener zusätzlicher Seemeile) und der Wassertiefe (ab einer Wassertiefe von 20 Metern Verlängerung um 1,7 Monate je abgeschlossenem zusätzlichen Meter). Beschränkungen bei der Genehmigung von Offshore-Anlagen bestehen primär zugunsten des Naturschutzes und der Sicherheit der Schifffahrt.

Eine Degression setzt bei Offshore-Anlagen erst ab 2015 ein, beträgt dann aber 5 % jährlich (EEG 2004: ab 2008 mit 2 %).

Photovoltaikanlagen

Die in den jeweiligen Jahren gültigen Einspeisevergütungen können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden (Angaben in Netto-Preisen).[30] [31] [32] Die Vergütung richtet sich nach dem Jahr der Inbetriebnahme und bleibt über 20 Jahre konstant. Kommen die nach Leistung gestaffelten Sätze zu Anwendung (Anlagen auf Gebäuden …), erfolgt die Vergütung anteilig: Bei einer im Jahr 2009 errichteten Dachanlage mit einer Spitzenleistung von 40 kW wird für 30 kW eine Vergütung von 43,01 Cent/kWh gezahlt, für die restlichen 10 kW werden 40,91 Cent/kWh gezahlt, und zwar bis Ende 2029.



Photovoltaikanlage auf landwirtschaftlichem Gebäude

Anlagentyp	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	ab 1. Juli 2010 [33]
auf einem Gebäude oder einer Lärmschutzwand								
bis 30 kW	57,4	54,53	51,80	49,21	46,75	43,01	39,14	32,88
30 kW bis 100 kW	54,6	51,87	49,28	46,82	44,48	40,91	37,23	31,27
ab 100 kW	54,0	51,30	48,74	46,30	43,99	39,58	35,23	29,59
ab 1000 kW	54,0	51,30	48,74	46,30	43,99	33,00	29,37	26,14
Freiflächenanlagen (leistungsunabhängig)								
vorbelastete Flächen	45,7	43,4	40,6	37,96	35,49	31,94	28,43	25,30
Ackerflächen	45,7	43,4	40,6	37,96	35,49	31,94	28,43	-
Sonstige Freiflächen	45,7	43,4	40,6	37,96	35,49	31,94	28,43	24,16
Selbstverbrauchsvergütung	-	-	-	-	-	25,01	22,76	20,88-17,59
Zuschlag für Fassadenanlagen	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	-	-	-

|+ Leistungsabhängige Fördersätze

Bundesumweltminister Norbert Röttgen will die Förderung von Solarstrom deutlich beschneiden.[34] Am 6. Mai 2010 hat deshalb der Deutsche Bundestag ein *Gesetz zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzese* in dritter Lesung beschlossen. Danach wird die Vergütung für Dach- und Freiflächenanlagen 2010 weiter gesenkt und die Vergütung für Anlagen auf ehemaligen Ackerflächen ganz gestrichen (siehe Tabelle). Ursache sind die weit überplanmäßig gestiegenen Kosten der Solarstromförderung. Statt eingeplanten 2,3 Mrd. Euro werden beispielsweise die 2009 neu installierten Solarstromanlagen gemäß dem Verbraucherzentrale Bundesverband den Stromverbrauchern Mehrkosten von über 10 Mrd. Euro über 20 Jahre verteilt verursachen.[35]

Mit dem EEG 2009 wurde erstmals eine Vergütung für selbst verbrauchten Strom aus Gebäudeanlagen bis 30 kW_p eingeführt (Selbstverbrauchsvergütung, § 33 [61] EEG), für den nunmehr der Selbstnutzer 25,01 Cent/kWh (für 2010 installierte Anlagen: 22,76 Cent/kWh) erhält, das heißt seine alternativ zu beziehende Einspeisevergütung wird um 18 Cent/kWh (2010: 16,38 Cent/kWh) gekürzt. Im Ergebnis wird dem Selbstverbraucher von der gesetzlichen Vergütung ein geringerer Betrag abgezogen, als er sich bei einem Strombezug von einem Energieversorgungsunternehmen erspart, wodurch der Gesetzgeber einen Anreiz für die Eigennutzung schaffen wollte.[36] Risiko bei dieser Förderung des Eigenverbrauchs ist, dass sie z.B. von Hermann Scheer, einem der

"Väter" des EEG als rechtlich kritisch angesehen wird. So schreibt er: "Die im EEG 2009 eingeführte Regelung zur Förderung des Eigen- bzw. Direktverbrauchs sehe ich aus Rechtsgründen kritisch. Denn sie widerspricht der Grundphilosophie und Systematik des EEG im Sinne einer Kaufpflicht für das Umweltgut Erneuerbare-Energien-Strom. Nur wegen des formalen Kriteriums (keine Einbeziehung des öffentlichen Haushalts in die Finanzierungsförderung) ist sie nicht sofort als Sonderabgabe (was nicht verfassungskonform wäre) einzustufen. Keinesfalls darf sie ausgeweitet werden und muss bei einer neuen Größendifferenzierung auf die kleinste Klasse (0-10 kW) beschränkt bleiben."[37]

Bei Fassadenanlagen (genauer: Anlagen, die nicht auf dem Dach oder als Dach eines Gebäudes angebracht sind und einen wesentlichen Bestandteil eines Gebäudes bilden) gab es bis Ende 2008 einen Zuschlag von 5 Cent/kWh, da mit einem geringeren Ertrag zu rechnen ist als bei Dachanlagen[38] , das EEG 2009 hat diesen Zuschlag aber nicht übernommen.

Für Solaranlagen werden günstige KfW-Kredite angeboten, wodurch kein Eigenkapital für die Anlagenkosten eingesetzt werden muss. Der Betreiber einer Solaranlage kann sich zudem als Unternehmer beim Finanzamt einstufen lassen und die auf die Investitionskosten anfallende Umsatzsteuer als Vorsteuer geltend machen (d.h. er kann sie mit von anderen im Rahmen seiner Stromerzeugung vereinnahmten Umsatzsteuer verrechnen oder erhält sie vom Finanzamt erstattet).

Die Bedingungen des EEG 2000

Nachdem die nachfolgenden Gesetze jeweils die nach vorherigem Recht festgelegten Vergütungsbedingungen für bereits errichtete Anlagen aufrechterhalten haben, können insoweit diese früheren Bedingungen noch von Bedeutung sein.

Für Strom aus Photovoltaikanlagen war ab 2002 eine Vergütung in Höhe von mindestens 48,1 Cent pro Kilowattstunde zu zahlen. Auf Grund der im EEG vorgesehenen Degression der Vergütungssätze für Strom aus solarer Strahlungsenergie wurde ab dem 1. Januar 2002 jährlich um fünf Prozent weniger für neu zu errichtende Anlagen vergütet. Zusätzlich war die geförderte Leistung auf 350 MW_p beschränkt, d. h. nach dem Jahr, in dem die insgesamt in Deutschland installierte Leistung diesen Wert überstieg, wurde für Neuanlagen keine Vergütung mehr gezahlt. Die Summe von 350 MW_p ergab sich aus den 300 MW_p, die durch das 100.000-Dächer-Programm für Solarstrom gefördert wurden, sowie dem Anfangsbestand von 50 MW_p. Die 350 MW_p-Grenze wurde 2003 überschritten, d. h. ab 2004 wäre keine Vergütung mehr gezahlt worden. Da sich die Novelle des EEG verzögerte, drohte ein massiver Einbruch im Photovoltaik-Markt. Um dem zu begegnen, wurden am 22. Dezember 2003 schließlich im 2. Gesetz zur Änderung des EEG (das sog. Photovoltaik-Vorschaltgesetz) die Änderungen aus der noch in Arbeit befindlichen EEG-Novelle vorgezogen.

Die Vergütungssätze des EEG 2000 im Überblick:

- Strom aus Windenergie zwischen 6,19 und 9,10 Cent/kWh
- Strom aus Photovoltaikanlagen
  - für Anlagen, die 2001 in Betrieb gingen (auch Altanlagen): mind. 50,6 Cent/kWh
  - für Anlagen, die 2002 in Betrieb gehen: mind. 48,1 Cent/kWh
- Strom aus Wasserkraft mind. 7,67 Cent/kWh (Ausnahme: Pumpspeicherkraftwerke) (für Wasserkraftwerke unter 500 kW gilt ab 2008 eine Ausnahme, das Kraftwerk darf die Umwelt an dem Fluss, an dem es installiert ist, nicht schädigen)
- Strom aus Biomasse zwischen 8,70 und 10,23 Cent/kWh
- Strom aus Geothermie zwischen 7,16 und 8,95 Cent/kWh

Degressionssätze: Seit dem 1. Januar 2002 wurden die Vergütungssätze für neu in Betrieb gehende Anlagen gesenkt:

- Für Strom aus Windkraft um 1,5 %
- Für Strom aus Sonnenenergie um 5 %

- Für Strom aus Biomasse um 1 %

Kosten und Nutzen

Die im EEG festgelegten Vergütungen werden von den Energieversorgungsunternehmen gezahlt. Die dadurch entstehenden Mehrkosten werden häufig als Grund angegeben für steigende Strompreise, gegenüber einer reinen Versorgung mit Strom aus nicht erneuerbaren Energiequellen. Gemäß den Angaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) betrugen im Jahr 2007 diese sog. Differenzkosten 4,3 Mrd. Euro und im Jahr 2008 4,5 Mrd. Euro (was ca. 1,1 Cent je kWh bzw. ca. 5 % des Preises entspricht).[39] Die Kosten stiegen 2010 vor allem deswegen an, da die Wirtschaftskrise zu niedrigeren Strompreisen an der Börse führte und die Differenzkosten des erneuerbaren zu konventionellem Strom daher relativ höher waren, und zum anderen, da Netzentgelte miteinberechnet werden, die bislang gesondert ausgewiesen wurden. Vor dem Hintergrund der Preiserhöhungen der großen Stromversorger zu Jahresbeginn 2010 bezeichnete daher der Bund der Energieverbraucher es als „zynisch“, dass die Stromwirtschaft die Erneuerbaren Energien in den Fokus der Strompreisdiskussion rücke. „Die Verbraucher wünschen sich mehr Erneuerbare Energien und sind auch bereit, dafür zu zahlen. (...) Die wahren Schuldigen an der Preisentwicklung sind indes die Stromkonzerne selbst. Sie bereichern sich mit ungerechtfertigten Mehrerlösen auf Kosten ihrer Kunden.“ Die Stromkonzerne hätten im Jahr 2009 von jedem Haushaltskunden rund 150 Euro mehr kassiert als für die gleiche Menge Strom drei Jahre zuvor. Davon seien gestiegene Beschaffungskosten sowie Steuern und Abgaben bereits abgezogen. „Für diese intransparenten und nicht nachvollziehbaren Preissteigerungen haben die Verbraucher keinerlei Gegenleistung erhalten. Das Geld floss voll und ganz in die Gewinnmarge der Konzerne.“[40] [41]

Differenzkosten werden als Maß für die durch die Förderung von EEG-Strom entstehenden Zusatzkosten als Differenz zwischen den jährlichen Vergütungszahlungen und dem Marktwert von EEG-Strom, welcher über den durchschnittlichen Stromhandelspreis bestimmt wird, ermittelt und können von den Energieversorgungsunternehmern gesondert auf den den Stromabnehmern erteilten Abrechnungen ausgewiesen werden (§ 53 [23], § 54 [74] EEG 2009).[42] Die Differenzkosten entsprechen der EEG-Umlage im Sinn der AusglMechVO.[43] Nicht berücksichtigt wird dabei, dass für Strom aus erneuerbaren Energien beim Endverbraucher höhere Preise erzielt werden können.

Nach Erklärungen des BMU stehe diesen Kosten ein erheblicher Nutzen gegenüber: Durch die Verdrängung von teurem Strom werde der Großhandelsstrompreis gesenkt. Dadurch seien etwa 5 Mrd. Euro im Jahr 2006 eingespart worden.[44] Da sich der Kraftwerkspark aber langfristig dem Ausbau der erneuerbaren Energien anpasse und somit die Überkapazitäten zurückgingen, ist anderen Wissenschaftlern zufolge dieser Effekt strittig.[45] Weiter seien laut BMU Brennstoffimporte im Wert von 0,9 Mrd. € eingespart worden, außerdem trage das EEG zum Klimaschutz und zur Luftreinhaltung bei. 2006 seien durch das EEG beispielsweise der Ausstoß von 45 Millionen Tonnen CO_2 verhindert worden. Dadurch führe das EEG zu einer Verringerung von externen Kosten, wie unter anderem durch die globale Erwärmung. Die vermiedenen Folgeschäden werden auf 3,4 Mrd. € geschätzt. Laut BMU ergab sich für 2006 insgesamt ein volkswirtschaftlicher Nutzen des EEG von rd. 9,3 Mrd. €.[46] [47]

Einige Ökonomen vertreten hingegen die Ansicht, dass der Emissionshandel das wirtschaftlich effizientere Instrument zur Reduzierung von Klimaschäden sei. Das BMU weist diese Kritik jedoch deutlich zurück und verweist auf die Defizite des Emissionshandels.[48]

Kürzung der Fördersätze für Solarstrom 2010

Die Solarförderung macht den größten Kostenanteil an der EEG-Umlage aus und wird daher kontrovers diskutiert. Aufgrund der weltweit, vor allem in Asien, gesunkenen Preise für Solaranlagen wird auch von der Erneuerbaren-Branche selbst Spielraum für eine geringere Förderung gesehen. CDU/CSU und FDP haben im Mai 2010 beschlossen, die EEG-Förderumlage für Solaranlagen über die ohnehin gesetzlich vorgesehene Kürzung hinaus um weitere 16% zu kürzen - was sich mit der regulären Kürzung zusammen auf eine Verringerung um 30%

innerhalb eines Jahres summiert - und Freiflächenanlagen auf Ackerflächen überhaupt nicht mehr zu fördern, “um zu verhindern, daß Ackerböden zunehmend der landwirtschaftlichen Nutzung entzogen werden“. [49]

In zahlreichen Berechnungen wurde versucht, die Höhe einer von der Industrie verkraftbaren zusätzlichen Degression der Solarstromtarife zu ermitteln. Während einige Verbraucherverbände bis zu 30 Prozent zusätzliche Kürzung fordern und das Fachblatt Photon eine Kürzung von 20 Prozent für verkraftbar hält und sogar meint, “25 Prozent weniger auf Ackerflächen würden die Spreu vom Weizen trennen“, [50] sind nach Ansicht der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen nur zehn Prozent machbar. [51]

Investmentanalysten der Landesbank Baden-Württemberg (LBBW) empfehlen ihren Kunden unterdessen, auf die Aktien chinesischer Photovoltaikproduzenten zu setzen. Diese produzierten vergleichbare Qualität zu deutlich günstigeren Kosten. Hiesige Hersteller könnten durch die drohenden Einschnitte bei der Einspeisevergütung für Solarstrom „aus dem Rennen geschossen“ werden: „Absenkungen im zweistelligen Prozentbereich bedeuten das Aus für den europäischen Produktionsstandort.“ Nach Ansicht der Analysten begünstigt eine solche Tarifkürzung die Kostenführer in Ostasien, „sie würden verstärkt Marktanteile zugewinnen“.[52]

Bei der Anhörung zur EEG-Novelle im Deutschen Bundestag am 21.04.2010 machte Dr. Wolfgang Seeliger von der LBBW darüber hinaus klar, "dass die von der Bundesregierung geplanten Mittel für Photovoltaikforschung nur ein Klacks im Vergleich zu den Unterstützungsleistungen der chinesischen Regierung für die chinesische Solarwirtschaft" seien[53] . Er befürchte, dass die deutsche Industrie großen Schaden nehmen wird, sollte es zu den geplanten Förderkürzungen kommen.[54] Prof. Eicke Weber, Direktor des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme, zeigte auf, dass eine einmalige zusätzliche Vergütungsabsenkung zwischen 6 und 10 Prozent machbar sei.[55] Alles darüber hinaus gefährde die Position Deutschlands bei der Entwicklung der Schlüsseltechnologie Photovoltaik. Aribert Peters vom Bund der Energieverbraucher stellte klar, dass die Kosten des Ausbaus der Photovoltaik aus Verbrauchersicht verkraftbar seien.[53] Der bayerische Ministerpräsident Horst Seehofer erklärte: „Eine zu abrupte und drastische Kürzung birgt die Gefahr schwerer Marktverwerfungen und bedeutet den Verlust wertvoller Arbeitsplätze in einer hochmodernen Branche.“ [56]

Vermiedene Netzentgelte

Durch dezentrale Einspeisung entsteht den Netzbetreibern eine Kostenersparnis. Verbraucherorganisationen bemängeln, dass diese dem Anlagenbetreiber und nicht dem Endkunden gutgeschrieben werden.[57] Andererseits ist das lokale Windaufkommen teilweise nur schwer planbar und regional unterschiedlich verteilt, was zu zusätzlichem Investitionsbedarf beim Ausbau des Hochspannungsnetzes (zum Beispiel: Stromtransport von den Windparks im Norden zu den Industriezentren des Südens) führen kann.

Zahlen zum EEG

In der folgenden Tabelle ist die Entwicklung der durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz geförderten Einspeisemengen und deren Vergütung aufgelistet. Die Gesamteinspeisung und Summe enthält nicht Nachholungen aus den Vorjahren, in dem durchschnittlichen Vergütungspreis je Kilowattstunde sind diese Nachholungen hingegen enthalten. Die EEG-Durchschnittsvergütung (letzte Spalte) ergibt sich aus der Gesamtsumme der Vergütungen, abzüglich der vermiedenen Netzentgelte, dividiert durch die gesamte eingespeiste Strommenge. Die Durchschnittsvergütung ist über die Jahre v.a. aufgrund höherer Anteile relativ hoch vergüteter Energiequellen (Solar und Biomasse) gestiegen. Die EEG-Quote entspricht dem Anteil EEG-geförderter Strommenge an dem nicht-privilegierten Letztverbrauch.

EEG - Energieerzeugung und Vergütungen[58]

Jahr		Wasser	Gas	Biomasse	Geo-thermie	Wind onshore	Wind offshore	Solar	Summe	Differenzkosten [46] (Mio €)	Vermiedene Netzentgelte (Mio €)	EEG-Quote	EEG-Durchschnittsvergütung (ct/kWh)
2000[59]	Strommenge[60]								10391	889		3,01 %	8,50
	Vergütung[61]								883				
2001	Strommenge	6088,3	[62]	1471,2		10509,2		76,2	18145,5	1 139		3,91 %	8,69
	Vergütung								1 577				
2002	Strommenge	6579,28	[62]	2441,95		15786,19		162,43	24977,29	1 664		5,37 %	8,91
	Vergütung	476,75		231,67		1435,34		81,71	2 226				
2003	Strommenge	5907,7	[62]	3483,6		18712,5		313,3	28417,1	1 765		6,02 %	9,16
	Vergütung	427,45		326,68		1695,88		153,67	2 604				
2004	Strommenge	4616,1	2588,6	5241	0,2	25508,8		556,5	38 511,2	2 464	33,94	8,48 %	9,29
	Vergütung	337,67	182,17	508,46	0,03	2300,48		282,65	3 611				
2005	Strommenge	4952,6	3135,6	7366,5	0,2	27229,4		1282,3	43 966,6	2 863	102,89	10,03 %	9,99
	Vergütung	364,1	219,24	795,19	0,03	2440,68		679,11	4 498				
2006	Strommenge	4923,9	2789,2	10901,6	0,4	30709,9		2220,3	51 545,2	3 537	204,65	12,00 %	10,87
	Vergütung	366,56	195,62	1337,37	0,05	2733,77		1176,8	5 810				
2007	Strommenge	5546,8	2751,1	15923,9	0,4	39713,1		3074,7	67 010	4 300[63]	270,01	15,68 %	11,36
	Vergütung	417,7	192,88	2162,13	0,06	3508,44		1597,48	7 879				
2008	Strommenge	4981,5	2208,2	18947,0	17,6	40573,7		4419,8	71 147,9	4 500[64]	298,73	17,13 %	12,25
	Vergütung	378,81	155,87	2698,74	2,64	3561,04		2218,62	9 015,72				

2009[65]	Strommenge								75 603			18,36 %	13,56
	Vergütung								9 982				
2010 [65]	Strommenge	5444	1835	26262	36	47704	654	8296	90 231		334		
	Vergütung	414	130	3951	5	4187	98	3883	12 632				

[1] Deutsches EEG hat weltweit 47 Nachahmer - Wann kommt Österreich? (http://www.solarserver.de/news/news-7230.html)

[2] BMU: Novellierte Fassung des EEG (http://www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/40508.php)

[3] Bundesgesetzblatt Teil I; S. 2633

[4] ABl EU (27. Oktober 2001) L 283, 33

[5] Volker Oschmann, Neues Recht für Erneuerbare Energien, NJW 2009, 263 – 268, 264

[6] § 16 Abs. 2 Satz 2 EEG; *Meldung von Photovoltaikanlagen an die Bundesnetzagentur* (http://www.bundesnetzagentur.de/enid/501d3f60fc4da702a29210c553ade5e5,0/Datenerhebung_EEG/EEG-Anlagenbetreiber_4xy.html) bei der Bundesnetzagentur

[7] § 8 Abs. 1 Verordnung zur Weiterentwicklung des bundesweiten Ausgleichsmechanismus (AusglMechVO) v. 17. Juli 2009, BGBl 2009 I 2001 AusglMechVO (http://www.clearingstelle-eeg.de/AusglMechV)

[8] http://www.bee-ev.de/3:333/Meldungen/2009/EEG-Umlage-steigt-Erneuerbare-Energien-sind-keine-Preistreiber.html Seite des Bundesverband Erneuerbare Energie, geladen am 7. November 2009, EEG-Umlage steigt 2010 an]

[9] www.eeg-kwk.net (http://www.eeg-kwk.net/cps/rde/xchg/eeg_kwk/hs.xsl/484.htm)

[10] BVerfGE 91, 186, 202: Kohlepfennig

[11] Altrock-Oschmann-Theobald, EEG, Erneuerbare-Energien-Gesetz, Kommentar, 2. Aufl. München 2008, Einf. Rdn. 30ff.; BGH 11. Juni 2003 DVBl. 2003, 1323

[12] Altrock-Oschmann-Theobald, EEG, Erneuerbare-Energien-Gesetz, Kommentar, 2. Aufl. München 2008, Einf. Rdn. 37-55; 56-68)

[13] Peter Salje: *Erneuerbare-Energien-Gesetz*. Kommentar. 5. Aufl. 2009, Köln und München, Carl Heyermanns Verlag, ISBN 978-3-452-26935-5, Einf. Rd. 95 ff.

[14] EuGH 13. März 2001 Rechtssache C-379/98, NJW 2001, 3695 (EuGH Urteil C-379/98 (http://curia.europa.eu/jurisp/cgi-bin/form.pl?lang=de&alljur=alljur&jurcdj=jurcdj&jurtpi=jurtpi&jurtfp=jurtfp&numaff=C-379/98&nomusuel=&docnodecision=docnodecision&allcommjo=allcommjo&affint=affint&affclose=affclose&alldocrec=alldocrec&docor=docor&docav=docav&docsom=docsom&docinf=docinf&alldocnorec=alldocnorec&docnoor=docnoor&radtypeord=on&newform=newform&docj=docj&docop=docop&docnoj=docnoj&typeord=ALL&domaine=&mots=&resmax=100&Submit=Rechercher|))

[15] http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DE:PDF Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG

[16] Lehnert-Vollprecht, Neue Impulse von Europa: Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU, ZUR 2009, 307-316, 312

[17] BVerfG 1 BvR 3076/08 v. 18. Februar 2009 (http://www.bundesverfassungsgericht.de/entscheidungen/rs20090218_1bvr307608.html)

[18] Seite des BMU, Stefan Klinski: EEG-Vergütung: Vertrauensschutz bei künftigen Änderungen der Rechtslage?, Rechtsgutachten v. 8. Mai 2009 für das BMU, S. 18 f. (http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/klinski_eeg_verguetung.pdf); Altrock-Oschmann-Theobald, EEG, Erneuerbare-Energien-Gesetz, Kommentar, 2. Aufl. München 2008, § 12 Rdn. 51-53

[19] Martin Maslaton: *Die Entwicklung des Rechts der Erneuerbaren Energien 2007/2008*. LKV 2009, 158f

[20] Peter Salje: *Erneuerbare-Energie-Gesetz*. Kommentar. 5. Aufl. 2009, Köln und München, Carl Heyermanns Verlag, ISBN 978-3-452-26935-5, § 11 Rdn. 35

[21] Clearingstelle EEG des BMU: Verordnung zur Weiterentwicklung des bundesweiten Ausgleichsmechanismus (AusglMechV) (http://www.clearingstelle-eeg.de/AusglMechV/Entwurf)

[22] Bundestags-Drucksache 16/8148, Anlage 3, Stellungnahme des Bundesrats, Begründung zu Ziff. 24, S. 85,92; hierzu: Peter Salje: *Erneuerbare-Energien-Gesetz*. Kommentar. 5. Aufl. 2009, Köln und München, Carl Heyermanns Verlag, ISBN 978-3-452-26935-5, § 64 Rdn. 36

[23] Die Tabellen gehen im Wesentlichen auf den vom BMU veröffentlichen *Vergleich der EEG-Vergütungsregelungen für 2009* zurück, (http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eeg_verguetungsregelungen.pdf)

[24] Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von flüssiger Biomasse zur Stromerzeugung (Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung -BioSt-NachV) BGBl I 2174 (http://www.bgbl.de/Xaver/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&bk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//*[@attr_id='bgbl109s2174.pdf'])

[25] [[BMU (http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/44656/4593/)]: Strom aus Biomasse muss nachhaltig erzeugt sein]

[26] Peter Salje: *Erneuerbare-Energien-Gesetz*. Kommentar. 5. Aufl. 2009, Köln und München, Carl Heyermanns Verlag, ISBN 978-3-452-26935-5, § 29 Rdn. 21

[27] Peter Salje: *Erneuerbare-Energien-Gesetz*. Kommentar. 5. Aufl. 2009, Köln und München, Carl Heyermanns Verlag, ISBN 978-3-452-26935-5, § 29 Rdn. 30

[28] Verordnung zu Systemdienstleistungen durch Windenergieanlagen (Systemdienstleistungsverordnung - SDLWindV) (http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/sdlwindv/gesamt.pdf) (BGBl. 2009 I S. 1734)

[29] BMU, EEG-Erfahrungsbericht 2007 vom 7. November 2007, Berlin 2007, S. 112 f.

[30] *Mindestvergütungssätze nach dem neuen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 21. Juli 2004.* Veröffentlichung des BMU mit den geplanten Sätzen bis 2013 (http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/verguetungssaetze_nach_eeg.pdf)

[31] *Vergleich der EEG-Vergütungsregelungen für 2009* (http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eeg_verguetungsregelungen.pdf)

[32] Seite der Bundesnetzgagentur, abgerufen am 13. November 2009, Degressions- und Vergütungssätze für solare Strahlungsenergie nach den §§ 32 und 33 EEG für das Jahr 2010 (http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/17479.pdf)

[33] Beschluss des Deutschen Bundestages (17. Wahlperionde) zur Drucksache 17/1147 mit angenommenen Änderungsanträgen

[34] http://www.photon.de/news_archiv/details.aspx?cat=News_Archiv&sub=Politik&pub=1&parent=2235

[35] Die künftige Förderung von Solarstrom über das Erneuerbare-Energien-Gesetz, Hintergrundpapier des Verbraucherzentrale Bundesverbandes, Januar 2010 (http://www.vzbv.de/mediapics/eeg_gesetz_solarstrom_foerderung_hintergrund_01_2010.pdf)

[36] Bundestags-Drucksache 16/8148, S, 61 (Einzelbegründung zu § 33 Abs. 3 des Regierungsentwurfs)

[37] Vorschläge von Hermann Scheer zur Weiterentwicklung der Solarstromförderung, Januar 2010 (http://www.eurosolar.de/de/index.php?option=com_content&task=view&id=1281&Itemid=338)

[38] fotovoltaik: Information zur Einspeisevergütung (http://www.fotovoltaikshop.de/eeginfo.php), abgerufen am 21. August 2009

[39] BMU, *Erneuerbare Energien in Zahlen*,Stand: Juni 2009, Seite 33, abgerufen 11. September 2009, (http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_bf.pdf)

[40] Strompreise: Experten bringen Klarheit über Kostenfaktor Erneuerbare Energien (http://www.unendlich-viel-energie.de/de/detailansicht/article/4/strompreise-experten-bringen-klarheit-ueber-kostenfaktor-erneuerbare-energien.html)

[41] Seite des Bundesverband Erneuerbare Energie, abgerufen am 7. November 2009, EEG-Umlage steigt 2010 an (http://www.bee-ev.de/3:333/Meldungen/2009/EEG-Umlage-steigt-Erneuerbare-Energien-sind-keine-Preistreiber.html)

[42] BMU, *Strom aus Erneuerbaren Energien, Zukunftsinvestition mit Perspektiven*, EEG-Erfahrungsbericht 2007 und EEG 2009 im Überblick, 1. Aufl. 2009, Seite 39, abgerufen 9. September 2009, (http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/strom_aus_ee.pdf)

[43] § 8 Abs. 1 Verordnung zur Weiterentwicklung des bundesweiten Ausgleichsmechanismus (AusglMechVO) v. 17. Juli 2009, BGBl 2009 I 2001, AusglMechVO (http://www.clearingstelle-eeg.de/filemanager/active?fid=710)

[44] Sven Bode, Helmuth Groscurth: *Zur Wirkung des EEG auf den „Strompreis“* (http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Kosten/HWWA_EEG_drueckt_Strompreis.pdf) HWWA Discussion Paper, 2006, (PDF)

[45] Wissen, R.; Nicolosi, M.: Anmerkungen zur aktuellen Diskussion zum Merit-Order Effekt der erneuerbaren Energien (PDF) (http://www.ewi.uni-koeln.de/fileadmin/user/WPs/ewiwp0703.pdf)

[46] Bundesumweltministerium (2007): *Erfahrungsbericht 2007 zum Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG)* (http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/erfahrungsbericht_eeg_2007.pdf) (PDF)

[47] Wolfram Krewitt, Barbara Schlomann: *Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern* (http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Externe Kosten/BMU_ee_und_externe_kosten_2006.pdf) Gutachten im Rahmen von Beratungsleistungen für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2006 (PDF)

[48] BMU-Stellungnahme zur erneuten RWI-Kritik am EEG: Altbekannt und längst widerlegt, Oktober 2009 (http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/45090/40870/) aufgerufen am 16. November 2009; Staiß, F.; Kratzat, M. (ZSW); Nitsch, J.; Lehr, U. (DLR); Edler, D. (DIW); Lutz, C. (GWS): Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte – Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Juni 2006 (http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/arbeitsmarkt_ee_lang.pdf), S. I-8 bzw S. 14 der pdf-Zählung

[49] Gesetzentwurf der CDU/CSU- und FPD-Fraktion zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes vom 23.03.2010 (http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/17/011/1701147.pdf) 155 kB, abgerufen am 15.Mai 2010

[50] Pressemitteilung des Solarstrom-Magazins Photon vom 20. Januar 2010 (http://www.photon.de/presse/mitteilungen/PM_Anpassung_EEG-Verguetung_20012010.pdf)22 kB, abgerufen am 15.Mai 2010

[51] *Schwarz-Gelb zieht den Solarstecker*, Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen zur EEG-Novelle am 5. Mai 2010 (http://www.gruene-bundestag.de/cms/energie/dok/338/338659.schwarzgelb_zieht_den_solarstecker.html), abgerufen am 15.Mai 2010

[52] Informationsdienst für Erneuerbare Energien (http://www.unendlich-viel-energie.de/fileadmin/content/Service/Renews/ReNewsJan2010.pdf)

[53] *Zur Anhörung zur EEG-Photovoltaik-Novelle*, Kommentar von Hans-Josef Fell, Grünen-MdB, Autor des EEG 2000 Entwurfs (http://www.hans-josef-fell.de/cms1/index.php?option=com_content&task=view&id=218&Itemid=1) abgerufen am 28. April 2010

[54] Antworten von Dr. Wolfgang Seeliger, Institutional Equity Research (4142/H), Landesbank Baden-Württemberg (http://www.bundestag.de/bundestag/ausschuesse17/a16/Oeffentliche_Anhoerungen/11__Sitzung/17_16_56-C__neu_.pdf) 786 kB, abgerufen am 28. April

[55] Studie des Fraunhofer ISE im Auftrag des Bundesverbands Solarwirtschaft: Ermittlung einer angemessenen zusätzlichen Absenkung der Einspeisevergütung für Solarstrom im Jahr 2010 (http://www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen/studie-des-fraunhofer-ise-im-auftrag-des-bundesverbands-solarwirtschaft-ermittlung-einer-angemessenen-zusaetzlichen-absenkung-der-einspeiseverguetung-fuer-s 437 kB, abgerufen am 16. Mai 2010

[56] Spiegel-Artikel vom 03.3.10

[57] Stellungnahme der VZBV zum EEG (http://www.vzbv.de/mediapics/eeg_erfahrungsbericht_bmu_stn_16_05_2007.pdf)

[58] Sämtliche Zahlen vom BDEW: 2000 bis 2008: EEG-Jahresabrechnungen (http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_EEG-Jahresabrechnungen), 2009: EEG-Monatsprognosen (http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_EEG-Monatsprognosen)
[59] Rumpfjahr vom 1. April 2000 bis 31. Dezember 2000
[60] in GWh
[61] in Mio €
[62] Wasser incl. Gas
[63] BMU, *Erneuerbare Energien in Zahlen*,Stand: Juni 2009, Seite 33, abgerufen 11. September 2009, (http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_bf.pdf)
[64] BMU, *Erneuerbare Energien in Zahlen*,Stand: Juni 2009, Seite 33, abgerufen 11. September 2009, (http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_bf.pdf)
[65] Prognose der Übertragungsnetzbetreiber (http://www.eeg-kwk.net)

Ökologische Kritik

Es gibt immer wieder Kritik, dass durch das EEG in der Summe aller Verursacher keine Einsparung von CO_2 erfolge, da das EEG nicht höhere Einsparungen bewirken könne, als der Emissionshandel ohnehin vorsehe. Somit würden durch diesen Fehler im System des Emissionshandels de facto keine Einsparungen erfolgen.[1] Nachdem in der Presse berichtet worden war, dass auch das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung DIW zu einem ähnlichen Ergebnis gelangt sei[2] , widersprachen die Autoren dieser Studie in einer Presseerklärung mit der Feststellung, dass ihrer Meinung nach das EEG ein äußerst wirksames Instrument zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sei.[3]

Ungeachtet dessen wird von anderen, wie von Christoph M. Schmidt, Mitglied des Sachverständigenrats zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, gerügt, dass die unterschiedlichen Systeme lediglich zu einer Verlagerung der CO_2-Belastung führen würden.[4]

Das EEG fördert auch die Stromgewinnung aus kleinen Wasserkraftanlagen. Dadurch kam es zu einer Vermehrung von Kleinturbinen in Bächen und kleinen Flüssen, welche als Querverbauungen die Durchgängigkeit der Gewässer behindern. Gerade bei Kleinanlagen werden auch kaum Restwasser-Umleitungen und Fischtreppen gebaut. Nach Auffassung von Fischereiverbänden bewirken Kleinwasserkraftwerke dadurch ökologischen Schaden in den Fließgewässern.[5] Demgegenüber halten andere ein ökologisch verträgliches Nebeneinander von Fischerei und Wasserkraftnutzung durch Kleinanlagen für möglich, wie auch in einem Gutachten des Bundesumweltministeriums vertreten wurde.[6]

Arbeitsmarkteffekte

Neben seinen ökologischen Zielsetzungen wird das EEG explizit auch als strategische Industriepolitik verstanden, um Arbeitsplätze zu schaffen und neue Märkte und Exportbereiche zu erschliessen. Die Zahl der Beschäftigten in der Erneuerbare-Energien-Industrie hat sich von 2006 bis 2008 nahezu verdoppelt. Die Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien im Jahr 2008 betrug 278.000 Arbeitsplätze.[7] Im Jahr 2020 sollen nach Prognosen des BMU über 400.000 Menschen in Deutschland im Bereich Erneuerbare Energien beschäftigt werden. Erneuerbare Energien sind dezentral verteilt und sind daher arbeitsintensiver als zentrale Grosskraftwerke wie bei Kohle und Atom, weswegen sie bei gleicher Produktionsmenge weitaus mehr Arbeitsplätze schaffen als die konventionelle Energieproduktion.[8]

Einige Ökonomen sind der Ansicht, die EEG-Mehrkosten würden Arbeitsplätze v.a. in der energieintensiven Industrie gefährden. Ebenso wird angemahnt, dass strategische Industriepolitik selten zu Arbeitsplatzgewinnen führe.[9] Allerdings sind die meisten Industriebranchen von der EEG-Umlage ausgenommen, weswegen für sie gar keine Mehrkosten entstehen. Zudem ist auf die Vermeidung externer Kosten und die preissenkende Wirkung der Erneuerbaren Energien auf den Strompreis an der Börse zu verweisen, wodurch sich die volkswirtschaftliche Gesamtrechnung der Erneuerbaren Energien positiv darstelle[48] , siehe auch Kosten erneuerbarer Energien.

Das EEG stützt die Anlagenentwicklung und -produktion in Deutschland, wodurch auch technologische Fortschritte entstehen, die Exportmärkte erschliessen und dadurch die internationale Wettbewerbsposition verbessern. So gelten

die Produzenten von Windkraft- und Biogasanlagen in Deutschland als weltweit führend mit steigenden Exportquoten (Biogas: knapp 10 % Exportquote 2005[10] , Windkraftanlagen: circa 60 % Exportanteil[11]).

Beurteilung

Das Mindestpreissystem des EEG gilt heute als weltweit erfolgreichstes Instrument zur Förderung Erneuerbarer Energien. Mehr als 40 Länder auf der ganzen Welt haben sich das EEG zum Vorbild für eigene Gesetze genommen, davon alleine 18 in der EU. Damit ist das EEG das wohl meistkopierte Energiegesetz der Welt. Der Erfolg der Erneuerbaren Energien z.B. in Spanien und Dänemark basiert auf einem ähnlichen Mindestpreissystem wie in Deutschland.[12]

Mit anderen Instrumenten wurden eher enttäuschende Erfahrungen gesammelt. Beim Quotenmodell beispielsweise setzt der Staat eine Quote an Erneuerbaren Energien fest, die von den Energieversorgern produziert werden muss. Um die Einhaltung der Verpflichtung zu überprüfen, werden dann für erneuerbar erzeugten Strom Zertifikate vergeben, die von den Energieversorgern untereinander gehandelt werden können. Beim Ausschreibungsmodell dagegen wird eine bestimmte Menge an Regenerativstrom ausgeschrieben, der Gewinner der Ausschreibung erhält eine befristete Abnahmegarantie.

Beide Ansätze haben sich als weniger wirksam und wettbewerbsfreundlich erwiesen, wie auch eine Studie des Massachusetts Institute of Technology (MIT) bescheinigt.[13] In Ländern mit solchen Systemen gibt es aufgrund mangelnder Investitionssicherheit meist keine eigene Herstellerindustrie, und die Kosten für den Ausbau der Erneuerbaren Energien sind hoch, weil das erhöhte Investitionsrisiko in die Preise einkalkuliert wird (z.B. Großbritannien, Italien). Wegen mangelnden Erfolgs haben daher mehrere Länder, wie z.B. Irland, inzwischen auf Mindestpreissysteme nach deutschem Vorbild umgestellt. Kein Wunder, dass auch das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), die EU-Kommission und die Internationale Energie-Agentur (IEA) das EEG als hoch wirksam und wirtschaftlich effizient loben.[14]

Die Financial Times Deutschland urteilte am 17.10.2007: „Das EEG ist eine der raren Erfolgsgeschichten der rot-grünen Koalition, die über die Parteigrenzen hinweg noch heute breite Zustimmung findet. Es macht Deutschland zum führenden Industriestaat beim Ausbau einer alternativen Energieversorgung.“

Siehe auch

- Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
- Clearingstelle EEG
- Energiepolitik
- Energiewirtschaft
- Erneuerbare Energie
- Energiewirt

Literatur

Kommentare, Monografien

- Martin Altrock, Volker Oschmann, Christian Theobald: *EEG. Erneuerbare-Energien-Gesetz. Kommentar*. 2. Auflage. C.H. Beck, München 2008, ISBN 978-3-406-56311-9
- Steffen Dagger: Energiepolitik & Lobbying: *Die Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) 2009*, Band 12, Reihe: Ecological Energy Policy, Ibidem-Verlag, Stuttgart 2009, ISBN 978-38382-0057-6
- Sven Geitmann: *Erneuerbare Energien und alternative Kraftstoffe.* 2. Auflage. Hydrogeit Verlag, Oberkrämer 2005, ISBN 3-937863-05-2
- Jan Reshöft, Sascha Steiner, Jörg Dreher: *Erneuerbare Energien-Gesetz. Handkommentar*. 2. Auflage. Nomos, Baden-Baden 2005, ISBN 3-8329-0986-9
- Peter Salje: Erneuerbare-Energien-Gesetz, Kommentar. 5. Aufl. 2009, Köln und München, Carl Heyermanns Verlag, ISBN 978-3-452-26935-5
- Markus Weck: *Die garantierte Einspeisevergütung für Strom nach dem Gesetz über den Vorrang erneuerbarer Energien – Anwendungsprobleme, europa- und verfassungsrechtliche Fragen*. Peter Lang, Frankfurt am Main 2004, ISBN 3-631-52182-0

Aufsätze

- Broch, Uwe / Krutisch, Dominic, *Das neue Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)*, in: Kommunalwirtschaft 2004, Sonderheft Oktober 2004, S. 32 ff.
- Broch, Uwe / Krutisch, Dominic, *Die Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)*, in: Kommunalwirtschaft 11/2004, S. 649 ff.
- Müller, Thorsten, *Das novellierte Erneuerbare-Energien-Gesetz*, in: RdE 2004, S. 237 ff.
- Müller, Thorsten / Oschmann, Volker, *Das Verdikt der Verfassungswidrigkeit – ein unzureichender Ersatz für Argumente im politischen Meinungsstreit – Anmerkung zur Lobbyarbeit im Gesetzgebungsverfahren am Beispiel der Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes*, in: Zeitschrift für Gesetzgebung (ZG), 22. Jg. (2004), S. 355-364.
- Oschmann, Volker / Müller, Thorsten, *Neues Recht für Erneuerbare Energien – Grundzüge der EEG-Novelle*, in: ZNER 2004, S. 24 ff.
- Oschmann, Volker, *Die Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes,* in: NVwZ 11/2004, S. 910 ff.
- Oschmann, Volker, *Neues Recht für Erneuerbare Energien*, NJW 2009, 263 – 268
- Oschmann, Volker / Sösemann, Fabian, *Erneuerbare Energien im deutschen und europäischen Recht – Ein Überblick,* in: ZUR 1/2007, S. 1 ff. (http://www.zeitschrift-fuer-umweltrecht.de/zur/hefte/Aufsatz_07_01.pdf)
- Reshöft, Jan, *Zur Novellierung des EEG – was lange wird, wird endlich (gut)*, in: ZNER 2004, S. 240 ff.
- Wernsmann, Philipp, *Das neue EEG - Auswirkungen auf Biogasanlagen*, in Zeitschrift für Agrar- und Umweltrecht 2008, S. 329 ff.

Weblinks

- Öffentliche Anhörung zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes am 21.04.2010, Deutscher Bundestag, Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 11. Sitzung (http://www.bundestag.de/bundestag/ausschuesse17/a16/Oeffentliche_Anhoerungen/11__Sitzung/index.html) abgerufen am 28. April 2010
- Umfangreiche Hintergrundinformationen zur Bilanz des EEG (http://www.unendlich-viel-energie.de/eeg)
- Volltext des EEG 2009 bei juris (http://bundesrecht.juris.de/eeg_2009/index.html)
- Portal "Kosten" bei der Agentur für Erneuerbare Energie (http://www.unendlich-viel-energie.de/de/wirtschaft/kosten.html)
- Bund der Energieverbraucher zu Solarförderung (http://www.energieverbraucher.de/de/Erneuerbare/Erneuerbare/Das-EEG__510/ContentDetail__10302)
- Kostenberechnungen zu Solarstom vom Bundesverband der Verbraucherzentralen (http://www.vzbv.de/mediapics/eeg_gesetz_solarstrom_foerderung_hintergrund_01_2010.pdf)
- Volltext des EEG 2004 im Bundesanzeiger (http://217.160.60.235/BGBL/bgbl1f/bgbl104s1918.pdf) (Nur-Lese-PDF; 152 kB)
- BMU-Seite über das EEG 2009 (http://www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/40508.php)
- Info-Portal des Bundesumweltministeriums zum EEG (http://www.erneuerbare-energien.de)
- Internetpräsenz der Clearingstelle EEG nach § 19 EEG (http://www.clearingstelle-eeg.de)
- www.eeg-aktuell.de Seite des Bundesverbandes für Windenergie die den Novellierungsprozess 2008 dokumentiert (http://www.eeg-aktuell.de/)
- www.biomassestrom-nachhaltigkeitsverordnung.de: Info über die neue Nachhaltigkeitsverordnung (http://www.biomassestrom-nachhaltigkeitsverordnung.de/)

Referenzen

[1] Spiegel-Online: Windräder bringen nichts für CO2-Ziel (http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,606532,00.html)

[2] Der Spiegel: Klimawirkung des EEG verpufft (http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-67768077.html)

[3] http://www.diw.de/de/diw_01.c.100319.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen.html?id=diw_01.c.343306.de Pressemitteilung DIW vom 17. November 2009; siehe auch (http://www.pressrelations.de/new/standard/dereferrer.cfm?r=390466)

[4] Der Spiegel: Ökonomisch höchst ineffizient (http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-68073961.html)

[5] Seite Bund Naturschutz: Landesfischereiverband gegen weiteren Ausbau der Wasserkraft (http://www.bund-naturschutz.de/uploads/media/LFV_PM_Masterplan_Wasserkraft_19_11_2009_-1.pdf) abgerufen am 4. Dezember 2009

[6] Seite der Arbeitsgemeinschaften Wasserkraftwerke Deutschland: Wasserkraft und Fischerei (http://www.wasserkraft.org/wasserkraft-fischerei-47-Wasserkraft+und+Fischerei) abgerufen am 4. Dezember 2009; Landesfischereibeirat Baden Württemberg: Zur Nutzung der Wasserkraft (http://www.vfg-bw.org/seite331.htm) abgerufen am 4. Dezember 2009

[7] M. O'Sullivan, D. Edler, M. Ottmüller und U. Lehr, 2009: *Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland im Jahr 2008 - eine erste Abschätzung* -, Stand: 6. März 2009 pdf (http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_bruttobeschaeftigung_08_bf.pdf)

[8] Bündnis für Arbeit und Umwelt: Beispiel Erneuerbare Energien (http://www.oeko-works.de/index.php?id=69)

[9] so z.B.: RWI-Materialien, Heft 28 (http://doku.iab.de/externe/2007/k070201f09.pdf); Hentrich, Steffen; Wiemers, Jürgen; Ragnitz, Joachim (2004): *Beschäftigungseffekte durch den Ausbau Erneuerbarer Energien,* Sonderheft 1/2004, Institut für Wirtschaftsforschung Halle (IWH); Pfaffenberger, Wolfgang; Nguyen, Khanh; Gabriel, Jürgen (2003): *Ermittlung der Arbeitsplätze und Beschäftigungswirkungen im Bereich Erneuerbarer Energien,* Bericht, Bremer Energie Institut.; Schulz, Walter et al. (2004): *Gesamtwirtschaftliche, sektorale und ökologische Auswirkungen des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG), Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA),* Endbericht, Gemeinsames Gutachten des Energiewirtschaftlichten Instituts an der Universität zu Köln (EWI), Instituts für Energetik & Umwelt gGmbH (IE), Rheinisch-Westfälisches Instituts für Wirtschaftsforschung (RWI).

[10] Biogas – das Multitalent für die Energiewende. Fakten im Kontext der Energiepolitik-Debatte (http://www.biogas.org/datenbank/file/notmember/medien/Fakten_Biogas_2006_03.pdf) (PDF-Dokument)

[11] Die Windindustrie in Deutschland - Export (http://www.deutsche-windindustrie.de/fakten/export/index.html)

[12] BMU: Erfahrungsbericht 2007 zum Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG-Erfahrungsbericht). Berlin 2007, S. 46

[13] Butler, Lucy/Neuhoff, Karsten: Comparison of Feed in Tariff, Quota and Auction Mechanisms to Support Wind Power Development. Cambridge Working Papers on Economics CWPE 0503, 2004

[14] DIW-Wochenbericht Nr. 29/2005; Europäische Kommission: Erneuerbare Energien: Kommission legt ehrgeizige Aktionspläne für Biomasse und Biokraftstoffe vor und mahnt Mitgliedsstaaten zur Ökostrom-Förderung. Pressemitteilung vom 7. Dezember 2005; IEA:

Deploying Renewables: Principles for Effective Policies. Paris/Berlin 2008: 17

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz

Basisdaten	
Titel:	Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich
Kurztitel:	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
Abkürzung:	EEWärmeG
Art:	Bundesgesetz
Geltungsbereich:	Bundesrepublik Deutschland
Rechtsmaterie:	Umweltrecht
FNA:	754-21
Datum des Gesetzes:	7. August 2008 (BGBl. I S. 1658)
Inkrafttreten am:	1. Januar 2009
Letzte Änderung durch:	Art. 3 G vom 15. Juli 2009 (BGBl. I S. 1804, 1808)
Inkrafttreten der letzten Änderung:	21. Juli 2009 (Art 4 Abs. 1 G vom 15. Juli 2009)
GESTA:	N019
Bitte den Hinweis zur geltenden Gesetzesfassung beachten.	

Das **Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz** (EEWärmeG) ist ein deutsches Bundesgesetz, das neben dem die Stromerzeugung betreffenden Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und dem die Verwendung von erneuerbaren Energien im Bereich der Kraftstoffe regelnden Biokraftstoffquotengesetz den Ausbau erneuerbarer Energien im Wärme- und Kältesektor bei der energetischen Gebäudeversorgung vorantreiben soll. Es trat am 1. Januar 2009 in Kraft. Das Gesetz ist Teil des von der Bundesregierung am 5. Dezember 2007 beschlossenen Integrierten Energie- und Klimaprogramms (IEKP) und führt erstmals bundesweit eine Pflicht zur Verwendung von erneuerbaren Energien beim Neubau von Gebäuden ein (so genannte *Nutzungspflicht* gem. § 3 Abs. 1 EEWärmeG). Das Gesetz griff einer später zu den erneuerbaren Energien ergangenen Richtlinie der EU vom 23. April 2009[1] vor, die unter anderem die Einführung einer Nutzungspflicht für erneuerbare Energien bei der Wärme- und Kälterzeugung sowohl für neue als auch unter bestimmten Voraussetzungen für alte Gebäude bis zum 31. Dezember 2014 den Mitgliedsstaaten auferlegt (Art. 13 Abs. 4). Das EEWärmeG wurde gegen die Stimmen der FDP und bei Stimmenthaltung der Grünen verabschiedet.

Anlass und Ziel

Obgleich die Hälfte des Energieverbrauchs in Deutschland bei der Wärmerzeugung anfällt, beläuft sich ihr Anteil an erneuerbaren Energien nur auf etwa 6 % (2007), zudem weitgehend auf die Verwendung von Holz beschränkt. Das EEWärmeG (§ 1) stellt nunmehr das gesetzliche Ziel auf, bis im Jahr 2020 mindestens 14 % des Wärme- und Kälteenergiebedarfs von Gebäuden durch erneuerbare Energien zu decken. Zur Durchsetzung dieses Ziels begründet das Gesetz die allgemeine Pflicht, Neubauten in Höhe eines vorgeschriebenen Prozentsatzes mit erneuerbaren Energien zu versorgen. Dies betrifft pro Jahr etwa 150.000 neu errichtete Gebäude. Für Altbauten sieht das Gesetz eine Förderung bei einer entsprechenden Nachrüstung vor, was etwa 600.000 pro Jahr modernisierte Heizungen betreffen kann.[2] Eine in den Entwürfen ursprünglich vorgesehene entsprechende Nutzungspflicht auch für

Altbauten, sobald sie in nicht nur unerheblichem Umfang renoviert werden, wurde wieder gestrichen. Nachdem aber zu diesem Zeitpunkt bereits feststand, dass eine entsprechende Pflicht die am 23. April 2009 erlassene EU-Richtlinie zu den erneuerbaren Energien enthalten wird, dürfte die mit der Streichung beabsichtigte Verschonung der Bestandseigentümer nur von vorübergehender Dauer sein. [3] Das EEWärmeG hatte einen Vorgänger in Form des bereits am 1. Januar 2008 in Kraft getretenen Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz in Baden-Württemberg, das für Altbauten weitergilt (vgl. unten).

Nutzungspflicht

Eigentümer von Neubauten mit einer Nutzfläche von mehr als 50 m² sind verpflichtet, den Wärme- (oder Kälte)-Energiebedarf im nach verwandter Energieart unterschiedlichen Umfang aus erneuerbaren Energien zu decken (Nutzungspflicht nach § 3 Abs. 1 EEWärmeG). Erfasst wird der gesamte Energiebedarf eines Gebäudes, ausgenommen sind bestimmte Gebäude wie Ställe, fliegende Bauten, offene Hallen aber auch Kirchen. Ausgenommen sind ebenfalls Gebäude, die Teil einer Anlage sind, die nach dem Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz emissionshandelspflichtig sind. Der Energiebedarf ist anhand der gleichen Vorschriften, die auch der Energieeinsparverordnung (EnEV) zugrundliegen, zu errechnen. Als erneuerbare Energien im Sinne des Gesetzes gelten die Geothermie, Umweltwärme, solare Strahlungsenergie und Biomasse (§ 2 Abs. 1). Bei Verwendung dieser Energien muss deren Anteil am Gesamtverbrauch mindestens betragen:

- Solare Strahlungsenergie: 15 % (aus Vereinfachungsgründen muss bei Ein- und Zweifamilienhäusern die Fläche der montierten Solarkollektoren mindestens 4 % der Nutzfläche, bei Mehrfamlienhäusern entsprechend 3 % betragen)
- Biomasse: 50 % bei der Verwendung von flüssiger oder fester Biomasse (Bioöl einerseits oder Holzpellets, Scheitholz andererseits) und 30 % bei der Verwendung von Biogas
- Geothermie und Umweltwärme: 50 % (z.B. Wärmepumpen).

Ersatzmaßnahmen

Statt des Einsatzes der genannten erneuerbaren Energien kann die Nutzungspflicht auch durch folgende Ersatzmaßnahmen erfüllt werden:

- die Ausnutzung von technischer Abwärme, wie bei Abluft- und Abwasserströmen, zu 50 % (§ 7 Nr. 1a);
- durch Ausnutzung von Wärme aus Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen zu mindestens 50 %, soweit die Anlagen hocheffizient sind, d.h. gegenüber einer getrennten Wärme- und Stromerzeugung eine Einsparung von mindestens 10 % der eingesetzten Energie erbringen (§ 7 Abs. 1b);
- durch Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden, wie z.B. durch Dämmmaßnahmen, um mehr als 15 % als nach den jeweils gültigen Anforderungen der EnEV (§ 7 Nr. 2);
- durch unmittelbaren Anschluss an Wärmenetzen, die selber Wärme mindestens zur Hälfte aus KWK-Anlagen beziehen (§ 7 Nr. 3).

Durchführung

Die einzelnen möglichen Maßnahmen einschließlich der Ersatzmaßnahmen können kombiniert werden, auch können sich mehrere Nutzungspflichtige (Hauseigentümer / Eigentümergemeinschaften) zur Erfüllung ihrer Pflichten zusammenschließen, so dass es auf den einzelnen Beitrag insoweit nicht ankommt (§ 6).

Die Hauseigentümer müssen die Erfüllung der Nutzungspflicht nachweisen und die Vertreter der zuständigen Behörden sind zu Stichproben vor Ort befugt, wozu ausdrücklich das Grundrecht auf Unverletzlichkeit der Wohnung (Art. 13 GG) eingeschränkt wurde (§ 11 Abs. 2). Die Zuständigkeit richtet sich nach Landesrecht (§ 12), wonach die unteren Bauaufsichtsbehörden mit der Überwachung beauftragt sind.[4]

Fernwärmenetze

Weiteres Ziel des Gesetzes ist die Förderung des Ausbaus von erneuerbare Energien nutzenden Netzen zur Nah- und Fernwärmeversorgung. Zu diesem Zweck wird klargestellt, dass die Gemeinden auch befugt sind, aus Gründen des Klima- und Ressourcenschutzes einen Anschlusszwang zur Nutzung von Wärmenetzen zu verfügen (§ 16). Im Übrigen sieht das Gesetz eine Förderung der genannten Netze im Rahmen des sogenannten Marktanreizprogramms vor (§ 14 Nr. 4).

Lokale Regelungen

In Baden-Württemberg gilt das bereits am 1. Januar 2008 in Kraft getretene *Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg* hinsichtlich des Altbestands weiterhin (§ 3 Abs. 2 EEWärmeG). Es sieht in dieser Anpassung nunmehr vor, dass ab dem 1. Januar 2010 Altbauten zehn Prozent ihres Wärmeenergiebedarfs durch regenerative Energien decken müssen, sobald wesentliche Komponenten einer zentralen Heizungsanlage ausgetauscht werden.[5] Als wesentliche Komponente gilt der Austausch des Kessels. Alternativ kann auch die Gesamt-Energieeffizienz des Gebäudes gesteigert werden.

Marktanreizprogramm

Mit dem Marktanreizprogramm zur Nutzung von erneuerbaren Energien bei der Erzeugung von Wärme [6] werden diesem Zweck dienende Maßnahmen bis zum Jahre 2012 mit bis zu 500 Mio. Euro jährlich gefördert (§§ 13, 14). Das bereits seit 2000 laufende Marktanreizprogramm erhält damit erstmals eine gesetzliche Grundlage. Die Fördermittel sollen den Erlösen aus der Veräußerung von Emissionsberechtigungen entnommen werden.[7] In Abweichung von dem subventionsrechtlichen Grundsatz, wonach Maßnahmen zur Erfüllung gesetzlicher Pflichten (wie hier der Nutzungspflicht), nicht gefördert werden können (§ 15 Abs. 1), erlaubt das Gesetz die Förderung bestimmter die Nutzungspflicht erfüllender Maßnahmen, wenn sie über den üblichen Standard hinausgehen (§ 15 Abs. 2). Hierdurch wird u.a. die Förderung von Maßnahmen bei Altbauten in Baden-Württemberg ermöglicht, obgleich dort insoweit eine Nutzungspflicht bereits besteht.

Anpassung an die EU-Richtlinie vom 23. April 2009

Nach der genannten Richtlinie[8] sind die Mitgliedsstaaten verpflichtet, bis zum 31. Dezember 2014 für neue Gebäude und solche bestehenden Gebäude, an denen erhebliche Renovierungsarbeiten vorgenommen werden, in Höhe eines Mindestmaßes eine Pflicht zur Nutzung von erneuerbaren Energien einzuführen. Über das Maß selber enthält die Richtlinie keine Angaben, wie sie auch die Verpflichtung der Mitgliedssaaten generell unter dem Vorbehalt der Angemessenheit stellt (Art. 14 Abs. 4). Hieraus folgt für Deutschland eine grundsätzliche Pflicht, auch den Altbestand mit in den Anwendungsbereich des EEWärmeGs einzubeziehen. [9] Darüber hinaus begründet die Richtlinie möglicherweise einen Anpassungsbedarf hinsichtlich einiger Ersatzmaßnahmen, soweit dort die Verwendung von anderen als erneuerbare Energien erlaubt wird.

Kritik

Das Gesetz differenziert nicht zwischen emissionsfreien und emissionsbehafteten erneuerbaren Energien. Da schon jetzt mehr Feinstaub durch Gebäudeheizungen als durch den Straßenverkehr erzeugt wird[10] , befürchten Kritiker, die mit dem Gesetz erfolgende Förderung der Holzverbrennung zu Heizzwecken führe zu einem Anstieg von gesundheitsschädigenden Feinstaubemissionen[11] . Dieser Effekt ist allerdings auch auf nicht ausreichende Maßnahmen zur Schadstoffbegrenzung in der Kleinfeuerungsanlagenverordnung zurückzuführen und kann nicht ausschließlich dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz angelastet werden.

Literatur

- Wieland Lehnert und Jens Vollprecht: *Neue Impulse von Europa: Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU*, Zeitschrift für Umweltrecht 2009, 307ff.
- Volker Oschmann: *Neues Recht für Erneuerbare Energien*, NJW 2009, 263ff.
- Guido Wustlich: *Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz- Ziel und praktische Auswirkungen, NVwZ 2008, 1041ff.*

Weblinks

- BMU: Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz im Überblick [12] (PDF-Datei; 102 kB)
- Gesetzestext [13]
- Energieagentur NRW: *EEWärmeG stärkt den Einsatz Erneuerbarer Energien* [14] vom 9. Juni 2008
- Wärmegesetz des Landes Baden-Württemberg [15]

Referenzen

[1] Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, Amtsblatt der EU L140/15 v. 5. Juni 2009, abgerufen am 12. Dezember 2009, (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DE:PDF)

[2] Volker Oschmann: *Neues Recht für Erneuerbare Energien*, NJW 2009, 263ff., 267

[3] Guido Wustlich: *Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz- Ziel und praktische Auswirkungen, NVwZ 2008, 1041ff.*

[4] Volker Oschmann: *Neues Recht für Erneuerbare Energien*, NJW 2009, 267

[5] § 4 Abs. 2 BW EWärmeG, (http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/35861/Erneuerbare-Waerme-Gesetz.pdf?command=downloadContent&filename=Erneuerbare-Waerme-Gesetz.pdf); Umweltministerium Baden-Württemberg, Erneuerbare-Wärme-Gesetz, abgerufen 12. Spetember 2009, (http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/35861/)

[6] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Erneuerbare Energien, abgerufen 13. September 2009, (http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/index.html)

[7] Guido Wustlich: *Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz- Ziel und praktische Auswirkungen, NVwZ 2008, 1047*

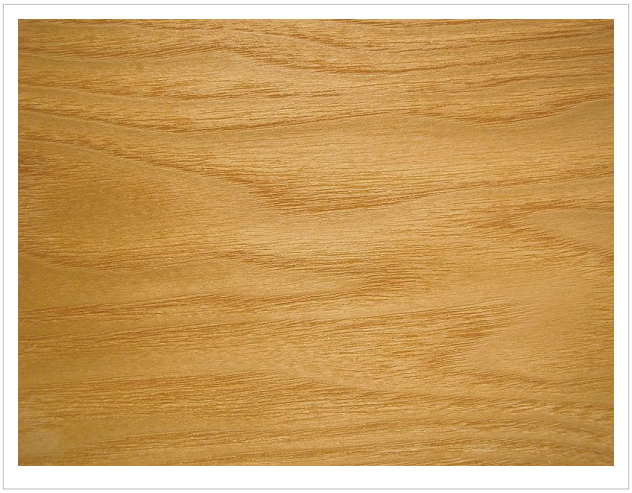
[8] Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, Amtsblatt der EU L140/15 v. 5. Juni 2009, abgerufen am 12. Dezember 2009, (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DE:PDF)

[9] Wieland Lehnert und Jens Vollprecht, *Neue Impulse von Europa: Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU*, Zeitschrift für Umweltrecht 2009, 307ff., 314

[10] EEA: „European Community emission inventory report 1990–2007“ (http://www.eea.europa.eu/publications/lrtap-emission-inventory-report-1990-2007)

[11] Robert Kunde (Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung): *Feinstaubemissionen bei der Biomasseverbrennung in Kleinanlagen* (http://www.zae-bayern.de/files/kunde_zae-symposium06.pdf)

Eschenholz

Esche	
	
Baumarten	Gemeine Esche
Herkunft	Europa
Farbe	hell, weißlich bis gelblich oder weißrötlich
Materialeigenschaften	
Rohdichte Mittelwert	650–690 kg/m³
Rohdichte Grenzwerte	410–860 kg/m³
Axiales Schwindmaß	0,2 %
Radiales Schwindmaß	5,0 %
Tangentiales Schwindmaß	8,0 %
Biegefestigkeit	105 N/mm²
Druckfestigkeit	50 N/mm²
Zugfestigkeit	130 N/mm²
Brinellhärte	längs 65 N/mm², quer 37–41 N/mm²[1]
Wärmeleitfähigkeit	0,17 W/mK
Brennstoffeigenschaften	
Brennwert	4,1 kWh/kg[2]

Als **Eschenholz** wird das Holz der Gemeinen Esche (*Fraxinus excelsior*) bezeichnet.

Nach DIN 4076 ist „ES“ das Kurzzeichen für Esche.[3]

Herkunft

Das Verbreitungsgebiet der Esche erstreckt sich beinahe über ganz Europa, man findet sie besonders häufig im nördlichen Alpenvorland, in Polen und im Baltikum. In Mitteleuropa zählt sie nach Buche und Eiche zu den wichtigsten heimischen Laubnutzhölzern. Man findet Eschen in Auwäldern und an Bach- und Flussläufen (sogenannte „Wassereschen“), daneben aber auch auf eher trockenen Kalkböden („Kalkeschen“). Sie ist auch ein häufiger Straßen- und Alleebaum. [3]

Aussehen

Eschen gehören zu den Bäumen mit fakultativer Farbkernbildung. Splintholz und Kernholz sind hell, weißlich, gelblich oder weißrötlich. Teilweise kann das Kernholz älterer Bäume auch eine dunklere bis schokoladenbraune Farbe annehmen, was unerwünscht ist. Eine gesuchte Besonderheit sind Farbkerne mit der Farbe von Holz des Olivenbaums (*Olea europaea*) mit im Querschnitt welligen Zonen von olivbrauner und hellbrauner Farbe. Das Holz ist ringporig, die Gefäße des Frühholzes sind deutlich größer und in vom Spätholz abgesetzten mehrreihigen Kreisen angeordnet. Entsprechend deutlich sind die Jahresringe erkennbar. Die Holzstrahlen sind schmal und auf Längsflächen als „Spiegel“ erkennbar. Gehobelte Flächen zeigen einen matten Glanz. [3]

Eigenschaften

Das Eschenholz ist mit einer mittleren Rohdichte von 690 kg/m³ ein schweres und auch hartes Holz mit günstigen Festigkeitseigenschaften. Seine Zugfestigkeit und Biegefestigkeit übertrifft die der Eiche. Es ist elastisch, abriebfest und durch die hohe Bruchschlagarbeit zäher als die meisten anderen heimischen Holzarten. Dabei sind die mechanischen Eigenschaften umso günstiger, je breiter die Jahresringe sind. Jahresringe mit einer Breite über 1,5 Millimeter, wie sie bei „Wassereschen“ häufig auftreten, sind ein Zeichen für eine gute Holzqualität. Ein ausgeprägter Farbkern beeinflusst die Holzqualität nicht. Eschenholz kann sowohl händisch als auch maschinell gut bearbeitet werden, gedämpft lässt es sich ähnlich gut wie die Buche biegen. Die Oberflächen sind einfach behandelbar, was besonders für das Beizen gilt. Das Holz ist widerstandsfähig gegen schwache Laugen und Säuren. Es ist jedoch nur wenig witterungsbeständig, und auch bei Kontakt mit dem Boden wird das Holz rasch geschädigt. Da es sich nur schwer imprägnieren lässt, wird das Holz im Freien selten verwendet. [3]

Verwendung

Eschenholz wird sowohl als Massivholz als auch in Form von Furnieren häufig eingesetzt, so für Küchen-, Wohn- und Schlafzimmermöbel oder in gebogener Form für Sitzmöbel. Des Weiteren wird es für Wand- und Deckenverkleidungen und zur Herstellung von Parkett- und Dielenböden verwendet. Für alle diese Anwendungen wird helles Holz ohne Farbkern bevorzugt. Eschenholz wird besonders dann eingesetzt, wenn hohe Ansprüche an die Festigkeit, Zähigkeit und Elastizität gestellt werden, so zur Herstellung von Stielen für Hämmer, Beile, Schaufeln, Hacken und Äxte, Sensen, Rechen und andere Gartengeräte. Auch Sport- und Turngeräte wie Sprossenwände, Schlaghölzer oder Schlitten werden aus Eschenholz gefertigt. In der Stellmacherei war das Eschenholz von überragender Bedeutung und galt als am besten geeignet zur Herstellung von Naben, Felgen, Speichen, Deichseln und Leiterwagen. Es hatte auch große Bedeutung im Fahrzeug- und Waggonbau. Die Deutsche Reichsbahn hatte für viele Anwendungen den Einsatz der Esche sogar vorgeschrieben. Sie wurde auch im Maschinenbau zum Beispiel zur Herstellung von Dreschmaschinen oder Webstühlen eingesetzt. [3]

Nachweise

Literatur

- D. Grosser, W. Teetz: *Esche.* In: *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung).* Nr. 9, Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond – Absatzförderungfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn 1998, ISSN 0446-2114 [1] (online [4]).
- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.): *Beiträge zur Esche -Fachtagung zum Baum des Jahres 2001-.* Mai 2002, ISSN 0945-8131 [5] (online [6]).

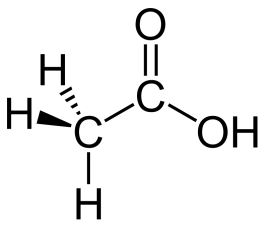
Einzelnachweise

[1] Beiträge zur Esche, S. 59

[2] *Holz Brennwerte.* (http://www.kaminholz-wissen.de/holz-brennwerte.php) kaminholz-wissen.de, abgerufen am 11. Februar 2010.

[3] Grosser, Teetz: *Esche*

Essigsäure

Strukturformel	
	
Allgemeines	
Name	Essigsäure
Andere Namen	• Acetoxylsäure • Acetylsäure (veraltet) • acidum aceticum (lateinisch) • Äthansäure • Eisessig (Bez. für konzentrierte Säure) • Ethansäure • Ethoxylsäure • Holzsäure (veraltet, ungebräuchlich) • Methancarbonsäure • Methylcarbonsäure • E 260
Summenformel	$C_2H_4O_2$
CAS-Nummer	64-19-7
PubChem	176 [1]
ATC-Code	• G01 AD02 [2] • S02 AA10 [3]
Kurzbeschreibung	stechend riechende Flüssigkeit mit charakteristischem Geruch [1]
Eigenschaften	
Molare Masse	60,05 $g \cdot mol^{-1}$

Aggregatzustand	flüssig
Dichte	1,05 $g \cdot cm^{-3}$ [1]
Schmelzpunkt	17 °C [1]
Siedepunkt	118 °C [1]
Dampfdruck	16 hPa (20 °C) [1]
pK_s-Wert	4,76 [2]
Löslichkeit	vollständig mischbar mit Wasser (20 °C) [1]

Sicherheitshinweise

Gefahrstoffkennzeichnung aus RL 67/548/EWG, Anh. I [3]



Ätzend

(C)

R- und S-Sätze

R: 10-35

S: (1/2)-23-26-45

Bitte beachten Sie die eingeschränkte Gültigkeit der Gefahrstoffkennzeichnung bei Arzneimitteln

MAK	10 $ml \cdot m^{-3}$; 25 $mg \cdot m^{-3}$ [1]
LD_{50}	3310 $mg \cdot kg^{-1}$ (Ratte, oral) [4]

Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.

Essigsäure, nach IUPAC-Regelung **Ethansäure**, ist eine farblose, flüssige, ätzende und typisch riechende Carbonsäure. Als Lebensmittelzusatzstoff hat sie die Bezeichnung **E 260**. Wässrige Lösungen der Essigsäure werden trivial nur *Essig* und konzentrierte Essigsäure *Eisessig* genannt. Der lateinische Name für Essigsäure ist *Acidum aceticum*. Die Salze und Ester der Essigsäure heißen *Acetate*, oder auch *Ethanoate*. In der Biochemie wird der Ausdruck Acetat dem der Essigsäure vorgezogen, da Essigsäure unter physiologischen Bedingungen größtenteils deprotoniert als Acetat-Anion (CH_3COO^-) vorliegt.

Geschichte



Aceto balsamico, Rot- und Weißweinessig

siehe auch: Essig

Traditionelle Fermentation von Essigsäure

Essigsäure in der Form von Essig wurde historisch sowohl in Europa als auch in Asien als Würzmittel zur Säuerung und Konservierung von Lebensmitteln genutzt, in Europa geht die Verwendung bis in die Antike zurück. Dabei wurde Essig traditionell wie beispielsweise beim bekannten *Aceto balsamico* in der italienischen Region Modena vor allem aus Wein gewonnen, der offen stehengelassen und vergoren wurde. Das im Mittelalter in Frankreich entwickelte Orleans-Verfahren basierte ebenfalls auf diesem Prozess: Wein wurde in große und flache, offene Bottiche gefüllt und unsteril hingestellt. Wahrscheinlich über Taufliegen (auch bekannt als Frucht- oder Essigfliegen) wurden Essigsäurebakterien eingetragen, die eine Kahmhaut auf der Weinoberfläche bildeten, die so genannte Essigmutter.[5]

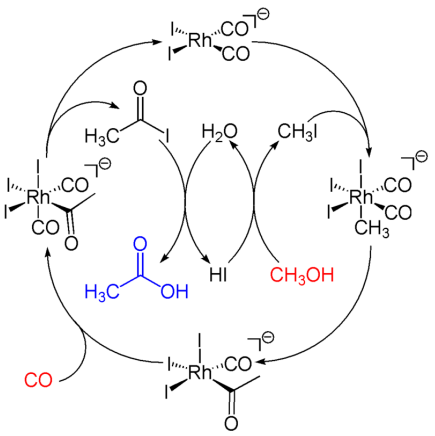
Eine Weiterentwicklung erfolgte im 19. Jahrhundert durch die ersten Oberflächenfermenter. Dabei wurde beim Fessel- oder Generatorverfahren die wein- bzw. alkoholhaltige Lösung durch große Holzgeneratoren gerieselt, die beispielsweise mit Buchenspänen gefüllt waren und als natürliche Träger für die Ansdiedlung der Bakterien dienten. Der Sauerstoff wurde über eine Belüftung am Boden der Behälter gewährleistet und stieg, angezogen durch die Reaktionswärme, durch den Generator nach oben. Ähnliche Verfahren sind zur Herstellung von Essig bis in die heutige Zeit im Einsatz.[5]

1856 entdeckte der französische Wissenschaftler Louis Pasteur die Rolle der Bakterien bei der Essigherstellung und 1868 konnte er erstmalig selektive Wachstumsbedingungen für die Essigsäurebakterien ausarbeiten und einsetzen. Er setzte damit den Grundstein für die kontrollierte Herstellung von Essig in Form von Weinessig mit einem Essigsäureanteil von etwa sechs Prozent.[6] [5] Dieses Verfahren und die Ausbeute wurden erst 1949 durch die Einführung eines Submers-Verfahrens in Form des *Frings-Acetators* (benannt nach dem Unternehmen Heinrich Frings GmbH & Co KG in Bonn, das maßgeblich an der Entwicklung beteiligt war), verbessert und abgelöst. Heute stellt das Submers-Verfahren die häufigste Produktionsform für biogene Essigsäure dar.[5]

Synthetische Essigsäure

Die ersten Verfahren zur Herstellung von synthetischer Essigsäure stammen aus dem Jahr 1913 von dem deutschen Unternehmen BASF. 1941 zeigte der BASF-Chemiker Walter Reppe die Effizienz der Carbonyle der heute als Cobaltgruppe bezeichneten Metalle (früher Grupp VIII) als Katalysatoren für die Herstellung von Carbonylverbindungen. Auf diesen Arbeiten basierend wurde ein Prozess entwickelt, mit dem unter hohem Druck und bei hohen Temperaturen (700 bar, 250 °C) Methanol durch Cobaltdiiodid als Katalysator zu Essigsäure umgesetzt werden konnte. Das Methanol selbst stellte einen Rohstoff dar, der nicht primär auf Erdöl basiert sondern über Synthesegas aus verschiedenen Rohstoffquellen wie Erdgas und Kohle gewonnen werden konnte. 1960 wurde der BASF-Prozess erstmals großtechnisch in einer Anlage in Ludwigshafen umgesetzt, die Kapazität wurde von anfänglich 3.600 t/a kontinuierlich auf 45.000 t/a im Jahr 1981 gesteigert. 1966 baute die amerikanische Borden Chemical Co. eine weitere Anlage auf der Basis des BASF-Prozesses mit einer Kapazität von 45.000 t/a in Geismar in Louisiana, die bis 1981 auf 64.000 t/a aufgestockt wurde.[7]

In den späten 1960er Jahren entwickelte Monsanto einen Prozess auf der Basis von Rhodiumiodid als Katalysator, der die Herstellung von Essigsäure unter einem deutlich geringeren Druck und bei einer geringeren Temperatur (3 MPa = ca. 30 bar, 180 °C) bei einer höheren Ausbeute von bis zu 99% bei Einsatz von Methanol und 90% bei Einsatz von Kohlenstoffmonoxid ermöglicht (Monsanto-Prozess). 1970 baute Monsanto die erste Anlage in Texas City mit einer Startkapazität von 135.000 t/a, die bis 1975 auf 270.000 t/a erhöht wurde. Bereits kurze Zeit nach diesem Start wurde der BASF-Prozess im Vergleich unökonomischer und konnte nicht mehr konkurrieren. 1978 baute Celanese die *Clear Lake Plant* in Seabrook in Texas auf der Basis des Monsanto-Prozesses mit einer Startkapazität von 27.000 t/a, durch eine Verbesserung des Prozesses konnte die Kapazität auf 900.000 t/a gesteigert werden.[7]



Monsanto-Prozess; katalytischer Weg zur Herstellung von Essigsäure aus Methanol und Kohlenstoffmonoxid durch Rhodiumiodid-Katalysatoren

1986 kaufte BP Chemicals die Rechte am Monsanto-Prozess, allerdings ohne die Modifikationen von Celanese und modifizierte ihn mit Iridiumiodid als Katalysator. Dieser als *Cativa-Prozess* bekannte Weg wurde in den frühen 1990er Jahren weiterentwickelt und soll den Rhodiumiodid-Prozess in der Monsanto-Fabrik in Texas-City ersetzen und verbessern.[7]

Gewinnung und Darstellung

Biotechnologische Herstellung

Die biotechnologische bzw. fermentative Herstellung von Essigsäure ist die Veratmung von Ethanol (Alkohol) durch Bakterien der Gattungen *Acetobacter* oder *Gluconobacter*. Es handelt sich biochemisch betrachtet um eine unvollständige Atmung (nicht wie es irrtümlich oft beschrieben wird, um eine Gärungsform). Die Bakterien wandeln durch Gärungsprozesse entstandenes Ethanol durch eine sogenannte „subterminale Oxidation“ über Acetaldehyd in Essigsäure um.[6]

$$\mathrm{C_2H_5OH \longrightarrow CH_3CHO \longrightarrow CH_3COOH}$$

Die Oxidation erfolgt durch membranständige Alkoholdehydrogenasen (ADH) und Aldehyddehydrogenasen (ALDH), die als prosthetische Gruppe Pyrrolochinolinchinon (PQQ) und bei den ADH zusätzlich Häm c enthalten. Die bei der Oxidation freiwerdenden Elektronen werden über Ubichinon auf eine ebenfalls membranständige Oxidase übertragen.[6]

Ausgangsprodukte für die Essigsäure-Bildung können z. B. Wein, Bier oder Malz sein. Dabei sind die Bakterien sehr stark von einer ausreichenden Sauerstoffversorgung abhängig und reagieren auf sauerstoffarme Lebensbedingen sehr empfindlich. Bereits bei einer Unterbrechung der Sauerstoffversorgung von wenigen Minuten kommt es zu einer signifikanten Abnahme der Ethanoloxidation. Steht Ethanol als Substrat nicht zur Verfügung kommt es zu einem Abbau der Essigsäure zu CO_2, ebenfalls durch Oxidation.[6] Die Bakterien bauen Kohlenhydrate sowohl über die Glykolyse wie über den Entner-Doudoroff-Weg zu Pyruvat ab, das dann in den Citratzyklus geht.[6]

Großtechnische chemische Herstellung

→ *Hauptartikel: Monsanto-Prozess*

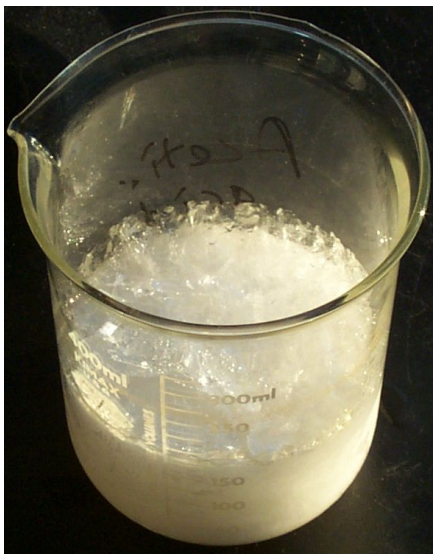
Die aktuell bedeutendste industrielle Synthese für Essigsäure ist die katalytische Umsetzung von Methanol mit Kohlenmonoxid unter Druck (Monsanto-Prozess).

$$CH_3OH + CO \longrightarrow CH_3COOH$$

Daneben kann Essigsäure auch synthetisch durch Oxidation von Acetaldehyd mit Luft oder Sauerstoff unter Verwendung von $Mn(OAc)_2$ als Katalysator oder durch partielle Oxidation anderer Kohlenwasserstoffe hergestellt werden.

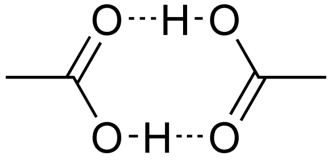
Technisch werden auch noch die Luftoxidation von n-Butan bei etwa 180 °C und 85 bar, die katalytische Oxidation von Leichtbenzin sowie die Rektifikation von Holzessig genutzt.[8]

Eigenschaften



Kristalline Essigsäure

Physikalische Eigenschaften



Dimerbildung bei der Essigsäure

Essigsäure besitzt mit 118 °C eine relativ hohe Siedetemperatur gegenüber polaren Stoffen mit vergleichbarer molarer Masse (beispielsweise 1-Propanol: Siedepunkt 97 °C). Die Ursache dafür ist die Fähigkeit der Essigsäure-Moleküle, über ihre Carboxygruppen zwei „gegenseitige“ Wasserstoffbrückenbindungen auszubilden, so dass Dimere aus zwei Essigsäure-Molekülen entstehen, die sich wie ein Molekül doppelter molarer Masse verhalten. Daher wird für die Überleitung dieser Dimere in die Gasphase ein höherer Energiebetrag erforderlich, erkennbar an der „erhöhten“ Siedetemperatur.

Thermodynamische Eigenschaften

Die Dampfdruckfunktion ergibt sich nach Antoine entsprechend $\log_{10}(P) = A-(B/(T+C))$ (P in bar, T in K) mit A = 4,68206, B = 1642,540 und C = −39,764 im Temperaturbereich von 290,26 bis 391,01 K.[9]

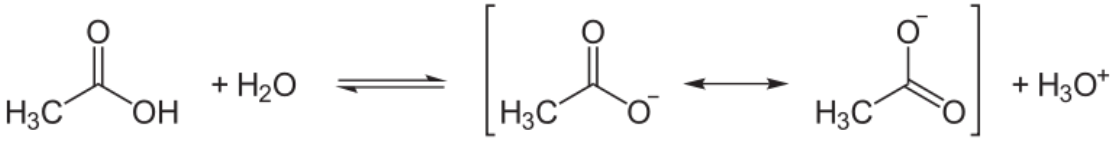
Zusammenstellung der wichtigsten thermodynamischen Eigenschaften

Eigenschaft	Typ	Wert [Einheit]	Bemerkungen
Standardbildungsenthalpie	$\Delta_f H^0_{liquid}$ $\Delta_f H^0_{gas}$	−484,5 kJ·mol^{-1} −433 kJ·mol^{-1} [10]	
Standardentropie	$S^0_{l,\ 1\ bar}$ S^0_g	158,0 J·mol^{-1}·K^{-1}[11] 282,84 J·mol^{-1}·K^{-1}[12]	als Flüssigkeit als Gas
Verbrennungsenthalpie	$\Delta_c H^0_{liquid}$	−875,16 kJ·mol^{-1}[13]	
Wärmekapazität	c_p	123,1 J·mol^{-1}·K^{-1} (25 °C)[11] 63,44 J·mol^{-1}·K^{-1} (25 °C)[10]	als Flüssigkeit als Gas
Schmelzenthalpie	$\Delta_f H^0$	11,72 kJ·mol^{-1} [11]	beim Schmelzpunkt
Schmelzentropie	$\Delta_f S^0$	40,5 kJ·mol^{-1} [11]	beim Schmelzpunkt
Verdampfungsenthalpie	$\Delta_V H^0$	23,7 kJ·mol^{-1} [14]	beim Normaldrucksiedepunkt

Die Temperaturabhängigkeit der Verdampfungsenthalpie lässt sich entsprechend der Gleichung $\Delta_V H^0 = A\exp(-\alpha T_r)(1-T_r)^\beta$ ($\Delta_V H^0$ in kJ/mol, $T_r = (T/T_c)$ reduzierte Temperatur) mit A = 22,84 kJ/mol, α = 0,0184, β = −0,0454 und T_c = 592,7 K im Temperaturbereich zwischen 298 und 392 K beschreiben.[14]

Chemische Eigenschaften

In wässriger Lösung reagiert Essigsäure als mittelstarke Säure. Der pKs-Wert der Essigsäure beträgt 4,75. In einer protolytischen Reaktion stellt sich ein Gleichgewicht zwischen der Essigsäure und dem Acetat-Ion ein, das stark auf Seiten der Säure liegt. Wie bei allen Carbonsäuren ist die Carboxylatgruppe des Acetat-Ions durch mesomerie stabilisiert, was wesentlich zur sauren Reaktion der Carbonsäuren beiträgt:



Protolyse von Essigsäure, mesomere Grenzstrukturen des Acetat-Ions

Der Dissoziationsgrad der Säure liegt in verdünnten Lösungen nur im Bereich einiger Prozente. In einer 1 molaren Lösung liegt er nur bei etwa 0,5 %. Das dabei entstehende Hydroniumion (H_3O^+) führt zu einer sauren Lösung (pH-Wert < 7).

Puffersystem

Wird der pH-Wert einer Essigsäurelösung durch Zusatz einer starken Base oder durch Zusatz von Acetaten erhöht, wird eine Pufferlösung gebildet. Ist der pH-Wert der Lösung gleich dem pKs-Wert der Essigsäure, liegen Essigsäure und Acetat-Ion in gleichen Konzentrationen vor. Dies ist der optimale Pufferpunkt des Essigsäure-Acetat-Puffers und federt die Änderung des pH-Werts beim Zusatz von Säuren oder Basen ab.

Dieses Puffersystem ist bedeutend für biochemische Systeme im sauren Bereich, da es einen günstigen pKs-Wert hat und die beteiligten Komponenten die meisten Organismen und Biomoleküle nicht negativ beeinflussen. Er ist ein stabiles Puffersystem, das heißt, das konjugierte Säure-Base-Paar verbleibt in Lösung und kann nicht wie z. B. beim Hydrogencarbonatpuffer aus dem System entweichen.

Reaktionen

Essigsäure oxidiert an der Luft vollständig unter Hitzeentwicklung zu Wasser und Kohlenstoffdioxid. Dies geschieht bei Raumtemperatur jedoch nur extrem langsam.

Unedle Metalle wie Magnesium, Calcium, Zink oder Eisen lösen sich in verdünnter Essigsäure unter Bildung wasserlöslicher Acetate und Freisetzung von Wasserstoff auf.

Mit Kupfer reagiert die Essigsäure in Gegenwart von Sauerstoff (Luft) zu Kupferacetat, einem grünen, gesundheitsschädlichen Salz, das besser unter dem Namen „Grünspan“ bekannt ist.

Essigsäure reagiert mit Ethanol säurekatalysiert zu Essigsäureethylester, einem viel verwendeten Lösemittel. Wird 1-Pentanol statt Ethanol verwendet, erhält man Essigsäureamylester, einen stark riechenden Ester. Salicylsäure lässt sich ebenfalls mit Essigsäure verestern. Dabei entsteht Acetylsalicylsäure, der Wirkstoff des Aspirins.

Essigsäure reagiert bei 800 °C unter Dehydratisierung zu Essigsäureanhydrid.

Essigsäure wird in verdünnter Form auch zum Kalklösen verwendet (siehe Essig). Die Reaktionsgleichung sieht folgendermaßen aus:

$$2\ \mathrm{CH_3COOH} + \mathrm{CaCO_3} \longrightarrow \mathrm{Ca^{2+}_{(aq)}} + 2\ \mathrm{CH_3COO^-_{(aq)}} + \mathrm{CO_2} + \mathrm{H_2O}$$

Salze der Essigsäure (Acetate)

Hauptartikel: Acetate

Die Salze der Essigsäure werden als *Acetate* bezeichnet. Es sind zumeist farblose kristalline Salze, die in ihren Kristallgittern (Ionengittern) das Acetat-Anion (CH_3COO^-) enthalten.

Produktion und Verwendung

Weltweit bestehen Produktionskapazitäten für Essigsäure in Höhe von etwa 7 Mio. Tonnen pro Jahr.[15] Zwischen 1998 und 2006 gab es weltweit ein durchschnittliches Wachstum der Produktion von drei bis vier Prozent pro Jahr, wobei etwa 70% der Jahresproduktion in den USA (1996: 36%; 2006: 32%), West-Europa (1996: 24%; 2006: 17%) und Japan (1996: 16%; 2006: 11%) stattfinden, die ostasiatische Produktion stieg im Vergleich zu diesen Regionen von 1996 mit 14% auf etwa 18% im Jahr 2006.[16] Nur etwa 190.000 Tonnen werden jährlich weltweit fermentativ hergestellt, wobei etwa 70% des Weltbedarfs an Speiseessig im Submersverfahren in etwa 700 Bioreaktoren produziert wird.[5]

Ernährung

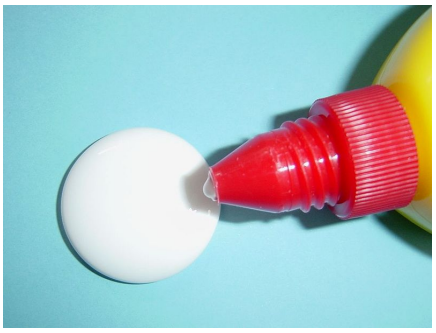
→ *Hauptartikel: Essig*

Essigsäure hat eine große Bedeutung als Geschmacksstoff. Essigsäure (E 260) und ihre Salze Kaliumacetat (E 261), Natriumacetat (E 262) und Calciumacetat (E 263) werden als Säuerungsmittel für Obst und Gemüse in Dosen und Gläsern (0,5–3 % Essigsäure), bei Fisch in allen Variationen, Konserven, verschiedenste Marinaden, Feinkostsalaten, Mayonnaisen, Salatsoßen zusammen mit Sorbinsäure (E 200) oder Benzoesäure (E 210) und für das Einlegen und Abwaschen von frischem Fleisch verwendet. Der bakterizide Effekt der Essigsäure besteht darin, dass durch den veränderten pH-Wert physiologische Prozesse unterbunden werden und auch Eiweiße denaturieren.

Haushaltsessig besteht aus biogenem Essig und enthält 5 % Essigsäure. Essigessenz ist eine 25%ige Essigsäurelösung in Wasser, riecht stark stechend und darf nur verdünnt in Speisen verwendet werden.

Stoffliche Nutzung

Für die stoffliche Nutzung wird fast ausschliesslich großtechnisch hergestellter Eisessig genutzt. Dabei werden mehr als 65% der Weltproduktion für Polymere auf der Basis von Vinylacetat (43%) und Celluloseacetat (25%) aufgewendet. Vinylacetat ist die Grundlage für Polyvinylacetat (PVAc), das unter anderem in Farben und Klebstoffen verwendet wird, in geringerem Umfang auch in Vinylacetat-Copolymeren (wie Ethylenvinylacetaten) und Polyvinylalkohol.[17] Celluloseacetat wird vor allem zur Produktion von Zigarettenfilter, Folien und Kunststoffprodukten verwendet.



Kleber auf Polyvinylacetatbasis

Weitere Verwendungen umfassen verschiedene Ester wie Essigsäure-n-butylester und Essigsäureisopropylester (zusammen 11%), die als Lösungsmittel für Kosmetika und Perfums verwendet werden. Weitere 10% werden für die Herstellung von Essigsäureanhydrid, Acetanilid, Essigsäurechlorid und Ammoniumacetat genutzt.[17]

Gefahrenhinweise

Reine Essigsäure gilt als entzündliche Flüssigkeit. Oberhalb des Flammpunktes können sich entzündliche Dampf-Luft-Gemische bilden. Die Verbindung hat einen Flammpunkt bei 40 °C.[1] Der Explosionsbereich liegt zwischen 4 Vol% (100 g/m^3) als untere Explosionsgrenze (UEG) und 17 Vol% (430 g/m^3) als obere Explosionsgrenze (OEG).[1] Die Zündtemperatur beträgt 485 °C.[18] Der Stoff fällt somit in die Temperaturklasse T1.

Die Einstufung und Kennzeichnung nach den Gefahrgutvorschriften hängt von der Konzentration ab. [1] Essigsäure, Eisessig oder Lösungen mit mehr als 80 Masse-% Säure werden der Gefahrgutklasse 8 (Ätzende Stoffe) mit der Verpackungsgruppe II (mittlere Gefährlichkeit) zugeordnet. Als Nebengefahr muss die Gefahrgutklasse 3 (Entzündbare Flüssigkeiten) mit gekennzeichnet werden (Gefahrzettel 8/3). Lösungen mit mindestens 50 Masse-% und höchstens 80 Masse-% Säure werden nur noch der Klasse 8 (Ätzende Stoffe) mit der Verpackungsgruppe II (mittlere Gefährlichkeit) zugeordnet (Gefahrzettel 8). Für Lösungen mit mehr als 10 Masse-% und weniger als 50 Masse-% Säure gilt die Klasse 8 (Ätzende Stoffe) mit der Verpackungsgruppe III (geringe Gefährlichkeit) (Gefahrzettel: 8).

Literatur

- Hosea Cheung, Robin S. Tanke, G. Paul Torrence: *Acetic Acid*. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH, Weinheim 2005, doi:10.1002/14356007.a02 143.pub2 [22].

Referenzen

[1] Eintrag zu *Essigsäure* (http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=id&id=biadb:r:011400&t=main-h.htm) in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA, abgerufen am 4. Februar 2008 (JavaScript erforderlich)

[2] pK_a Data Compiled by R. Williams (http://research.chem.psu.edu/brpgroup/pKa_compilation.pdf)

[3] Eintrag zu *CAS-Nr. 64-19-7* (http://ecb.jrc.ec.europa.eu/esis/index.php?LANG=de&GENRE=CASNO&ENTREE=64-19-7) im European chemical Substances Information System *ESIS*

[4] *Acetic acid* (http://chem.sis.nlm.nih.gov/chemidplus/direct.jsp?regno=64-19-7) bei ChemIDplus

[5] Christoph Syldatk: *Organische Säuren. Essigsäure (Acetat).* In: Garabed Antranikian: *Angewandte Mikrobiologie.* Springer -Verlag Berlin und Heidelberg 2006; S. 344-347. ISBN 978-3-540-24083-9.

[6] Rolf D. Schmid: *Taschenatlas der Biotechnologie und Gentechnik.* 2. Aufl. Wiley-VCH, Weinheim 2006; S.18-19. ISBN 978-3-527-31310-5.

[7] *Carbonylation of Methanol*. In: Cheung et al. 2005; S. 4-10

[8] Essigsäure als Nebenprodukt der technischen Herstellung von Holzkohle (http://www.profagus.de/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=85)

[9] McDonald, R.A.; Shrader, S.A.; Stull, D.R., Vapor Pressures and Freezing Points of 30 Organics, J. Chem. Eng. Data 4 (1959) 311−313

[10] NIST Chemistry WebBook (http://webbook.nist.gov/chemistry/)

[11] Martin, J.F.; Andon, R.J.L., Thermodynamic properties of organic oxygen compounds. Part LII. Molar heat capacity of ethanoic, propanoic, and butanoic acids, J. Chem. Thermodynam. 14 (1982) 679-688

[12] Weltner W., Jr., The vibrational spectrum, associative and thermodynamic properties of acetic acid vapor, J. Am. Chem. Soc. 77 (1955) 3941-3950

[13] Steele, W.V.; Chirico, R.D.; Cowell, A.B.; Knipmeyer, S.E.; Nguyen, A., Thermodynamic properties and ideal-gas enthalpies of formation for 2-aminoisobutyric acid (2-methylalanine), acetic acid, (4-methyl-3-penten-2-one), 4-methylpent-1-ene, 2,2'-bis(phenylthio)propane, and glycidyl phenyl ether (1,2-epoxy- 3-phenoxypropane), J. Chem. Eng. Data, 42 (1997) 1052-1066

[14] Majer, V.; Svoboda, V., Enthalpies of Vaporization of Organic Compounds: A Critical Review and Data Compilation, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1985, 300

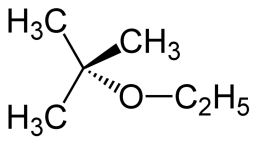
[15] *Introduction.* In: Cheung et al. 2005; S. 1

[16] *Economic Aspects.* In: Cheung et al. 2005; S. 24-25

[17] *Uses.* In: Cheung et al. 2005; S. 19-20

[18] E. Brandes, W. Möller: *Sicherheitstechnische Kenndaten - Band 1: Brennbare Flüssigkeiten und Gase*, Wirtschaftsverlag NW – Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven 2003

ETBE

Strukturformel


Allgemeines	
Name	Ethyl-*tert*-butylether
Andere Namen	• Ethyl-*tertiär*-butylether • ETBE • 2-Ethoxy-2-methylpropan • *tert*-Butylethylether
Summenformel	$C_6H_{14}O$
CAS-Nummer	637-92-3
PubChem	12512 [1]
Kurzbeschreibung	farblose Flüssigkeit[1]

Eigenschaften	
Molare Masse	102,18 g·mol^{-1} [1]
Aggregatzustand	flüssig
Dichte	0,74 g·cm^{-3} [1]
Schmelzpunkt	–94 °C [1]
Siedepunkt	73 °C [1]
Dampfdruck	173 hPa (25 °C) [1]
Löslichkeit	wenig in Wasser (12 g·l^{-1} bei 25 °C) [1]

Sicherheitshinweise

Gefahrstoffkennzeichnung [1]



Leicht-entzündlich

(F)



Reizend

(Xi)

R- und S-Sätze R: 11-36/38

S: 16-26

Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.

ETBE	
Kurzbeschreibung	Klopfschutzmittel für Ottokraftstoffe
Eigenschaften	
Aggregatzustand	flüssig
Oktanzahl	117 ROZ[2] , 101 MOZ [2]
Flammpunkt	−19 °C [1]
Explosionsgrenze	1,2–7,7 Vol.-% [1]
Sicherheitshinweise	
UN-Nummer	1179
Gefahrnummer	33
Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.	

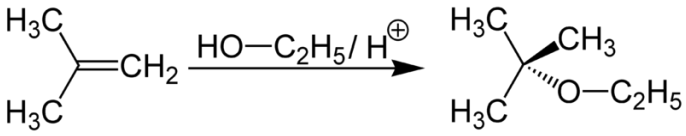
Ethyl-*tert*-butylether (ETBE), nach IUPAC eigentlich korrekt ***tert*-Butylethylether**, ist eine chemische Verbindung, die zur Gruppe der Ether gehört. Sie besteht aus einem Isobutyl-Rest mit einem über eine Etherbindung verknüpften Ethyl-Rest am tertiären Kohlenstoffatom des Isobutyls. ETBE ist ein Mittel zur Erhöhung der Oktanzahl bei Ottokraftstoff.

Eigenschaften

ETBE ist eine farblose Flüssigkeit, die nicht mit Wasser mischbar ist.

Herstellung

Die Herstellung erfolgt durch säurekatalysierte Addition von Ethanol an die Doppelbindung des Isobuten:



Verwendung

ETBE wird analog zu Methyl-*tert*-butylether (MTBE) zur Verbesserung der Klopffestigkeit dem Ottokraftstoff zugesetzt (maximal 15 Vol.-%). MTBE wird aus fossilen Rohstoffen erzeugt. ETBE dagegen kann z. B. aus fossilem Isobuten und Ethanol aus nachwachsenden Rohstoffen (Bioethanol) erzeugt werden.

In der EU hat gemäß der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EG) bis 2020 ein Beimischung von Biokraftstoff zum konventionellen Kraftstoff in Höhe von 10 % (des Energiegehalts) verbindlich zu erfolgen. In der BRD wird durch das Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG) bis 2015 eine Beimischungsquote von 8 % festgelegt. Für das Jahr 2009 gilt eine Quote von 5,25 %. Durch den Bioethanol-Anteil in "Bio-ETBE" kann dieser zu 47 % als Biokraftstoffbeimischung gewertet werden. ETBE ist teurer als Bioethanol. Die Beimischung zu Motorenbenzin erfolgt daher nur, wenn aus technischen Gründen (z. B. fehlende Beimischungstechnik) kein Bioethanol verwendet werden kann oder wenn höherwertigere Benzinvarianten produziert werden sollen (Oktanzahl von ETBE ist höher als die von Ethanol).

Weblinks

- EFOA Verband der europaïschen Kraftstoff-Ether Industrie [4]

Referenzen

[1] Eintrag zu *Ethyl-tert-butylether* (http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=id&id=biadb:r:106525&t=main-h.htm) in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA, abgerufen am 31. August 2008 (JavaScript erforderlich)

[2] Oktanzahlen (http://www.ensic.inpl-nancy.fr/DCPR/Louvain/Files/FORMULATIONS OF FUELS Avril 2005.ppt)

Ethanol

Strukturformel	
Allgemeines	
Name	Ethanol
Andere Namen	• Ethylalkohol • Äthanol (nicht mehr gebräuchlich) • Äthylalkohol (nicht mehr gebräuchlich) • Weingeist • Spiritus (durch Zugabe von u.a. Methylethylketon nicht zum Verzehr geeignet) • Alkohol (umgangssprachlich)
Summenformel	C_2H_6O
CAS-Nummer	64-17-5
PubChem	702 [1]
Kurzbeschreibung	farblose, charakteristisch riechende Flüssigkeit
Eigenschaften	
Molare Masse	46,07 $g \cdot mol^{-1}$
Aggregatzustand	flüssig
Dichte	ca. 0,79 $g \cdot cm^{-3}$[1]
Schmelzpunkt	−114 °C[1]
Siedepunkt	78 °C[1]
Dampfdruck	58 hPa (20 °C)[1]
pK_s-Wert	16 [2]
Löslichkeit	beliebig mit Wasser mischbar[1]
Leitfähigkeit	leitet elektrischen Strom nicht
Sicherheitshinweise	

Gefahrstoffkennzeichnung aus RL 67/548/EWG, Anh. I [3]  Leicht-entzündlich (F) R- und S-Sätze R: 11 S: (2)-7-16	
MAK	500 ml·m^{-3} bzw. 960 mg·m^{-3}[1]

Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.

Ethanol ist eine farblose, leicht entzündliche Flüssigkeit mit brennendem Geschmack sowie charakteristischem, angenehmem Geruch. Umgangssprachlich wird es als **Alkohol** bezeichnet. Ältere Nomenklaturen verwendeten die Bezeichnungen **Äthanol**, **Äthylalkohol** oder **Ethylalkohol**. Umgangssprachlich gibt es noch ältere Bezeichnungen wie **Weingeist** und **Spiritus** (lateinisch „Geist“). In der Chemie wird Ethanol oft mit **EtOH** abgekürzt und in der Alltagsmedizin mündlich mit **C2** bezeichnet (als Verkürzung der Summenformel C_2H_6O).

Bekannt ist Ethanol vor allem als Trinkalkohol, der als Genussmittel (z. B. Wein, Bier, Likör) klassifiziert wird. Er ist allerdings zugleich ein Rauschmittel, sein Konsum ist in den meisten Staaten erlaubt. Das Führen von Fahrrädern, Kraftfahrzeugen, Schiffen und Flugzeugen unter Alkoholeinfluss ist jedoch meist unter Strafe gestellt.

Die Hauptverwendungen von Ethanol betreffen neben der Genuss- und Lebensmittelindustrie vor allem in den letzten Jahren die Nutzung als Biokraftstoff in Form von Bioethanol. Außerdem handelt es sich um ein organisches Lösungsmittel sowie eine Plattformchemikalie für die chemische Industrie.

Systematik

Ethanol (C_2H_5OH) gehört zu den n-Alkanolen. Es leitet sich von dem Alkan (gesättigten Kohlenwasserstoff) *Ethan* (C_2H_6) ab, in dem formal ein Wasserstoffatom durch die funktionelle Hydroxylgruppe (-OH) ersetzt wurde. Zur Benennung wird dem Namen *Ethan* das Suffix *-ol* angehängt.

„*Ethanol*“ steht für den umgangssprachlichen Begriff „*Alkohol*“; die fachsprachliche Bezeichnung „*Alkohole*“ bezeichnet dagegen eine Gruppe von organischen chemischen Verbindungen, die neben dem Kohlenwasserstoffgerüst als zusätzliche Funktionelle Gruppe mindestens eine Hydroxygruppe besitzen, wobei sich an dem Kohlenstoffatom mit der Hydroxygruppe kein höherwertiger Substituent befinden darf.

Wortherkunft *Alkohol*

Im Arabischen stand الكحل *al-kuhl* ursprünglich für Augenschminke und Antimonpulver. Alkohol war die „geistige Essenz“, die für die „irdene Essenz“ als Lösungsmittel diente und übernahm daher den Namen (im heutigen Arabisch bedeutet الكحول *al-kuhul* jedoch Alkohol). Nach Europa gelangte dieser Begriff während der langen arabischen Herrschaft in Spanien. In der spanischen Sprache bedeutete *alcohol* ursprünglich *feines, trockenes Pulver*, was in die Alchemistensprache Eingang fand.

Kulturgeschichte des Alkohols

Ethanol entsteht schon auf natürlichem Wege bei der Vergärung zuckerhaltiger Früchte. Auf diese Weise wurden wohl unabhängig voneinander, schon in einem frühen Stadium der Geschichte, Menschen auf diese Substanz aufmerksam.[4] Laut Josef H. Reichholf (2008) geht der Ackerbau (und damit die Sesshaftwerdung) sogar in erster Linie aufs Bierbrauen zurück, da Met („Wein“ aus dem Honig wilder Bienen) nie ausreichend zur Verfügung stehen konnte. So finden sich in ägyptischen Schriftrollen der III. Dynastie[5] sowie auf alt-mesopotamischen Keilschrifttafeln[6] Hinweise auf die Herstellung alkoholischer Getränke. Auch in der Bibel wird der Alkohol erwähnt, siehe zum Beispiel 1. Buch Mose (Gen. 9,18–29).

Biere, später auch Weine wurden mit Hilfe von Wildhefen erzeugt. Meist hatten solche Alltagsgetränke einen deutlich geringeren Alkoholgehalt als heute, da die Wildhefen ab einer bestimmten Alkoholkonzentration die Umwandlung von Zucker in Alkohol einstellen, weil sie sich ansonsten selbst vergiften würden. Durch jahrhundertelange Züchtung tolerieren heutige Hefestämme höhere Alkoholgehalte.

Auch in diesen alten Zeiten wurde Alkohol bereits aufgrund seiner berauschenden Wirkung getrunken. So heißt es in einem ägyptischen Text über das Verhalten junger Männer:

> *Du verlässt die Bücher und gehst von Schenke zu Schenke; der Biergenuss allabendlich, der Biergeruch verscheucht die Menschen von dir.*[5]

In der Antike wurde der Wein schließlich ein wesentlicher Bestandteil römischer und griechischer Kultur. Beide Kulturen bedachten ihn mit einer eigenen Gottheit: Bacchus bzw Dionysos. Ebenso sahen die Germanen den Met, der ebenfalls zu den frühesten alkoholischen Getränken gehört, als Geschenk der Götter an.

Vermutlich wurde im Gebiet der heutigen Türkei um etwa 1000 n. Chr. die Destillation von Wein zur Herstellung hochprozentiger Branntweine entwickelt[4] . So war es möglich, den *Spiritus vini* (Geist des Weines) aus Wein herzustellen. In Ostasien wurden schon früh Weine aus Litschi und Pflaumen hergestellt sowie der Sake, ein warm genossener Reiswein (eigentlich gehört Sake aber zu den bierartigen Getränken).

Während des Dreißigjährigen Krieges stieg in Mitteleuropa der Bedarf an berauschenden Getränken (Verarmung, Zerrüttung), während das Angebot stagnierte (Ernteausfälle, Rückgang des Weinbaus, Unsicherheit des Transportes). Mit Branntwein konnte dem am leichtesten begegnet werden. Der Handel, z.T. auch die Produktion der Spirituosen lagen damals oft in den Händen von Juden.

Mitte des 18. Jahrhunderts vergrößerte sich mit der Neuen Welt die landwirtschaftlich nutzbare Fläche des Königreichs England um ein Vielfaches. Dies führte in der Folge zu sinkenden Getreidepreisen und einer damit verbundenen Verarmung der Unterschicht. Die Überproduktion an Getreide wurde zum Teil zur Herstellung von Gin genutzt, der in den Armenvierteln des Mutterlandes dankbare Abnehmer fand. Zeitweise kostete eine Kalorie Gin weniger als eine Kalorie Brot[7] . In der Folge entwickelte sich die *Gin-Krise*, welche die damalige Regierung erst durch eine Reihe von Gesetzen (hohe Steuern auf Gin, Erschwerung des Handels, Ausgabe von Lizenzen für Händler, etc.) beenden konnte. Erst aus dieser Zeit finden sich die ersten Schriften, die sich mit Alkoholabhängigkeit und deren Folgeerkrankungen beschäftigen. Ebenso wurde vor diesem Hintergrund Alkohol zum ersten Mal als Ursache für gesellschaftliche Probleme und Fehlentwicklungen verstanden[7] .

Während sich der Alkoholkonsum Mitte des 19. Jahrhunderts wieder verringerte, begann mit der Industrialisierung wiederum eine Zeit, in der sehr billiger Alkohol auf breite verarmte Bevölkerungsschichten traf. Die industrielle Produktion und die, vor allem nach dem Zweiten Weltkrieg einsetzende, massive Vermarktung der alkoholischen Getränke führten zu einem großen Überangebot in der 1. und 2. Welt. So wurden die Frauen und seit kurzem die Jugendlichen zu Zielgruppen der Nachfrage- und Absatzförderung. Inzwischen zählt man die alkoholbedingten Schäden zu den Zivilisationskrankheiten.

Siehe auch Trinkkultur in Europa und Alkoholmissbrauch

Vorkommen in Lebensmitteln und Getränken

Ethanol ist ein in reifen Früchten und Säften natürlich vorkommendes Produkt der alkoholischen Gärung. Wegen seiner berauschenden Wirkung werden alkoholische Getränke industriell erzeugt. Alkohol ist die am weitesten verbreitete Droge weltweit; regelmäßiger Konsum kann zu Alkoholismus führen.



Diverse Spirituosen

Volumenanteile

Ethanolgehalte (mit Angabe des Gehaltes in Volumenprozent):

- Brot: bis 0,3 % Vol.
- Apfelsaft: bis 0,4 % Vol.
- alkoholfreies Bier: bis 0,5 % Vol.
- Sauerkraut: 0,5 % Vol.
- Traubensaft: bis 0,6 % Vol.
- reife Banane: bis 1 % Vol. (durchschnittlich 3 ml)
- reifer Kefir: bis ca. 1 % Vol.
- Bier
  - Leichtbiere: 1–3,5 % Vol.
  - Vollbiere: ca. 3–5 %, meist um 5 % Vol.
  - Starkbiere: 6–12 % Vol.
- Weine: 7–14 %, Vol. meist um 12 % Vol. und mehr bei Rotweinen
  - Met: ca. 5–16 % Vol.
  - Apfelwein: ca. 5,5–7 % Vol.
- Liköre: ca. 15–75 % Vol., meist unter 30 % Vol.
- Spirituosen: ca. 30–80 % Vol., meist ca. 40 % Vol.



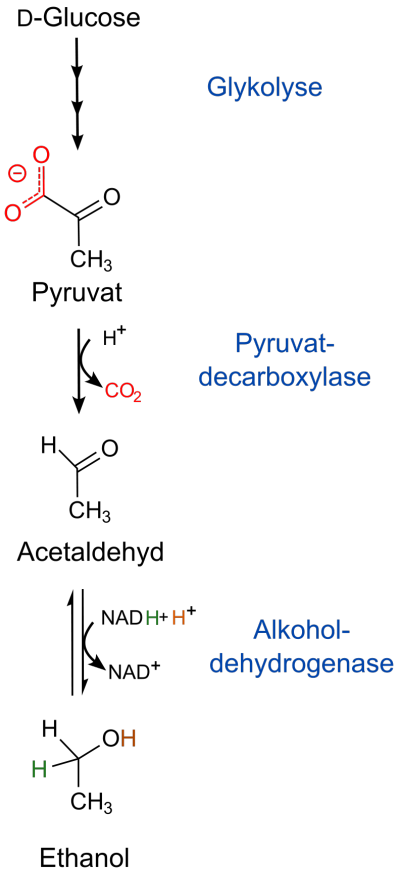
Scotch Whisky

Herstellung

Zum ersten Mal ist die Gewinnung von reinem Alkohol dem persischen Arzt, Naturwissenschaftler, Philosophen und Schriftsteller Abu Bakr Mohammad Ibn Zakariya al-Razi († 925) durch die Destillation aus Wein gelungen (siehe auch alkoholische Gärung).

Herstellung durch Gärung und Synthese

Ethanol entsteht unter anderem bei der Vergärung von zucker- oder stärkehaltigen Materialien durch Hefe oder Bakterien. Daher wird dieser Prozess kontrolliert mit einer Reihe von Nahrungsmitteln durchgeführt, wodurch zum Beispiel Wein (aus Weintrauben) oder Bier (aus Malz und Hopfen) entstehen. Bei einer Ethanolkonzentration nahe 15 Prozent beginnen Hefezellen und Bakterien abzusterben, weswegen durch Gärung keine höhere Konzentration erreicht werden kann.



Ablauf der alkoholischen Gärung

Durch Destillation kann das Ethanol konzentriert werden. Auf diese Art gewonnene Getränke bezeichnet man als Spirituosen (z. B. Whisky, Cognac, Schnaps, Wodka oder Rum). Sie enthalten noch Aromen der verdampften Ausgangslösung, die zumeist ein Wein war. Liköre sind Spirituosen, die mit zuckerhaltigen, aromatischen Flüssigkeiten gemischt werden und daher eine niedrigere Ethanolkonzentration besitzen. Branntwein darf nur beschränkt privat hergestellt werden (max. 0,5 l Maische), es sei denn der Branntwein wird versteuert. Durch intensivere Destillation kann man nahezu wasserfreies Ethanol für technische Anwendungen gewinnen (Azeotrop).

Ethanol kann auch durch rein chemische Synthese aus Wasser und Ethen unter Zugabe von Schwefelsäure als Katalysator herstellt werden. Auf diese Weise wurde es lange Zeit im 20. Jahrhundert aus Erdöl für industrielle Zwecke hergestellt. Dadurch konnte man mit der Radiokohlenstoffdatierung nachweisen, wenn Wein oder Spirituosen mit industriellem Ethanol gepanscht wurden. Die Reaktion fand bei 300 °C und 70 Bar Druck statt.[8]

Inzwischen wird Ethanol hauptsächlich durch Gärung aus Biomasse gewonnen. Im Kontext der Erzeugung von Biokraftstoff spricht man dabei auch von Bioethanol. Agraralkohol ist Ethanol aus Agrarrohstoffen, das in landwirtschaftlichen Brennereien erzeugt wird.

Produktionsmengen

Weltweit werden etwa 330 Millionen hl (33 Mrd. l) Ethanol hergestellt, wovon mit 42 Mio. hl etwa 13 % auf die europäischen Länder fallen. Größte europäische Erzeuger sind Russland und Frankreich. Deutschland erzeugt jährlich fast 4 Mio. hl zu gleichen Teilen als Getränkealkohol und als Alkohol für chemisch-technische Zwecke, was einer Eigenbedarfsdeckung von etwa 62 % entspricht. Neben der Produktion von Neutralalkohol für Getränke, Lebensmittel und technische Zwecke fallen weltweit etwa 65 % auf die Herstellung von Kraftstoffethanol.

Weltweit erzeugten die USA und Brasilien 2005 zusammen über 90 % der Jahresproduktion von 365,67 Mio. hl (36,567 Mrd. l).[9] In den USA wird der Aufbau neuer Produktionsanlagen für Ethanol derzeit besonders forciert, vor allem durch das Gesetz „Energy Policy Act“ (EPACT) von 2005, das den Ausbau von erneuerbaren flüssigen Energieträgern fördern soll. In Brasilien werden gegenwärtig ca. 21 Mrd. Liter - nach 17,3 Mrd. l 2006 und 18,3 Mrd. l 2007[10] - Ethanol hergestellt. Im Jahre 2010 soll die Produktionsmenge bei ca. 30 Mrd. Liter liegen. Brasilien ist auch in der Lage, mit 16 ct/l zum günstigsten Preis Ethanol aus Zuckerrohr produzieren zu können; in den USA müssen für Maisethanol 26 ct/l, in der EU für Ethanol auf Zuckerrübenbasis 45 ct/l aufgewendet werden.[10]

Destillation

Ethanol ist in jedem beliebigen Verhältnis mit Wasser löslich. In der chemischen Synthese kann die Anwesenheit von Feuchtigkeit jedoch gravierende Nachteile haben. Großtechnisch erfolgt daher die Herstellung reinen Ethanols durch azeotrope Rektifikation. Die Anlage besteht hauptsächlich aus zwei Rektifikationssäulen. In der Haupttrennsäule erfolgt die normale Rektifikation des Ethanol-/Wasser-Gemischs bis in die Nähe des azeotropen Punkts. Das Sumpfprodukt ist Wasser.

Dem Kopfprodukt (95,6 % Ethanol und 4,4 % Wasser) wird der Hilfsstoff Cyclohexan beigemischt. Dieses Dreistoffgemisch gelangt in die Hilfsstoff-Trennsäule. Dort erfolgt eine Auftrennung in den im Sumpf anfallenden reinen Alkohol sowie in ein Cyclohexan/Wasser-Gemisch als Kopfprodukt. Cyclohexan und Wasser sind im flüssigen Zustand nicht mischbar und trennen sich nach der Kondensation in einem Abscheider (Dekanter). Der Hilfsstoff Cyclohexan wird am Einlauf der Hilfsstoff-Trennsäule wieder dem zuströmenden azeotropen Ethanol/Wasser-Gemisch beigefügt. Er läuft im Kreislauf im oberen Bereich der Hilfsstoff-Trennsäule und wird deshalb auch als „kopflaufender Hilfsstoff“ bezeichnet.

Bei Temperaturen um −20 °C (Gefrierschrank) verdunstet Ethanol (96 %) kaum noch und zeigt eher zähflüssige Eigenschaften. Bei −70 °C (durch Trockeneis) wird es noch zähflüssiger (*Kühlol*).

Verwendung außerhalb der Genuss- und Nahrungsmittelindustrie

Die Hauptmenge des produzierten Ethanols wird in Form von alkoholischen Getränken für Genusszwecke verbraucht. Es dient weiterhin als Lösungsmittel sowohl für Konsumprodukte u. a. im Haushalt (Parfüm, Deodorant), als auch für medizinische Anwendungen (Medikamente, Desinfektionsmittel) sowie in der Industrie selbst ebenfalls als Lösungsmittel und allgemein als Brennstoff. Für technische Anwendungen wie Kraftstoff, Lösungsmittel oder Brennspiritus werden Ethanol Vergällungsmittel beigemischt, wodurch diese ungenießbar werden und in Deutschland nicht mehr der Branntweinsteuer unterliegen.

Haushalts- und Konsumprodukte

Ethanol findet u. a. als hervorragendes Lösungsmittel überall im Haushalt Verwendung, so als

- Träger für Geruchsstoffe (Parfüm, Deodorant, Duftspray)
- Reinigungsmittel (z.B. Glas, Chrom, Kunststoff, Scheibenwaschanlage, Fleckenentferner)
- Frostschutzmittel
- Lebensmittelzusatz (Portweinen und anderen *Südweinen* wird Ethanol zugegeben (*Aufspritung*), um zum gewünschten Zeitpunkt den Fermentationsprozess zu beenden[11] ; auch kann Ethanol zur Haltbarmachung anderer Lebensmittel zugesetzt werden[12])
- Brennstoff



Lichtspektrum einer blau leuchtenden Spiritusflamme

Medizin

- Die Wirksamkeit als *Desinfektionsmittel* oder Antiseptikum (etwa zur Händedesinfektion) hängt von der Konzentration des Ethanol-Wasser-Gemisches ab. Bei einem optimalen Alkoholgehalt zwischen 50 und 80 %[13] wird die Bakterienhülle zerstört und Ethanol wirkt damit tödlich. Alle Bakterien einschließlich der Tuberkelbakterien werden innerhalb einer Minute

durch Denaturierung der Bakterienzellwand abgetötet (Bakterizidie). Eingeschränkt wirksam ist er gegen Viren, nicht wirksam gegen Bakterien-Endosporen. Bei offenen Wunden sollte das Gemisch nicht eingesetzt werden (*Brennen*). Lösungen mit über 80 % Alkoholgehalt zeigen eine noch stärkere Wirkung, aber werden aufgrund der mangelnden Hautverträglichkeit nicht regelmäßig eingesetzt. Wasserfreies Ethanol härtet die Bakterienhülle, die Bakterien bleiben dadurch am Leben.[14] Das Trinken von Ethanol oder alkoholischen Getränken wirkt nicht antiseptisch. Getränke mit einem Ethanolgehalt von weniger als 20 % töten praktisch keine Keime ab. Durch Kombination mit Alkalien (etwa 1 %) oder Peroxycarbonsäuren (0,2 bis 0,5 %) wird die Wirksamkeit – auch gegen Viren und Sporen – stark verbessert.[13]

- 95%iges Ethanol kann zur Verödung „heißer“ Schilddrüsenknoten und anderer umschriebener Tumore benutzt werden;[15] das Verfahren wird als *Perkutane Ethanol-Injektionstherapie* bezeichnet.[16]
- Viele flüssige Medikamente enthalten Ethanol als Lösungsmittel oder Lösungsvermittler, da die wirksamen Substanzen in Wasser schlecht oder unlöslich sind. Ethanol selbst ist mit Wasser beliebig mischbar. Es ist dadurch eine wichtige Trägersubstanz bei der Herstellung pflanzlicher Medikamente (Phytomedizin).
- Durch Einreiben der Haut mit hochprozentiger Ethanollösung (z. B. Franzbranntwein) wird die Durchblutung gefördert.
- Eine weitere Anwendung ist der Einsatz von Ethanol zur Behandlung von Insektenstichen. Ein alkoholgetränktes Tuch wird dazu einige Zeit auf den frischen Stich gelegt. Die Schmerzlinderung geschieht aufgrund der kühlenden Wirkung der Ethanollösung; der Juckreiz wird unterdrückt. Eine chemische Veränderung oder Inaktivierung von Giften bewirkt Ethanol jedoch nicht.
- Bei einer Vergiftung mit Methanol wird als erste Maßnahme Ethanol intravenös gegeben, sodass es die Umwandlung von Methanol über das Enzym Alkoholdehydrogenase in das giftige Methanal vorläufig verdrängt. Ethanol bindet ca. 25-mal stärker an Alkoholdehydrogenase als Methanol.[17]
- Bei einer schweren Alkoholsucht kann ein Alkoholprädelir mit Ethanol unterbrochen werden, um eine akute Zweiterkrankung ohne die sonst auftretenden Symptome behandeln zu können.
- Ethanol und ethanolhaltige Getränke dürfen nicht zur Aufwärmung nach einer Unterkühlung gegeben werden, da es die Symptome nur forciert. Das angebliche Fässchen Rum bei den Bernhardiner-Hunden als Ration für Unterkühlte ist daher vom medizinischen Standpunkt lebensgefährlich.

Ethanol als Kraftstoff

Hauptartikel: Ethanol-Kraftstoff, Bioethanol und Cellulose-Ethanol

Ethanol findet als Ethanol-Kraftstoff in Form des biogenen Bioethanol Verwendung als Kraftstoff für Otto-Motoren, wobei vor allem Mischungen mit Benzin vorliegen. Dafür kann sowohl fossiles als auch aus regenerativer Biomasse hergestelltes *Bioethanol* verwendet werden, da es chemisch gesehen keinen Unterschied zwischen beiden Arten gibt. Aufgrund der Verfügbarkeit, der Herstellungskosten und politischer Fördermaßnahmen wird heute vor allem Bioethanol verwendet, das auf der Basis von fermentierbarem Zucker (Zuckerrohr und Zuckerrübe) und Stärke (vor allem Mais- und Weizenstärke) erzeugt wird. Als Zukunftsoption wird zudem die Nutzung von Cellulose-Ethanol aus Holz diskutiert.

Ethanol wird vor allem als Beimischung zu herkömmlichem Kraftstoff genutzt, beispielsweise in einer Konzentration von 5 % Ethanol (E5 als Beimischung in gewöhnlichem Fahrzeugbenzin) oder 85% Ethanol (als E85 für dafür geeignete Fahrzeuge). Im Zusammenhang mit dem Kyoto-Protokoll wird heute häufig über die Herstellung und den Einsatz biogener Treibstoffe (Biokraftstoffe) und die Reduzierung von Kohlenstoffdioxid-Emissionen pro gefahrenem Kilometer debattiert.

Ethanol wurde nach einer Entwicklung von Wernher von Braun zudem bis in die 1950er-Jahre als Treibstoff für die Raketen der Typen A1, A2, A3, A4, A4b und A5 verwendet. Im Unterschied zu Benzin kann es durch Verdünnen mit Wasser für Testzwecke leicht der Brennwert heruntergesetzt werden, um bei Probeläufen von Triebwerken

Explosionen zu verhindern, zum anderen war Ethanol während des Zweiten Weltkriegs leicht aus landwirtschaftlichen Produkten gewinnbar, im Gegensatz zum knappen Benzin.

Weitere Nutzung von Ethanol

Ethanol ist ein wichtiges Lösungsmittel und Zwischenprodukt in der Chemischen Industrie.

Besteuerung und Vergällung

Grundsätzlich unterliegt Ethanol in Deutschland der Branntweinsteuer. Diese beträgt derzeit € 13,03 / Liter reinem Alkohol und wird in Deutschland von der Zollverwaltung beim Hersteller erhoben.

Die Verwendung von Ethanol ist für technische Zwecke (Druckerei, Lackherstellung, Reinigungsmittelproduktion, Kosmetik und ähnliche) und als Brennspiritus steuerfrei möglich. Um zu verhindern, dass dieses Ethanol ohne Entrichtung der Steuer als Genussmittel getrunken oder solchen beigefügt wird, wird unversteuerter Alkohol unter Zollaufsicht vergällt. Vergällung bedeutet, dass Ethanol mit anderen Chemikalien, wie beispielsweise MEK (Methylethylketon = 2-Butanon, mit zwei weiteren branntweinsteuerrechtlich vorgeschriebenen Markierungskomponenten), Petrolether, Cyclohexan, Phthalsäurediethylester (Diethylphtalat) oder ähnlichem versetzt wird, um es für den menschlichen Genuss unbrauchbar zu machen.

Bei dem in Form von *Brennspiritus* als *Brennstoff* verwendeten Ethanol, beispielsweise für Rechauds sowie Camping- und Expeditionskocher, wird dem Ethanol zusätzlich zum MEK noch das extrem bittere Denatoniumbenzoat (1 Gramm/100 Liter) beigemischt. Die früher übliche Verwendung von Pyridinen als Vergällungsmittel für Brennspiritus ist branntweinsteuerrechtlich zwar immer noch erlaubt, diese werden aber wegen ihrer gesundheitlichen Bedenklichkeit seit ca. 1993 von deutschen Herstellern nicht mehr eingesetzt.

Zu beobachten ist zudem, dass einige Spiritusabfüller, vermutlich aus Kostengründen, dem Ethanol diverse Fremdstoffe, Regenerate etc. beimischen. Abfüller, die in ihrem Produkt nur Ethanol verwenden, werden dies zumeist durch die Kennzeichnung „UN 1170“ auf der Flasche deutlich machen.

Die Vergällungsmittel haben meist ähnliche Siedepunkte wie Ethanol, so dass sie sich durch Destillieren nur schwierig entfernen lassen. Die Vergällungsmittel Diethylphtalat (Verwendung auch als Weichmacher) und MEK stellen ein Problem bei der Verwendung als Reinigungsmittel dar: Farben und Lacke, die an sich resistent gegen Ethanol sind, können erweichen oder angegriffen werden.

Brennspiritus ist nicht zu verwechseln mit sogenanntem *Trockenspiritus*, leicht entzündlichen weißen Würfeln, die meistens aus Urotropin (Hexamethylentetramin) oder dem Tetramer des Alkanals Ethanal, Metaldehyd, bestehen. Ein bekanntes Produkt ist der Trockenbrennstoff Esbit.

Physikalische und chemische Eigenschaften

Flammpunkt	12 °C
Zündtemperatur	425 °C (DIN 51794)
Explosionsgrenzen	untere: 2,5 Vol.-%/obere: 15 Vol.-%
Schallgeschwindigkeit	1180 $m \cdot s^{-1}$ (20 °C) Temp.-Abhängigkeit: −3,6 $m \cdot s^{-1} \cdot °C^{-1}$
Energiedichte pro kg	7,44 $kWh \cdot kg^{-1}$ = 26,78 $MJ \cdot kg^{-1}$
Energiedichte pro Liter	5,87 $kWh \cdot l^{-1}$ = 21,14 $MJ \cdot l^{-1}$
dynamische Viskosität	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$ Pa·s (20 °C)
kinematische Viskosität	$1{,}52 \cdot 10^{-6}$ $m^2 \cdot s^{-1}$ (20 °C)

Oberflächenspannung	0,02255 $N \cdot m^{-1}$ (20 °C)
Brechungsindex	1,359
Biologische Abbaubarkeit	94 % (OECD 301 E)
UN-Nummer	1170
Gefahrennummer	30 + 33

Herausragendes Merkmal des Ethanols ist seine Hydroxylgruppe. Da ein Sauerstoff-Atom Elektronen stärker anzieht als Wasserstoff und Kohlenstoff, resultiert eine asymmetrische Verteilung der Elektronendichte entlang dieser Bindung: Es bildet sich ein molekularer Dipol. Dieser verleiht Ethanol seine typischen Eigenschaften. Zum einen ziehen sich die Dipole auf molekularer Ebene gegenseitig an, so dass eine vergleichsweise hohe Siedetemperatur von 78 °C resultiert (S_p Ethan −88,6 °C), zum anderen ist Ethanol mit Flüssigkeiten mischbar, die ähnliche Dipoleigenschaften aufweisen (Wasser, Methanol, …), man spricht von Hydrophilie. Gleichzeitig besitzt das Molekül einen organischen Rest, der ihm eine begrenzte Mischbarkeit mit rein lipophilen Substanzen verleiht. Aus diesem Grund ist Ethanol in der Chemie ein wichtiges Lösungsmittel, so werden viele Pflanzenauszüge oder andere Medikamente als alkoholische Lösung angeboten.

Volumenkontraktion

Ethanol ist in jedem Verhältnis mit Wasser mischbar. Durch Kontraktion kommt es dabei zu einer Abnahme des Gesamtvolumens, das theoretisch aus der Summe der Einzelvolumina entstehen müsste. Mischt man 50 ml Ethanol mit 50 ml Wasser erhält man nur 97 ml Ethanol-Wasser-Gemisch.

Säure-Base-Aktivität

Die OH-Gruppe des Ethanols ist mit einem pK_s-Wert von 16[2] sehr schwach sauer, d. h., sie ist mit extrem starken Basen (wie etwa den Alkalimetallen Natrium und Kalium) in der Lage, ein Proton (H^+) abzuspalten. In der Chemie überführt man den Alkohol durch Umsetzen mit Alkalimetallen quantitativ in seine deprotonierte Form, das Ethanolat-Ion ($CH_3CH_2O^-$). Die Reaktion verläuft unter Entwicklung von Wasserstoff:

$$2\ CH_3CH_2OH + 2\ Na \longrightarrow 2\ CH_3CH_2O^- + 2\ Na^+ + H_2$$

Ethanol und Natrium reagieren zu Natriumethanolat und Wasserstoff.

Nukleophile Substitution

In aprotischen Lösungsmitteln reagiert Ethanol mit Halogenwasserstoffen über eine nukleophile Substitution zu Ethylhalogeniden:

$$CH_3CH_2OH + HCl \longrightarrow CH_3CH_2Cl + H_2O$$

Ethanol und Chlorwasserstoff reagieren zu Ethylchlorid und Wasser.

$$CH_3CH_2OH + HBr \longrightarrow CH_3CH_2Br + H_2O$$

Ethanol und Bromwasserstoff reagieren zu Ethylbromid und Wasser.

Ethylhalogenide können auch spezifischer durch Halogenierungsreagenzien wie Thionylchlorid oder Phosphortribromid gebildet werden.

Veresterung

Säurekatalysiert reagiert Ethanol mit Carbonsäuren zu Ethylestern:

$$\mathrm{RCOOH + HOCH_2CH_3 \longrightarrow RCOOCH_2CH_3 + H_2O}$$

Carbonsäuren reagieren mit Ethanol zu Ethylestern und Wasser.

Ethylester finden Verwendung als Zusätze für Kosmetika, sowie Geruchs- und Geschmacksstoffe.

Dehydratation

Sehr starke Säuren, wie Schwefelsäure, können eine Dehydratation des Ethanols katalysieren. Es bilden sich entweder Diethylether oder Ethen:

$$\mathrm{2\ CH_3CH_2OH \longrightarrow CH_3CH_2OCH_2CH_3 + H_2O}$$

Ethanol kondensiert zu Diethylether unter Abspaltung von Wasser.

$$\mathrm{CH_3CH_2OH \longrightarrow H_2C=CH_2 + H_2O}$$

Ethanol spaltet in einer Eliminierungsreaktion Wasser unter Bildung einer Doppelbindung ab.

Welches Produkt sich formt, hängt im Wesentlichen von weiteren Reaktionsbedingungen, wie Temperatur oder Konzentrationen ab. Bei der Reaktion kann unter ungünstigen Reaktionsbedingungen weiterhin das hochgiftige Diethylsulfat als Rückstand verbleiben.[18]

Oxidation

Ethanol ist thermodynamisch instabil und kann daher bei Anwesenheit von Luftsauerstoff bereits bei Raumtemperatur über Acetaldehyd bis hin zur Essigsäure oxidiert werden. Derartige Reaktionen werden beispielsweise in biologischen Systemen von Enzymen katalysiert. Im Labor dienen kräftige anorganische Oxidationsmittel wie Chromsäure oder Kaliumpermanganat zur Oxidation zu Essigsäure. Die teilweise Oxidation bis zum Acetaldehyd gelingt mit schwächeren Oxidationsmitteln, etwa mit Pyridiniumchlorchromat (*PCC*).

Verbrennung

Die Oxidation des Ethanols muss nicht auf der Stufe der Essigsäure stehenbleiben. Unter geeigneten Bedingungen, beispielsweise bei hohen Temperaturen, verbrennt Ethanol unter Flammenbildung bei vollständiger Oxidation mit einem Heizwert von etwa 30 MJ/kg zu Kohlendioxid und Wasser:

$$\mathrm{CH_3CH_2OH + 3\ O_2 \longrightarrow 2\ CO_2 + 3\ H_2O}$$

Ethanol reagiert mit Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid und Wasser

Physiologisches

Aufnahme und Abbau

Ethanol wird im gesamten Verdauungstrakt aufgenommen. Dies beginnt in geringem Umfang bereits in der Mundschleimhaut. Das dort resorbierte Ethanol geht direkt in das Blut über und wird damit über den gesamten Körper einschließlich des Gehirns verteilt. Der im Darm aufgenommene Alkohol gelangt dagegen zunächst mit dem Blut in die Leber, wo er teilweise abgebaut wird. Die Ethanolaufnahme wird durch Faktoren, die die Durchblutung steigern, erhöht, beispielsweise Wärme (Irish Coffee, Grog), Zucker (Likör) und Kohlenstoffdioxid (aus Kohlensäure in Sekt); Fett verlangsamt dagegen die Aufnahme. Dies führt aber nicht zu einer niedrigeren Resorption des Alkohols insgesamt, sondern nur zu einer zeitlichen Streckung.[19]

In der Leber wird der Alkohol - wie andere wasserlösliche Gifte - durch die Enzyme Alkoholdehydrogenase (*ADH*) und Katalase sowie das *MEOS-System* zu Ethanal (Acetaldehyd, $\mathrm{H_3C\text{-}CHO}$) abgebaut, um weiter durch Acetaldehyddehydrogenase zu Essigsäure oxidiert zu werden. Die Essigsäure wird über den Citratzyklus und die

Atmungskette in allen Zellen des Körpers unter Energiegewinnung zu CO_2 veratmet. Die Leber kann bei erheblich gesteigertem, regelmäßigem Konsum ihre Abbauaktivität in geringem Maße anpassen. Das Zwischenprodukt Ethanal ist auch für die so genannten „Kater"-Symptome wie Kopfschmerzen, Übelkeit und Erbrechen[20] mitverantwortlich. Der Abbau des Ethanals wird durch Zucker gehemmt, daher ist der Kater bei süßen alkoholischen Getränken, insbesondere Likör, Bowlen und manchen Sektsorten besonders intensiv.

Die Abbaurate durch die Alkoholdehydrogenase ist innerhalb gewisser Grenzen konstant. Sie beträgt zwischen 0,1 und 0,3 ‰ des Blutalkoholspiegels pro Stunde (je nach Körpergewicht), wobei die Abbauzeiten von Männern und Frauen geringfügig variieren.[21] Eine Flasche Bier (½ l, 16 g Alkohol) wird danach in 1–2 Stunden abgebaut. Bei Männern findet sich eine leicht erhöhte Aktivität der gastrischen Alkoholdehydrogenase im Magen, mit der Folge einer geringfügigen Beschleunigung des Alkoholabbaus. Hochdosierte Aufnahme von Fructose *kann* bei manchen Menschen durch Unterstützung des Katalase-Ethanolabbaus zu einer schnelleren Metabolisierung führen.[20] Bei höherer Alkoholkonzentration oder bei chronischen Trinkern wird der Alkohol zusätzlich über das *mikrosomale Ethanol oxidierende System* (*MEOS*) abgebaut. Dabei wird Ethanol in den Mikrosomen der Leberzellen durch Cytochrom P450 (CYP2E1) unter Sauerstoffverbrauch ebenfalls zu Ethanal oxidiert. Dieser Effekt gepaart mit einer Desensibilisierung des vegetativen Nervensystems führt zu einer höheren Alkoholresistenz bei „trainierten Trinkern" und „Spiegeltrinkern". Diese Desensibilisierung durch Gewöhnung kann so weit gehen, dass Trinker mit zwei und mehr Promille keinerlei Verhaltensauffälligkeiten zeigen.

Andere Alkohole aus unsauber destillierten Spirituosen, die so genannten Fuselöle, werden ebenfalls durch die Alkoholdehydrogenase bzw. Acetaldehyddehydrogenase abgebaut. Dieser Abbau tritt damit zum Abbau des Ethanols in Konkurrenz, welcher in Folge dessen langsamer abgebaut wird. Etwa fünf Prozent des Ethanols werden über Urin, Schweiß und Atemluft abgegeben.

Blut- und Atemalkohol

Ein objektives Maß für die alkoholische Beeinflussung stellt die Alkoholkonzentration im venösen Blutkreislauf und in der Atemluft dar, wobei nur begrenzte Aussagen über die physiologische Beeinträchtigung möglich sind, da diese stark von individuellen Einflüssen, insbesondere der Alkoholgewöhnung, abhängen.



Alkotester Dräger 7310

Die Höhe der Blutalkoholkonzentration (BAK) bzw. der Atemalkoholkonzentration (AAK) ist mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit mit dem Risiko von Ausfallerscheinungen oder Unfällen gegenüber dem nüchternen Zustand verbunden, die die Grundlage der gesetzlichen Promillegrenzen darstellen.

Die Blutalkoholkonzentration wird bei Männern wie folgt errechnet (nach Watson):

BAK = 0,8/[(2,447 - 0,09516 * Alter in Jahren + 0,1074 * Größe in cm + 0,3362 * Gewicht in kg)] * Alkohol in g

Die erreichbare BAK ist von der aufgenommenen Trinkmenge, der Körpermasse und dem Geschlecht abhängig, aber auch von Faktoren wie Statur und Alter sowie Füllzustand des Magens. Zur Berechnung der (nur theoretisch) maximal erreichbaren BAK dient die Widmarkformel. Als Maßeinheit dient das Massenverhältnis Milligramm Alkohol pro Gramm Blut (mg/g), besser bekannt als Promillewert.

Die AAK kommt dadurch zustande, dass in den Lungenbläschen (Alveolen) ein Übergang des Alkohols aus dem arteriellen Blutkreislauf in die eingeatmete Luft

erfolgt, womit beim Ausatmen Alkohol abgegeben wird. Als Maßeinheit dient die Alkoholmenge in Milligramm pro Liter Atemluft (mg/l). Eine direkte Umrechnung von AAK in BAK ist nicht exakt möglich, da sich das Verhältnis zeitlich verändert. Daher existieren in der Bundesrepublik Deutschland zwei separate Grenzwerte, die juristisch gleichgesetzt sind und auf dem mittleren Verteilungsfaktor von 1:2000 beruhen. Damit entsprechen 0,5 mg/g BAK 0,25 mg/l AAK.

Unmittelbare physiologische Wirkung

Alkohol bewirkt situativ eine Betäubung, eine Stimulation oder auch einen Stimmungswandel.

Er führt auch zu einer Erweiterung insbesondere der peripheren Blutgefäße. Daraus ergibt sich ein Wärmegefühl beim Konsum alkoholhaltiger Getränke. Dabei wird die natürliche Regulierung des Wärmehaushalts bei niedrigen Temperaturen außer Kraft gesetzt. Zugleich wirkt Alkohol betäubend, so dass bedrohliche Kälte nicht mehr wahrgenommen wird. Daher können Erfrierungen bis hin zum Kältetod die Folge winterlichen Alkoholkonsums sein.

Problematisch ist auch die Kombination von Alkohol mit Medikamenten und anderen Drogen. Hier gibt es vielfältige Wechselwirkungen, die zu einer vorzeitigen und intensiveren Beeinträchtigung als bei reinem Alkoholkonsum führen können. Das beim Alkoholabbau gebildete Cytochrom P450 2E1 kann die Wirksamkeit von Medikamenten durch deren Abbau beeinträchtigen. Viele der „Drogentoten“ (insbesondere der angeblichen Heroinopfer) starben an einem Mischkonsum mit Alkohol.

Giftigkeit

Für den Menschen ist Ethanol giftig. Die Aufnahme führt - ab etwa 0,5–1 Promille Alkoholkonzentration im Blut - zu typischen akuten Trunkenheitssymptomen wie Schwindel, Übelkeit, Orientierungsstörung, Redseligkeit und gesteigerter Aggressivität. Die Letale Dosis (LD) liegt etwa bei 3,0 bis 4,0 Promille für ungeübte Trinker. Es wurden jedoch schon Werte über 7 Promille gemessen.[22] Die LD_{50} beträgt für die Ratte 7.060 mg/kg bei oraler Applikation.[23] Bei einer akuten Ethanolvergiftung kann der noch im Magen befindliche Alkohol durch Herbeiführen von Erbrechen oder durch Auspumpen des Mageninhalts teilweise entfernt werden.

Die regelmäßige Einnahme, die zu einer Abhängigkeit (Alkoholkrankheit) führen kann, werden alle Zellen des Körpers geschädigt. Insbesondere leiden das Nervensystem und Gehirn sowie die Leber. Der Vitamin B_1-Stoffwechsel wird durch langanhaltenden Alkoholkonsum geschädigt, diese Schädigung kann eine Polyneuritis auslösen. Epilepsie, Psychosen, soziale Vereinsamung und der verfrühte Tod können die Folge sein. Die Wernicke-Enzephalopathie findet sich bei etwa 15 % der verstorbenen Alkoholiker, und bildet zusammen mit dem Korsakow-Syndrom das Wernicke-Korsakow-Syndrom. Bekannt ist auch die Schädigung des Zentralnervensystems beim Delirium tremens. Diese Nervenerscheinung tritt beim Alkoholentzug des Körpers auf. In Deutschland sterben über 73.000 Menschen jährlich vorzeitig aufgrund ihres Alkoholmissbrauchs.[24] .

Wirkungen auf Nervensystem und Gehirn

Die akuten Wirkungen des Ethanols beruhen auf einer Schädigung von allen Körper- und vorwiegend Nervenzellen sowie auf einen Einfluss auf den Hirnstoffwechsel.[25] Es stimuliert dabei die GABA-Rezeptoren in Gehirn und Nervensystem und hemmt die NMDA-Rezeptoren.[26] Dies führt generell zu einer Hemmung der Reizübertragung im ZNS, aber gleichzeitig zu Sensitivitätssteigerung[27] und nachfolgend dosisabhängig zur Enthemmung, Beeinflussung des Gleichgewichtssinns und Sehvermögens (verengtes Blickfeld, *Tunnelblick*), der Muskelkontrolle und bis zu aggressivem Verhalten. Größere Mengen wirken akut betäubend und können zu Erinnerungslücken führen.[28] Weiterhin kann Ethanol den programmierten Zelltod von Gehirnzellen über eine komplexe Wirkungskette triggern.[29] Dies beginnt bei der Wirkung auf GABA- und NMDA-Rezeptoren, welche über eine Zerstörung der Mitochondrien-Membran die Umwandlung von Cytochrom c zu Caspasen auslösen. Diese Peptidasen führen dann über die Zerstörung des Zellkerns zum Tod der Zelle.[26]

In einer Studie mit etwa 2.800 Personen, die jeweils mindestens 55 Jahre alt waren, wurden zunächst zwischen 1987 und 1989 die Daten der Personen erfasst. Von 1993 bis 1995 wurden dann bei noch rund 1.900 der Versuchspersonen über eine Kernspintomographie die Schädigungen des Gehirns ermittelt. Bei der Datenaufnahme waren die Probanden je nach Alkoholkonsum in fünf verschiedene Gruppen eingeteilt worden. Dabei zeigte sich, dass auch bei geringer Alkoholaufnahme das Hirngewebe in geringem Maße schrumpfte; weiterhin war kein Zusammenhang zwischen der Menge des konsumierten Alkohols und der Anzahl von Hirn- oder Herzinfarkten nachweisbar.[30] [31]

Starker Alkoholkonsum führt zu einem als Trunkenheit bezeichneten Zustand. Dieser ist einerseits durch körperliche Veränderungen wie etwa psychisch durch erhöhte Emotionalität, andererseits durch eine veränderte Bewusstseinswahrnehmung und verringerte geistige Leistungsfähigkeit gekennzeichnet. Dabei zeigen neue Studien, dass es dabei zu einer Verringerung der Aktivität der Gehirnregion kommt, die für das Erkennen von Gefahren benötigt wird.[32] Meistens führt erheblicher Alkoholkonsum zu Übelkeit und Erbrechen. Dabei wird allerdings nur der Teil des Alkohols ausgeschieden, der noch nicht in die Blutbahn gelangt ist.

In noch größeren Mengen setzt eine akute Alkoholvergiftung ein, die bis zum Koma oder dem direkten Tod führen kann. Besonders gefährlich ist der schnelle Konsum von hochprozentigen Spirituosen, da die Übelkeitsschwelle langsamer eintritt als ein lebensbedrohlicher Anstieg des Blutalkoholspiegels. Beim schnellen Trinken einer ganzen Flasche Schnaps, diese enthält 150–200 ml Ethanol, kann durch Lähmung des Hirnstammzentrums ein tödlicher Kollaps eintreten. Ferner kann eine zusätzliche Vergiftung drohen, wenn das Genussmittel mit größeren Mengen an Nebenprodukten verunreinigt ist wie Fuselalkoholen oder Methanol, die bei der Spirituosen zugrundeliegenden Destillation angereichert werden können.

Abhängigkeit

siehe Hauptartikel Alkoholabhängigkeit

Verschiedene physiologische Auswirkungen des Ethanols - wie stimmungsaufhellende, stimulierende und angstlösende Effekte - können eine Abhängigkeit oder *Alkoholsucht* erzeugen. Diese Effekte beruhen vorwiegend auf der erhöhten Produktion von Dopamin und Endorphinen. Aber auch die starken Entzugssymptome begünstigen eine einmal vorhandene Abhängigkeit.[27]

Andere Auswirkungen und Schäden

Chronische Aufnahme von Ethanol schädigt neben Nervenbahnen und Leber vorwiegend Pankreas, Herz und Gehirn, [21] da diese Ethanol nicht zu Acetaldehyd oxidieren können. Es entstehen Fettsäureethylester, welche die Gewebe schädigen.[33]

Menge alkoholhaltiger Getränke	Blutalkoholspiegel	Wirkungen
1 Glas Bier (0,33 l) oder 0,2 l Wein	< 0,2 ‰	enthemmende Wirkung mit Steigerung der Redseligkeit
2–3 Gläser Bier oder 0,5 l Wein	0,5–1 ‰	„Schwips“ mit Enthemmung, Selbstüberschätzung, Nachlassen der Reaktionsfähigkeit
5–9 Gläser Bier oder 1–1,5 l Wein	1–2 ‰	deutliche Angetrunkenheit, beginnende Ataxie, verminderte Sehleistung, teils Aggressivität, Uneinsichtigkeit
11–16 Gläser Bier oder 2–3 l Wein	2–3 ‰	Trunkenheit, Rausch, starke Ataxie, Denk- und Orientierungsstörungen, später teils Amnesie
	ab 3 ‰	schwerer Rausch, Benommenheit bis zur Bewusstlosigkeit, Lebensgefahr durch Atemlähmung, Aspiration von Erbrochenem und Unterkühlung
	6–8 ‰	meist tödlich
Quelle [21] Hinweis: Diese Angaben sind Durchschnittswerte und können sehr stark variieren.		

Alkohol hat auch Auswirkungen auf Sexualität und Fruchtbarkeit. Ethanol erzeugt eine Erhöhung des Östrogenspiegels im Blut der Frau, was in Mengen ab 0,5-1 ‰ zu Fertilitätsstörungen führen kann. Beim Mann bewirkt dieselbe Menge Ethanol (zwei Gläser Wein oder eine Flasche Bier) eine Verringerung der Menge an Sperma und gleichzeitig des Prozentsatzes von normalen Spermien um bis zu 34 %. [34] Dies wird durch die von Ethanol erzeugte Reduktion der Testosteronproduktion beim Mann begründet. Aufnahme größerer Mengen kann bis zur Hoden-Atrophie führen.[35] Alkoholkonsum führt zwar zu einer Enthemmung, speziell bei Männern auch zu einer Steigerung der Libido. Parallel dazu verringert sich allerdings ab etwa 0,4 ‰[36] die Erektionsfähigkeit bis hin zur völligen erektilen Dysfunktion.[21]

Mangelsymptome durch Ethanol

Regelmäßiger Alkoholkonsum kann zu Mangelerscheinungen verschiedener Vitamine, Körperelektrolyte und Spurenelemente führen. So waren bei Patienten mit alkoholischer Lebererkrankung die fettlöslichen Vitamine Retinol (*Vitamin A*), Cholecalciferol (*Vitamin D*) und Tocopherol (*Vitamin E*) in Leber, Blut und gesamtem Organismus deutlich reduziert.[20] Retinol wird dabei in Anwesenheit von Ethanol verstärkt metabolisiert, wobei teils Karzinogene entstehen.[37] [38] Der Vitamin D-Mangel zeigt sich in verstärktem Auftreten von Frakturen und Osteoporose bei Alkoholkranken. Bei den E-Vitaminen, die aus verschiedenen Isomeren des Tocopherols bestehen, induziert Ethanol eine Verschiebung des Anteils vom α- zum sehr viel schwächer wirksamen γ-Isomer und damit Mangelsymptome. Auch alle wasserlöslichen Vitamine treten bei Alkoholismus vermindert auf, wobei vorwiegend Thiamin (*Vitamin* B_1), Pyridoxin (*Vitamin* B_6) und Folsäure betroffen sind. Alkoholaufnahme vermindert die Resorption von Vitamin B_1 im Dünndarm und stört auch die Aktivierung des Thiamins durch Hemmung seiner Phosphorylierung. Dies kann – insbesondere bei gleichzeitiger Aufnahme von Diuretika – zu einem Herzversagen führen.[20] Ethanol blockiert die Bildung von Pyridoxal-5-Phosphat aus Vitamin B_6, das im Organismus auch durch das aus Alhohol entstehende Ethanal zerstört wird. Folsäure wird ebenfalls vermindert resorbiert; ein Mangel bewirkt wiederum eine niedrigere Aufnahme von Thiamin im Darm. Der Folsäuremangel führt zu den stärksten akuten Symptomen bei Alkoholkranken wie Blutbildungsstörungen (*makrozytäre Anämie*), neurologischen Störungen (Vergesslichkeit und Schlafstörungen) sowie Fetusmissbildungen bei Schwangeren. Starker Alkoholkonsum kann ebenfalls einen Mangel wichtiger Elektrolyte und Spurenelemente, vorwiegend von Zink, Magnesium und Selen verursachen. Zinkmangel bedingt dabei eine Verstärkung der Giftigkeit des Ethanols, da das Enzym Alkoholdehydrogenase, welches Ethanol im Körper abbaut, abhängig von Zink ist.

Alkohol in der Schwangerschaft

Alkoholkonsum der Mutter während der Schwangerschaft kann zum sogenannten fetalen Alkoholsyndrom (FAS) führen. Dieses ist häufig durch eine Beeinträchtigung der geistigen Entwicklung des Kindes sowie körperliche Fehlbildungen (z. B. Herzfehler) gekennzeichnet. Jedes Jahr werden 10.000 alkoholgeschädigte Kinder in Deutschland geboren, davon 4.000 Kinder mit dem Vollbild des fetalen Alkoholsyndroms. Schädigungen bei Kindern alkoholabhängiger Mütter gehören damit zu den häufigsten der pränatal bedingten Gesundheitsschäden und sind häufiger als das Down-Syndrom. Generell ist in der Schwangerschaft jeglicher Alkoholkonsum zu vermeiden. Schon kleine Mengen können für das Kind fatale Folgen haben. Einer Studie der Berliner Charité zufolge konsumieren 58 Prozent aller Schwangeren gelegentlich alkoholische Getränke. Alkoholkonsum in der Schwangerschaft ist in Deutschland derzeit nicht strafbar (vgl. Kindesmisshandlung). [39] [40] [41]

Todesursache Alkoholabhängigkeit und -missbrauch

Hauptartikel: Alkoholkrankheit

Alkohol kann eine sehr starke und körperliche und/oder psychische Abhängigkeit erzeugen, die körperliche Abhängigkeit ist verbunden mit heftigen Entzugserscheinungen. Bis zu 2 Millionen Menschen sind allein in Deutschland alkoholkrank, ca. 10 Millionen von Abhängigkeit bedroht.

In Deutschland starben im Jahr 2002 circa 40.000 Menschen durch Alkoholmissbrauch [42] , was wiederum ca. zwei Prozent aller Sterbefälle entsprach, wobei Männer dreimal häufiger betroffen waren als Frauen.

Die häufigste alkoholbedingte Todesursache war die alkoholische Leberzirrhose mit 9.550 Toten.[43] Die Zahlen der WHO vom 29. Dezember 2004 belaufen sich für das Jahr 2004 auf 21.675 Tote, davon 8.381 Kinder im Alter zwischen 10–15 Jahren. Eine Krankheit, mit einer Mortalität (Todesrate) von über 50 Prozent, die insbesondere in Verbindung mit Alkohol und fettem Essen ausgelöst wird, ist die Pankreatitis (Bauchspeicheldrüsenentzündung).

Die damalige Drogenbeauftragte der Bundesregierung und Staatssekretärin im Bundesgesundheitsministerium, Marion Caspers-Merk, sprach für 2003 von 40.000 Todesfällen als Folge des Alkoholkonsums in Deutschland, wobei, im Vergleich, 1.477 Personen durch illegale Drogen verstorben sind und 110.000 als Folge des Tabakrauchens.[44]

Hilfe bieten Ärzte oder Selbsthilfegruppen wie die Anonymen Alkoholiker oder die Guttempler, ebenso Suchtberatungsstellen sowie verschiedene andere Selbsthilfegruppen.

Krebsrisiko

Übermäßiger Konsum von Alkohol kann neben teils unheilbaren Erkrankungen wie Leberzirrhose und Nervenerkrankungen auch viele Krebsarten (wie Magenkrebs und Speiseröhrenkrebs) erzeugen. Der regelmäßige Konsum selbst kleiner Mengen alkoholischer Getränke erhöht vielen wissenschaftlichen Studien zufolge das generelle Krebs- sowie insbesondere auch das Brustkrebsrisiko. [45] [46] [47]

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (*IARC*, „International Agency for Research on Cancer“) hat im Februar 2007 durch eine internationale Arbeitsgruppe eine Neubewertung der Folgen des Konsums alkoholischer Getränke vorgenommen und aus folgenden Gründen pauschal „Ethanol in alkoholischen Getränken“ als karzinogen für den Menschen (Gruppe 1) eingestuft: Das Vorkommen von malignen Tumoren von Mundhöhle, Rachenhöhle, Kehlkopf, Speiseröhre, Leber, weiblicher Brust und Colorectum steht in kausalem Zusammenhang mit dem Konsum alkoholischer Getränke, wie zahlreiche Studien zeigen. Gegenüber der früheren Bewertung im Jahre 1988 sah es die IARC-Arbeitsgruppe als gesichert an, dass Ethanol und nicht andere Bestandteile oder Kontaminanten für die Karzinogenität von alkoholischen Getränken verantwortlich ist. Das Krebsrisiko steigt generell mit der aufgenommenen Alkoholmenge. Ein Zusammenhang mit der Art des aufgenommenen Alkohols (Bier, Wein oder Spirituosen) konnte nicht hergestellt werden. [48]

Die karzinogene Wirkung entsteht durch das Ethanal, zu dem Ethanol in der Leber abgebaut wird. Das Ethanal wird durch Polyamine zu Crotonaldehyd umgewandelt, welches wiederum die DNA zerstört.[49]

Mögliche positive gesundheitliche Wirkungen

Es ist unumstritten, dass die Wirkung alkoholischer Getränke eindeutig negativ ist, wenn sie in größeren Mengen und regelmäßig konsumiert werden. Beim Konsum geringerer Mengen Alkohol hingegen ist umstritten, ob die Wirkung eher positiv oder eher negativ ist. Viele vordergründig positive Wirkungen werden durch andere aufgehoben, etwa die stark erhöhte Krebsgefahr beim regelmäßigen Konsum selbst geringer Mengen, die durch wissenschaftliche Studien bestätigt wurden, etwa eine Studie von 2006 aus England.[50] Mediziner warnen davor, einzelne Wirkungen aus dem Gesamtzusammenhang zu reißen. Die meisten positiven Wirkungen gehen nicht vom Alkohol selbst aus, sondern von anderen Pflanzenstoffen, die in Getränken wie Rotwein enthalten sind.

Aus einer Anzahl epidemiologischer Untersuchungen geht hervor, dass ein ausgesprochen mäßiger Konsum bestimmter alkoholhaltiger Getränke – insbesondere Rotwein – (etwa 1–2 Gläser pro Tag) über längere Zeiträume vor koronarer Herzerkrankung schützen soll. Außerdem wurde bei bis zu 20–40 g Alkohol bei Männern und bei bis zu 10–20 g bei Frauen eine höhere Lebenserwartung festgestellt. Dies entspricht 1/4 Liter Rotwein oder 1/2 Liter Bier pro Tag. Die höhere Lebenserwartung ist allerdings nur ein statistischer Effekt, da unter den Antialkoholikern auch Personen sind, die gerade wegen einer Krankheit und damit verbundener niedriger Lebenserwartung keinen Alkohol trinken.[51] [52]

Viele Studien wurden von der *Alcohol Task Force* der Stiftung *International Life Sciences Institute* finanziert, deren Mitglieder die Konzerne Moët & Chandon, Allied Domecq, Brasseries Kronenbourg, Heineken und Diageo sind. In Deutschland wurden viele Studien von der Deutschen Weinakademie (DWA) in Auftrag gegeben, die von den Weinerzeugern finanziert wird. Alleine für die Pressearbeit im Inland wurden 160 000 Euro ausgegeben. Die französische Sopexa gab 800 000 Euro für deutsche Medien aus.

Eine neue Metaanalyse von 54 internationalen Studien, die sich mit Alkohol und Herzschutz befassten – die älteste war von 1974, die jüngste von 2004 – wirft prinzipielle Zweifel an den immer wieder postulierten positiven gesundheitlichen Wirkungen von moderatem Alkoholkonsum auf. [53] Die Quintessenz dieser nun in Frage gestellten Untersuchungen lautet, dass mäßiger Alkoholkonsum langfristig die Rate von Herzinfarkten und Schlaganfällen senke. Trägt man die Sterblichkeit (Y-Achse) gegen den Alkoholkonsum (X-Achse) graphisch auf, ergibt sich gemäß der Interpretation dieser Studienergebnisse eine J-Kurve (so genannt, weil sie einem liegenden J ähnelt), nach der die kardiovaskuläre und allgemeine Sterblichkeit bei einem leichten Alkoholkonsum am niedrigsten sei, dann aber rasch und sprunghaft ansteige. Menschen, die wenig Alkohol trinken, lebten demnach länger als abstinente Personen oder Vieltrinker.

Die 2006 veröffentlichte Metaanalyse kommt dagegen zu dem Schluss, dass 47 der 54 untersuchten Studien einen gravierenden Fehler aufweisen, infolgedessen die genannten Schlussfolgerungen an Glaubwürdigkeit verlören. So wurden in den meisten Studien *ehemalige* Alkoholkonsumenten – mit all ihren durch den bisherigen Alkoholkonsum kumulierten gesundheitlichen Problemen – der Gruppe der Abstinenzler zugerechnet. Diese „späten“ Abstinenzler, die das Trinken erst im fortgeschrittenen Alter aufgrund von – teils durch Alkoholkonsum verursachten - chronischen Krankheiten aufgegeben haben bzw. aufgeben mussten, werden mit den „echten“ Abstinenzlern, also denjenigen Personen, die schon viele Jahre lang Alkohol meiden oder nie welchen getrunken haben, in eine Gruppe zusammengefasst. Dieses Vorgehen setzt jedoch den durchschnittlichen Gesundheitszustand der Personen der Gruppe der „Abstinenzlern“ generell herab – gemäß den Autoren der Metastudie ein erheblicher methodischer Fehler. Hierdurch entsteht der – falsche – Eindruck, in der Gruppe der (echten) Anti-Alkoholiker gäbe es eine höhere Zahl von Todesfällen als bei den moderaten Trinkern, so dass letztere wiederum als besonders gesund und langlebig erscheinen. Berücksichtigt man jedoch den „Abstinenzler-Fehler“, verringern sich die postulierten positiven Effekte von moderatem Alkoholgenuss bzw. sind diese gar nicht mehr vorhanden. Graphisch betrachtet ergibt sich bei zunehmendem Alkoholkonsum demnach gar keine (ausgeprägte) J-Kurve, sondern vielmehr ein stetiges Ansteigen der Alkohol-verursachten Todes- und Krankheitsfälle.

Kaye Fillmore von der University of California in San Francisco, eine Autorin der Metaanalyse, weist darüber hinaus darauf hin, dass bei der Bewertung der gesundheitlichen Wirkung von moderatem Alkoholgenuss häufig der typische Fehler gemacht würde, Ursache und Wirkung zu verwechseln: *„Wir wissen, dass ältere Menschen, die mäßig Alkohol trinken, gesünder sind als gleichaltrige Nichttrinker*“ so Fillmore, *„Das Trinken ist eine Folge ihres guten Allgemeinbefindens, nicht aber dessen Ursache. Viele Menschen meiden Alkohol im Alter aufgrund gesundheitlicher Probleme.*“ Demzufolge sind diese Personen also nicht krank, weil sie nicht (moderat) trinken, sondern sie trinken nicht, weil sie krank sind.

Die Autoren der Metastudie kommen zu dem Schluss, dass die schützende, lebensverlängernde Wirkung von Alkohol aufgrund des beschriebenen „Abstinenzler-Fehlers“ in der Vergangenheit deutlich überbewertet wurde, wollen allerdings positive gesundheitliche Effekte von moderatem Trinken nicht prinzipiell ausschließen – für eine

fundierte Aussage hierzu mangle es schlicht an fehlerfreien Studien.

Metastudien, also die zusammenfassende Analyse verschiedener Studien mit statistischen Mitteln, sind nach Ansicht ihrer Kritiker ein gewagtes Unterfangen, da dieser Ansatz eine Reihe methodischer Probleme mit sich bringen kann;[54] zweifelsfreie Schlussfolgerungen seien bei dieser Art der Analyse daher nicht zwangsläufig möglich. So lobte der Gerontologe John B. Standridge zwar die Arbeit der Forscher um Kaye Fillmore, zweifelt selbst aber weiterhin nicht daran, dass ein moderater Alkoholkonsum der Gesundheit zuträglich sei. Ursächlich für die möglichen positiven Wirkungen sei nicht der Alkohol selbst, sondern Begleitstoffe (sekundäre Pflanzenstoffe von roten Trauben und Inhaltsstoffe der Bierhefe), die im Wein und Bier zu finden seien und durch den Alkohol, der ein gutes Lösungsmittel ist, verfügbar gemacht würden (*Lösungsmitteltheorie*). Daher besäßen Schnäpse und die meisten Liköre auch keine vergleichbaren Wirkungen.

In anderen Kulturen sind jedoch andere alkoholische Getränke statistisch gesehen vorteilhafter, und es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen einzelnen Getränkearten (Bier, Wein und Spirituosen) gefunden, so dass dies für die soziale Komponente als einzigen positiven Faktor spricht. Eine Studie an 38 000 Mitarbeitern des amerikanischen Gesundheitssystems zeigte, dass der Konsum von Bier und anderen Spirituosen – nicht aber von Wein – das Infarktrisiko senkte. Eine Studie aus Schanghai wiederum beschrieb für Reisweintrinker eine geringere koronare Mortalität.

Populationsgenetische Aspekte des Ethanolabbaus

Es gilt als gesichert, dass die ursprünglich aus Ostasien stammenden Einwohner Amerikas („Indianer“ und Inuit) auf Alkohol erheblich empfindlicher reagieren als Europäer. Dies wurde beim Vordringen der Europäer auf dem amerikanischen Kontinent gezielt ausgenutzt, indem Schnaps als „Feuerwasser“ an einheimische Stämme (die den Schnaps selbst als „Geheimniswasser“ bezeichneten) verteilt wurde – viele Verträge über Gebietsabtretungen oder Gänge in die Reservat kamen durch das Trunkenmachen von Stammesführern zustande. Auch Ostasiaten zeigen – jedoch weniger durchgängig als die amerikanischen Ureinwohner – eine geringere Alkoholverträglichkeit als Europäer. Unter Schwarzafrikanern ist die Verträglichkeit sehr unterschiedlich.

Die Ursache dafür liegt in den genetisch determinierten Abbausystemen von Ethanol und Ethanal; der Abbau geschieht im menschlichen Körper vorwiegend durch die Alkoholdehydrogenasen *ADH-1*, *ADH-2* und *ADH-3* sowie die Aldehyddehydrogenasen *ALDH-1* und *ALDH-2*. Ist die Funktion eines oder mehrerer dieser Enzyme eingeschränkt oder fehlt völlig, so ist der Ethanolabbau im Körper nur vermindert möglich. Tritt das Defektallel *ALDH-2x2 homozygot* (reinerbig) auf, wird eine inaktive Form der Aldehyddehydrogenase 2 hergestellt. Träger dieses Defekts reagieren auf Ethanol mit starker Gesichtsrötung und Übelkeit, sowie deutlicher Alkoholaversion.[27] Reinerbige Träger kommen in Europa nahezu nicht vor, während in China 16 % und Japan 22 % der Bevölkerung betroffen sind. Das Risiko für Alkoholabhängigkeit beträgt bei Menschen mit dem Gendefekt 0,05 % gegenüber 18,3 % bei Menschen, die eine aktive ALDH-2 besitzen.[55] [27] Mischerbigkeit (Heterozygotie) des Gens bewirkt eine vollständige Funktion des *ALDH-2*-Enzyms und damit eine normale Abbaurate. Die geringere Abbaurate führt aufgrund einer höheren Konzentration an giftigem Ethanal (*Acetaldehyd*) zum so genannten Kater mit dem Hauptsymptom Übelkeit.

Ebenfalls nur in asiatischen Populationen treten Defekte bei den Genen zur Kodierung der Alkoholdehydrogenasen-1, -2 und -3 auf, die einen verzögerten Ethanolabbau bewirken. In diesem Fall gibt es bei Reinerbigkeit jedoch keine direkten ausgeprägten negativen Symptome und auch keine Alkoholaversion. Auch diese Homozygoten kommen in Europa praktisch nicht vor.[55]

Gesetzliche Beschränkungen

Die Einschränkung der Verfügbarkeit ist eine der wenigen wirksamen Maßnahmen, die ein Staat besitzt, um den Alkohol-Gesamtkonsum und damit die alkoholbedingten Schäden zu vermindern: Zum Beispiel Einschränkung der Laden- und Ausschank-Öffnungszeiten, der Anzahl der Betriebe, die Alkohol verkaufen dürfen; die Erteilung von Bewilligungen für Alkoholverkauf an Bedingungen knüpfen (Lizenz, Gebühren, Wirteprüfung, etc.); gesetzliches Mindestalter; Erhöhung der Alkoholsteuer.

In einigen, vorzugsweise islamischen Ländern, ist Alkohol gesetzlich verboten. Getränke wie Absinth sind oder waren bis vor kurzer Zeit wegen ihres (angeblich) erhöhten Gefahrenpotentials auch in vielen europäischen Ländern verboten.

Während der amerikanischen Prohibitionszeit (1919–1932) war der Verkauf von Alkohol in den USA gesetzlich verboten. Dies führte zur massenhaften Entstehung von illegalen Kneipen (Speakeasies) und zum Aufblühen der organisierten Kriminalität. In den USA gibt es nach wie vor Gemeinden mit einem Verbot des Verkaufs, der Bewerbung und des öffentlichen Konsums von Alkohol (Gemeindeautonomie), zum Beispiel auch in Lynchburg in Tennessee, der Heimat des Whiskey Jack Daniel's.

In Deutschland besteht ein Branntweinmonopol. Das deutsche Gaststättengesetz schreibt im § 6 vor, dass als preiswertestes Getränk – auf Grundlage des hochgerechneten Preises für einen Liter – ein Nichtalkoholisches angeboten werden muss.

Jugendschutz

In Deutschland und der Schweiz dürfen nach dem Jugendschutzgesetz alkoholische Getränke nicht an Personen unter 16 Jahren und Getränke, die Branntwein in mehr als nur geringfügigen Mengen enthalten, erst nach Vollendung des 18. Lebensjahres abgegeben werden (§ 9 [57] Absatz 1 JuSchG). In Deutschland ist das öffentliche Konsumieren von nicht-branntweinhaltigen alkoholischen Getränken in Begleitung von Erziehungsberechtigten oder -beauftragten ab 14 Jahren gestattet, es gibt sonst keine Beschränkung.

In Österreich ist der Jugendschutz Ländersache. In Wien, Vorarlberg, Niederösterreich und dem Burgenland ist der Alkoholkonsum grundsätzlich erst ab 16 gestattet. In den anderen Bundesländern dürfen Getränke bis zu einem Alkoholgehalt von 14 Volumenprozente mit 16 Jahren, solche darüber mit 18 Jahren getrunken werden. Andere Länder – beispielsweise die USA (die meisten Staaten) – sehen als Mindestalter zum öffentlichen sowie privaten Verzehr von Alkohol das vollendete 21. Lebensjahr vor.

Straßenverkehr

Da Alkohol die Fahrtüchtigkeit einschränkt, ist das Fahren unter Alkoholeinfluss in den meisten Ländern der Welt unter Strafe gestellt. In Deutschland gelten 0,5 ‰ als Grenze der Fahruntüchtigkeit, bei Fahranfängern gilt seit dem 1. August 2007 die 0,0 ‰ Grenze.[56]

Literatur

- Singer, Teyssen (Hrsg.): *Alkohol und Alkoholfolgekrankheiten*. 2. Auflage. Springer, Heidelberg 2005, ISBN 3-540-22552-8.
- Günter Schmidt: *ALEX – Das Alkohollexikon.* Books on Demand (BoD), Norderstedt 2002. ISBN 3-8311-3825-7
- Bernhard van Treeck: *Drogen- und Suchtlexikon.* Lexikon-Imprint-Verlag, Berlin 2003. ISBN 3-89602-221-0
- Bernhard van Treeck: *Drogen.* Schwarzkopf & Schwarzkopf, Berlin 2003. ISBN 3-89602-420-5
- Arthur L. Klatsky: *Alkohol fürs Herz.* in: *Spektrum der Wissenschaft.* Spektrumverlag, Heidelberg 25.2003,10, S. 62–68. ISSN 0170-2971 [59]
- J. Kauhanen u. a.: *Beer binging and mortality, results from the Kuopio ischaemic heart desease risk factor study, a prospective population based study.* in: *British Medical Journal.* London 315.1997, S. 846. ISSN 0267-0623 [60]

- E. B. Rimm u. a.: *Moderate alcohol intake and lower risk of coronary heart desease, meta-analysis on effects on lipids and haemostatic factors.* in: *British Medical Journal.* London 319.1999, S. 1523. ISSN 0267-0623 [60]
- K. Nanchal u. a.: *Alcohol consumption, metabolic cardiovascular risk factors and hypertension in women.* in: *International Journal on Epidemiology.* Oxford Univ. Press, Oxford 29.2000, S. 57. ISSN 0300-5771 [61]
- C. Power u. a.: *U-shaped relation for alcohol consumption and health in early adulthood and implications for mortality.* in: *The Lancet.* Elsevier Science, New York 352.1988, S. 877. ISSN 1474-547X [62]
- Hans-Peter Beck-Bornholdt: *Der Hund, der Eier legt.* Erkennen von Fehlinformation durch Querdenken. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg 2002. ISBN 3-499-61154-6
- Knut Kröger: *Lebenserwartung – Der Mythos vom Rotwein.* [63] in: *Deutsches Ärzteblatt.* Köln 100.2003,42 (17. Oktober), S. A-2706, B-2260, C-2120. ISSN 0012-1207 [64]

Weblinks

- Spirituosenkunde, Physiologie, Alkoholismus, Alkoholanalytik, Alkoholgesetzgebung [65]
- Die Droge Alkohol aus psychologischer Sicht [66]
- Wirkung des Ethanols auf den Menschlichen Körper [67]
- Alkoholpolitik – private, unabhängige, kritische Webseite [68]
- *Alkohol* [69]. In: *Erowid.* (englisch)
- Alkohol am Arbeitsplatz/gesetzliche Bestimmungen [70]
- Check your drinking [71] (Online-Selbsttest zur Risikoeinschätzung des eigenen Alkoholkonsums)
- Promillerechner [72]
- „Alkohol“ Ethanol [73] – ein Artikel zum Thema von Peter Bützer
- *Wie wirkt Alkohol im Gehirn?* [74], Beitrag vom 10. Februar 2004 bei Quarks & Co
- Basisinfos zu Bioethnol als Kraftstoff [75] (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.)

Hörspiel

Das folgende Hörspiel behandelt die zentralen Themen dieses Artikels in Dialogform.

Referenzen

[1] Eintrag zu *CAS-Nr. 64-17-5* (http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?q=[F+casnr:64-17-5]&f=hitlist&t=main-hit-h.htm&tf=doc&tt=document-frame.htm&x=Advanced&c=redirect&s=Contents&h1=Title[,100]) in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA, abgerufen am 5. Januar 2008 (JavaScript erforderlich)

[2] *Ethanol* (http://chem.sis.nlm.nih.gov/chemidplus/direct.jsp?regno=64-17-5) bei ChemIDplus

[3] Eintrag zu *CAS-Nr. 64-17-5* (http://ecb.jrc.ec.europa.eu/esis/index.php?LANG=de&GENRE=CASNO&ENTREE=64-17-5) im European chemical Substances Information System *ESIS*

[4] Westermeyer J.: *Cross-cultural studies on alcoholism*. In: *Goedde HW: Alcoholism: Biomedical and genetic aspects.* Pergamon Press, New York, S. 305–311.

[5] Cranach von, D.: *Drogen im Alten Ägypten*. In: *Völger G, Welck K: Rausch und Realität: Drogen im Kulturvergleich Bd 2. Rowohlt, Reinbek, 1982, S. 480–487.*

[6] Färber W.: *Drogen im Alten Ägypten*. In: *Völger G, Welck K: Rausch und Realität: Drogen im Kulturvergleich Bd 2. Rowohlt, Reinbek, 1982, S. 480–487.*

[7] Singer, Teyssen (Hrsg.): *Alkohol und Alkoholfolgekrankheiten*. 2. Auflage. Springer, Heidelberg 2005, ISBN 3-540-22552-8.

[8] Klaus Dehnert, Norbert Jäckel, Egon Petrak, Werner Rauh und Verlagsredaktion: *Chemie heute - Nordrhein-Westfalen, 9/10 Schuhljahr*, Schroedel Schulbuchverlag, Hannover 1988 ISBN 3-507-86022-8

[9] C. Ford Runge, Benjamin Senauer: *How Biofuels Could Starve the Poor* (http://www.foreignaffairs.com/articles/62609/c-ford-runge-and-benjamin-senauer/how-biofuels-could-starve-the-poor), Council on Foreign Affairs, Mai/Juni 2007

[10] Franz-Lothar Altmann, Josef Braml : *Weltverträgliche Energiesicherheitspolitik: Jahrbuch internationale Politik 2005/2006.* Deutsche Gesellschaft für Auswärtige Politik, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2008, ISBN 978-3-486-58342-7, S. 153

[11] WIGL Lehrmittel: *Südweine* (doc) (http://webquestherter.files.wordpress.com/2008/06/sudweine1.doc)

[12] Nagl-Netzreport: *Haltbarmachung von Lebensmitteln* (http://nagl.netzreport.com/dokumente/fh/04fh.pdf)

[13] H.-H. Frey, F. R. Althaus : *Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie für die Veterinärmedizin.* S. 469, Georg Thieme Verlag, 2007, ISBN 978-3-8304-1070-6

[14] Herbert Hof, Rüdiger Dörries: *Medizinische Mikrobiologie*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2005, 3. Aufl. S.686

[15] Percutane Alkohol Injektion (PEI) der Schilddrüse (http://www.madeasy.de/6/sdc2.htm) bei www.madeasy.de

[16] Lothar-Andreas Hotze, Petra-Maria Schumm-Draeger. *Schilddrüsenkrankheiten. Diagnose und Therapie.* Berlin 2003 ISBN 3-88040-002-4

[17] *Alkohol-Dehydrogenase* (http://www.chemie.tu-darmstadt.de/akplenio/moproc/zink/alkoholdehydrogenase/ADH_vorbemerkung.htm)

[18] Eintrag zu *Diethylsulfat* (http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=id&id=biadb:r:027770&t=main-h.htm) in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA, abgerufen am 22. Juli 2008 (JavaScript erforderlich)

[19] K. Roth, Die Chemie des Katers: Alkohol und seine Folgen, in: *Chemie in Unserer Zeit* **2007**, *41*, 46. doi: 10.1002/ciuz.200700409 (http://dx.doi.org/10.1002/ciuz.200700409)

[20] P. Schauder, G. Ollenschläger: *Ernährungsmedizin: Prävention und Therapie.* Elsevier Deutschland, 2006, ISBN 978-3-437-22921-3

[21] H. Abdolvahab-Emminger, T. Kia : *Exaplan: Das Kompendium der klinischen Medizin.* 5. Auflage, S. 2402, Elsevier,Urban&FischerVerlag, 2007, ISBN 978-3-437-42462-5

[22] *Mann mit knapp 7,7 Promille aufgefunden* (http://www.tagesspiegel.de/weltspiegel/7-7-Promille;art1117,2660428) Tagesspiegel.de, abgerufen am 13. November 2008

[23] *Toxicology and Applied Pharmacology.* Vol. 16, Pg. 718, 1970

[24] Deutsche Hauptstelle für Suchtfragen (DHS): Jahresbericht 2004

[25] Stiftung Warentest: *Nervenschäden durch Alkohol* (http://www.test.de/themen/gesundheit-kosmetik/medikamente/selbstmedikation/psyche/neuropathie/neuropathien/nervenschaeden/), Meldung vom 15. Januar 2009

[26] F.-J. Kretz, K. Becke: *Anästhesie und Intensivmedizin bei Kindern.* 2. Auflage, Georg Thieme Verlag, 2006, ISBN 978-3-13-110232-4, S. 23

[27] Detlev Ganten, Klaus Ruckpaul: *Erkrankungen des Zentralnervensystems.* Springer, 1999, ISBN 978-3-540-64552-8

[28] Deutsche Krebsgesellschaft: *Gesundheitsgefahren durch Alkohol - Gehirn und Nervensystem* (http://www.krebsgesellschaft.de/alkohol_gesundheitsgefahren,1062.html)

[29] Ikonomidou C, Bittigau P, Ishimaru MJ, Koch C, Genz K, Price MT, Stefovska V, Hörster F, Tenkova T, Dikranian K, Olney JW: *Ethanol-induced apoptotic neurodegeneration and fetal alcohol syndrome.* Science, 287:1056-1060, 2000

[30] F. Rötzer: *Schrumpfende Gehirne. Nach einer Studie führt auch mäßiger Alkoholkonsum bereits zu Gehirnatrophie.* (http://www.heise.de/tp/r4/artikel/16/16255/1.html) Artikel vom 07 Dezember 2003 in Telepolis

[31] J. Ding, M. L. Eigenbrodt et. al.: *Alcohol Intake and Cerebral Abnormalities on Magnetic Resonance Imaging in a Community-Based Population of Middle-Aged Adults. The Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) Study.* (http://stroke.ahajournals.org/cgi/content/abstract/01.STR.0000105929.88691.8Ev1) In: Stroke, 4. Dezember 2003

[32] *Weshalb sich Menschen unter Alkoholeinfluss riskant verhalten* (http://www.neurologen-und-psychiater-im-netz.de/npin/npinaktuell/show.php3?id=948&nodeid=4&nodeid=4&query=alkohol)

[33] E.A. Laposata u. L.G. Lange: *Science* 231 (1986) 497-501

[34] M. Croon, K. Arends-Kailer (Übers.): *Schwanger werden.* S. 45, Georg Thieme Verlag, 2005, ISBN 978-3-8304-3284-5

[35] A. Feige, A. Rempen, W. Würfel, J. Jawny, A. Rohde: *Frauenheilkunde: Fortpflanzungsmedizin, Geburtsmedizin, Onkologie, Psychosomatik.* 3. Auflage, S. 776, Elsevier,Urban&FischerVerlag, 2006, ISBN 978-3-437-21871-2

[36] B. Altinkilic, R. G. Bretzel, W.-B. Schill, W. Weidner, Schill-Bretzel-Weidner: *Männermedizin: In der allgemeinmedizinischen und internistischen Praxis.* S. 128, Elsevier,Urban&FischerVerlag, 2005, ISBN 978-3-437-23260-2

[37] X. D. Wang et. al.: *Chronic alcohol intake reduces retinoic acid concentration and enhances AP-1 (c-Jun and c-Fos) expression in rat liver.* Hepatology 1998;28:744–750

[38] X. D. Wang: *Alcohol, vitamin A and cancer.* Alcohol 2005;35:251–258

[39] Ärzteblatt: *Studie: Jede zweite Schwangere trinkt Alkohol* (http://www.aerzteblatt.de/v4/news/news.asp?id=33612). 8. September 2008.

[40] Ärzteblatt: *Kinderhilfe: Strikter gegen Alkoholkonsum Schwangerer vorgehen* (http://www.aerzteblatt.de/v4/news/news.asp?id=33633). 9. September 2008

[41] ZDF heute.de: *Auch ein Schluck Sekt ist tabu - Alkohol in der Schwangerschaft macht Kinder ein Leben lang krank* (http://www.heute.de/ZDFheute/inhalt/24/0,3672,7377976,00.html). 9. September 2008.

[42] BMG Archiv (http://www.bmg.bund.de/nn_892608/DE/Presse/Reden/Archiv/Reden-Drogenbeauftragte/Rede-14-10-2002-2491,param=.html)

[43] Statistisches Bundesamt

[44] *Drogen- und Suchtbericht*, **2004**

[45] Infomed.de (http://www.infomed.org/screen/1998/r83.html)

[46] Krebsgesellschaft.de (http://www.krebsgesellschaft.de/ernaehrung_dem_krebs_vorbeugen,1043.html)

[47] Krebsinformationsdienst.de (http://www.krebsinformationsdienst.de/Fragen_und_Antworten/alkohol.html)

[48] Dirk Lachenmeier: *"Warning Labels" statt "Health Claims"? IARC Neubewertung von Ethanol in alkoholischen Getränken als "Gruppe 1" Karzinogen* (http://www.getcited.org/pub/103437053). Conference presentation at the Deutscher Lebensmittelchemikertag 2007

[49] wissenschaft.de: *Was Kater und Krebs gemeinsam haben* (http://www.wissenschaft.de/wissenschaft/news/256149.html), 5. August 2005

[50] *Studie zu Krebsrisiko durch Alkohol* (http://www.alkoholpolitik.ch/2009/02/26/studie-zu-krebsrisiko-durch-alkohol/1556/)

[51] Naimi TS, Brown DW, Brewer RD, Giles WH, Mensah G, Serdula MK, Mokdad AH, Hungerford DW, Lando J, Naimi S, Stroup DF: *Cardiovascular risk factors and confounders among nondrinking and moderate-drinking U.S. adults.* Am J Prev Med 2005; 28: 36973; PMID 15831343.

[52] Fillmore KM, Kerr WC, Stockwell T, Chikritzhs T, Bostrom A: *Moderate alcohol use and reduced mortality risk: Systematic error in prospective studies.* Addiction Research and Theory 2006; 1–31.

[53] Kaye M. Fillmore u. a.: *Does moderate drinking prevent heart disease? A meta-analysis and re-estimation of alcohol-caused mortality in Australia* (http://nurseweb.ucsf.edu/www/fffillk.htm). Universität von Kalifornien, San Francisco. in: *Addiction Research and Theory. Brunner-Routledge Health Sciences, London 2006,5 (Mai). ISSN 1606-6359* (http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=1606-6359)

[54] *Probleme der Metaanalyse* (http://www.dgps.de/fachgruppen/methoden/mpr-online/issue1/art3/node17.html) Beitrag bei www.dgps.de

[55] H.-J. Möller, G. Laux, H.-P. Kapfhammer: *Psychiatrie und Psychotherapie.* 2. Auflage, Springer, 2005, ISBN 978-3-540-25074-6, S. 97

[56] 0,0 ‰ Grenze für Fahranfänger (http://www.wdr.de/themen/verkehr/strasse01/promille/070801.jhtml)

Ethanol-Kraftstoff

Ethanol-Kraftstoff	
Andere Namen	Agraralkohol, Alkohol, Äthanol, Äthylalkohol, Bio-Ethanol, Branntwein, E100, Esprit, Ethylalkohol, Ethyloxidhydrat, Kartoffelsprit, Methylcarbinol, Motoren-Spiritus, Spiritus, Sprit, Weingeist
Kurzbeschreibung	Ottokraftstoff für angepasste Motoren
Herkunft	fossil oder biogen
Charakteristische Bestandteile	Ethanol, Vergällungsmittel
CAS-Nummer	64-17-5 [1]
Eigenschaften	
Aggregatzustand	flüssig
Dichte	0,79 kg/L [1]
Oktanzahl	mind. 104 ROZ
Schmelzbereich	-114 °C [1]
Siedebereich	78 °C [1]
Flammpunkt	12 °C [1]
Zündtemperatur	400 °C [1]
Explosionsgrenze	3,1–19 Vol.-% [1]
Temperaturklasse	T2 [1]
Explosionsklasse	IIB [1]
Sicherheitshinweise	

Gefahrstoffkennzeichnung [1]	
 Leicht-entzündlich (F)	
R- und S-Sätze	R: 11
	S: (2)-7-16
UN-Nummer	1170
Gefahrnummer	33/30

Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.

Ethanol-Kraftstoff ist ein klopffester Ottokraftstoff mit einer Oktanzahl von mindestens 104 ROZ. Um das Ethanol nicht als Neutralalkohol trinken zu können, werden heute den für technische Anwendungen wie Kraftstoff, Lösungsmittel oder Brennspiritus vorgesehenen Alkoholen Vergällungsmittel beigemischt, wodurch diese ungenießbar werden und in Deutschland nicht mehr der Branntweinsteuer unterliegen. Darüber hinaus werden als *Ethanol-Kraftstoffe* auch Ottokraftstoffe bezeichnet, bei denen Ethanol in nennenswerten Mengen beigemischt wird.

Die Gemische werden nach dem Anteil von Ethanol im Benzin bezeichnet, ein heute viel diskutierter Ottokraftstoff ist E85 mit 85 % Ethanol. Die Beimischung von geringen Mengen in Benzin, beispielsweise 5 % Ethanol, wie derzeit durchgeführt, wird nicht als Ethanol-Kraftstoff bezeichnet, sondern als Benzin. Da viele ältere Autos nicht auf das teilweise stark als Lösungsmittel auf verwendete Materialien wirkende Ethanol hin konstruiert sind, wird derzeit eine Beimischung von 5 % als Obergrenze für nicht auf Ethanol vorbereitete Autos angesehen.

Bereits in der Weimarer Republik gab die Reichskraftsprit-Gesellschaft ab 1925 etwa 25 % Kartoffelsprit zum Benzin dazu und verkaufte das Gemisch unter dem Namen *Monopolin*. Bis in die 1950er Jahre wurde Ethanol mit diversen weiteren Kraftstoffen wie Benzol, Methanol, Aceton und Nitrobenzol zu sehr klopffesten Rennkraftstoffen gemischt, die heute aufgrund der toxischen Wirkung auf Menschen und der aggressiven Wirkung auf das Material verboten sind.

Ethanol weist unabhängig von seiner Gewinnung immer die gleichen chemischen Eigenschaften auf, es gibt chemisch keinen Unterschied zwischen fossil oder biogen hergestelltem Ethanol. Weltweit gesehen hat heutzutage fossiler Alkohol (beispielsweise durch Hydratisierung von aus Kokereigas stammendem Ethen hergestellt) keine Bedeutung; von der produzierten Menge biogen erzeugten Ethanols werden etwa 35 % als Neutralalkohol für Getränke und Lebensmittel sowie für weitere technische Zwecke erzeugt und etwa 65 % zur Nutzung als Kraftstoffethanol. In Deutschland ist das Verhältnis etwa hälftig.

Das nur für Kraftstoffzwecke als Zusatzstoff von Benzin in unterschiedlichen Mischungskonzentrationen biogen hergestellte Ethanol wird heutzutage verkürzt als Bioethanol bezeichnet, es ist im Kontext der energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen bedeutend. Während Bioethanol bisher nur aus Zucker und somit vor allem aus Zuckerrohr sowie stärkehaltigem Getreide gewonnen wurde, wird für neuere Technologien vor allem auf Biomassenutzung zellulosehaltiger Rohstoffe wie Chinaschilf, Rutenhirse und Holz zugegriffen; das Ergebnis ist das Cellulose-Ethanol.

Geschichte

Nikolaus August Otto verwendete bereits in den 1860er Jahren „Spiritus“ (*Kartoffelsprit*, *Äthylalkohol*) als klopffesten Kraftstoff (Oktanzahl mind. 104 ROZ) in den Prototypen seines Verbrennungsmotors. Während des Ersten Weltkriegs wurde dieser Kraftstoff als *Motoren-Spiritus* für hohe Leistungsanforderungen wie Jagdflugzeuge auf Feindflug verwendet.

Der Automobilhersteller Henry Ford konzipierte später sein von 1908 bis 1927 gebautes Ford Modell T ursprünglich auf der Grundlage, dass Agraralkohol der Treibstoff der Zukunft sei, der zugleich der Landwirtschaft neue Wachstumsimpulse bringen würde: „The fuel of the future is going to come from fruit like that sumach out by the road, or from apples, weeds, sawdust – almost anything“.[2] Benzin wurde jedoch aufgrund der Verfügbarkeit und des niedrigen Preises sowie durch den Einfluss der Standard Oil der hauptsächliche Kraftstoff in den USA und in allen von der Standard Oil beeinflussten Ländern. Damit einhergehend wurde der Motor der „Blechliesel“ von Ford auf Benzin umgestellt.

Aufgrund der Versorgungslage bei Benzin gab es in Deutschland mit der 1925 gegründeten Reichskraftsprit (RKS) einen Hersteller von *Spiritus* (Kartoffelschnaps) zur Verwendung als Ottokraftstoff. Allerdings diente der Einsatz weniger als Mittel zur Erhöhung der Klopffestigkeit, sondern vielmehr zur Unterstützung der anbauenden Landwirtschaft. Die RKS vertrieb ihr Benzin-Gemisch mit einem ca. 25-prozentigen Anteil Spiritus unter dem Markennamen *Monopolin*. 1930 trat in Deutschland die Bezugsverordnung von Spiritus zu Treibstoffzwecken für alle Treibstofffirmen in Kraft. Jeweils 2,5 Gewichtsprozente der produzierten oder eingeführten Treibstoffmenge waren von der Reichsmonopolverwaltung zu beziehen und dem Benzin beizumischen. Diese Quote erhöhte sich bis Oktober 1932 schrittweise auf 10 %.

In den folgenden Jahrzehnten blieb Erdöl die hauptsächliche Energiequelle. Erst mit den Ölkrisen der 1970er Jahre fand Ethanol als Kraftstoff neues Interesse. Ausgehend von Brasilien und USA wurde die Nutzung von Ethanol aus Zuckerrohr und Getreide (Bioethanol, *Biokraftstoff der 1. Generation*) als Treibstoff für Autos ebenso wie andere alternative Kraftstoffe auf der Basis Nachwachsender Rohstoffe zunehmend durch Regierungsprogramme unterstützt. Eine globale Ausweitung dieser Bestrebungen entstand infolge des Kyoto-Protokolls. Aufgrund des hohen Einsatzes fossiler Energien zur Produktion dieser Biokraftstoffe wird verstärkt daran gearbeitet, künftig *Biokraftstoffe der 2. Generation* (Cellulose-Ethanol) mit deutlich positiver Klimabilanz herstellen zu können.

Literatur

- *Handbook for Handling, Storing, and Dispensing E85* [3] (5,36MB, 54S, engl.), National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy

Referenzen

[1] Eintrag zu *Ethanol* (http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=id&id=biadb:r:010420&t=main-h.htm) in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA, abgerufen am 29. Mai 2008 (JavaScript erforderlich)

[2] Henry Ford, Charles Kettering and the "Fuel of the Future",Bill Kovarik, Ph.D., 1998 (http://www.runet.edu/~wkovarik/papers/fuel.html)

EU-Biokraftstoffrichtlinie

Die als **EU-Biokraftstoffrichtlinie** bekannte Richtlinie (RL) 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor, kurz Biokraftstoffrichtlinie, gibt – bezogen auf den Energiegehalt – Richtwerte für den Anteil an erneuerbaren Kraftstoffen als Ersatz von herkömmlichen Kraftstoffen im Verkehr vor.[1]

Als Biokraftstoffe gelten im Sinne der Richtlinie zumindest folgende Erzeugnisse (Art. 2, Abs. 2):

- Bioethanol, Biodiesel, Biogas, Biomethanol, Biodimethylether, Bio-ETBE, Bio-MTBE, Synthetische Biokraftstoffe, Biowasserstoff, Reines Pflanzenöl

Andere erneuerbare Kraftstoffe im Sinne der Richtlinie sind Kraftstoffe aus anderen, nicht biogenen, erneuerbaren Energiequellen gemäß Definition in der Richtlinie 2001/77/EG. Dies können z.B. Wind- und Sonnenenergie, Erdwärme, Wellen- und Gezeitenenergie und Wasserkraft sein.

Nationale Richtwerte und EU-Bezugswerte der RL 2003/30/EG für Mindestanteile an Biokraftstoffen gemessen am Energiegehalt[2]

	2005 (%)	2006 (%)	2010 (%)
Österreich	2,50	2,50	5,75
Belgien	2,00	2,75	5,75
Zypern	1,00	k.A.	k.A.
Tschechische Republik	0,70	1,78	3,75
Dänemark	0,00	0,10	k.A.
Estland	k.A.	2,00	5,75
Finnland	0,10	k.A.	k.A.
Frankreich	2,00	k.A.	7,00
Deutschland	2,00	k.A.	5,75
Griechenland	0,70	2,50	5,75
Ungarn	2,00	k.A.	5,75
Irland	0,06	1,14	k.A.
Italien	1,00	2,00	5,00
Lettland	2,00	2,75	5,75
Litauen	2,00	k.A.	5,75
Luxemburg	k.A.	2,75	5,75
Malta	0,30	k.A.	k.A.
Niederlande	k.A.	2,00	5,75
Polen	0,50	1,50	5,75
Portugal	1,15	2,00	5,75
Slowakei	2,00	2,50	3,50
Slowenien	0,65	1,20	5,00
Spanien	2,00	0,55	5,83
Schweden	3,00	k.A.	5,75

Vereinigtes Königreich	0,30	k.A.	3,50
Vorgabe der EU-Richtlinie	2,00	2,75	5,75

Die Richtlinie forderte die Mitgliedstaaten auf, bis zum 31. Dezember 2005 einen Mindestanteil an Biokraftstoffen und anderen erneuerbaren Kraftstoffen von 2 % an der Gesamtmenge aller Otto- und Dieselkraftstoffe, gemessen am Energiegehalt, in Verkehr zu bringen. Bis zum 31. Dezember 2010 soll ein Mindestanteil von 5,75 % in Verkehr gebracht werden. Die Richtlinie trifft also nicht Vorgaben für die Beimischung von biogenen Kraftstoffen zu Otto- und Dieselkraftstoffen, sondern fordert einen Gesamtanteil aller erneuerbaren Kraftstoffe am Gesamtkraftstoffbedarf in den Mitgliedstaaten.

Umsetzung in den Mitgliedstaaten

Die Umsetzung in den Mitgliedstaaten erfolgt in dem Sinne freiwillig, als dass diese unter Berücksichtigung des Bezugswertes für 2005 (2 %) nationale Richtwerte festlegen sollten, deren Umsetzung jedoch nicht rechtlich verpflichtend war. Die nebenstehende Tabelle zeigt die nationalen Richtwerte für 2005, 2006 und 2010 sowie die Bezugswerte der Kommission.

Nach Art. 4, Abs. 1, dürfen die nationalen Richtwerte von der EU-Vorgabe unter Anführung folgender Argumente abweichen:

- objektive Faktoren wie ein begrenztes innerstaatliches Potenzial zur Herstellung von Biokraftstoffen aus Biomasse,
- der Umfang der Ressourcen, die für die Erzeugung von Biomasse für andere Energieverwendungen als im Verkehrssektor bereitgestellt werden, sowie die spezifischen technischen oder klimatischen Merkmale des nationalen Kraftstoffmarktes,
- nationale Politiken, die vergleichbare Ressourcen für die Erzeugung anderer Verkehrskraftstoffe auf der Grundlage erneuerbarer Energieträger bereitstellen und mit den Zielen der Richtlinie 2003/30/EG in Einklang stehen.

Das durch die Richtlinie vorgegebene Ziel für 2005 wurde nicht erreicht.[3] In einem Fortschrittsbericht zur Verwendung von Biokraftstoffen und anderen erneuerbaren Kraftstoffen in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union vom 10. Januar 2007 stellt die Europäische Kommission fest, dass bis 2005 in der Europäischen Union ein Marktanteil von Biokraftstoffen von etwa 1 % erreicht wurde, wobei hieran Biodiesel einen Anteil von etwa 80 % ausmachte und Bioethanol etwa 20 %. Auch wenn das Ziel eines Anteils von 2 % damit nicht erreicht wurde, stellt dies nach Angaben der Kommission dennoch eine Verdoppelung des Anteils innerhalb von zwei Jahren dar. Hätten alle Mitgliedstaaten ihre selbstgesteckten nationalen Richtwerte erreicht, hätte der Marktanteil 2005 bei etwa 1,4 % gelegen.

Auch das Ziel für 2010 wird nach Einschätzung des Fortschrittsberichts wahrscheinlich nicht erreicht werden. [4]

Aufhebung durch die Richtlinie 2009/28/EG

Als Konsequenz aus der ungenügenden Umsetzung der RL 2003/30/EG wurde Anfang 2007 von der Europäischen Kommission sowie vom Europäischen Rat die Vorgabe von 10 % Biokraftstoffen bis 2020 als *verbindliches* Ziel formuliert.[5] [6] Diese Vorgabe wurde schließlich von der Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare-Energien-Richtlinie) vom 23. April 2009 aufgegriffen. Als Gründe für die verbindliche Festlegung nennt die RL 2009/28/EG u.a. *"dass ein Rahmen, der verbindliche Ziele enthält, den Unternehmen die langfristige Sicherheit geben dürfte, die sie benötigen, um vernünftige und nachhaltige Investitionen in den Sektor der erneuerbaren Energien zu tätigen"*. Nach Art. 26, Abs. 3 der RL 2009/28/EG wird die RL 2003/30/EG mit Wirkung vom 1. Januar 2012 aufgehoben.[7]

Das 10 %-Ziel für Energie aus erneuerbaren Quellen im Verkehrssektor bis 2020 wurde nun im Gegensatz zur RL 2003/30/EG für alle Mitgliedstaaten einheitlich festgelegt. Dies wurde damit begründet, dass Mitgliedstaaten, die nicht über ausreichende Ressourcen verfügen um das Ziel zu erreichen, Biokraftstoffe anderer Herkunft beziehen könnten. Dies schließt sowohl Importe aus Mitgliedstaaten als auch Importe von ausserhalb der EU ein. Aufgrund des zu erwartenden zunehmenden Handels mit Biokraftstoffen empfiehlt die RL 2009/28/EG weiter, *"gegebenenfalls relevante Maßnahmen vorzuschlagen, um für Ausgewogenheit zwischen heimischer Herstellung und Importen zu sorgen, wobei unter anderem multilaterale und bilaterale Handelsverhandlungen sowie Umwelt-, Sozial- und wirtschaftliche Aspekte und die Energieversorgungssicherheit zu berücksichtigen sind"*.

Umsetzung in Deutschland

In Deutschland wurden u.a. zur Umsetzung der Richtlinie 2009/28/EG die *Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung* (V. v. 23.07.2009 BGBl. I S. 2174) und die *Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung* (V. v. 30. September 2009 BGBl. I S. 3182) erlassen.

Referenzen

[1] Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:123:0042:0046:DE:PDF)

[2] Lorenzo Di Lucia und Lars J. Nilsson: *Transport biofuels in the European Union: The state of play*, in: *Transport Policy* 14(6), 2007, S. 533-543, ISSN 0967-070X

[3] Länderberichte auf der Website der Europäischen Kommission: Downloads (http://ec.europa.eu/energy/res/legislation/biofuels_members_states_en.htm)

[4] Europäische Kommission: *Fortschrittsbericht Biokraftstoffe: Bericht über die Fortschritte bei der Verwendung von Biokraftstoffen und anderen erneuerbaren Kraftstoffen in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union*, Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament vom 10. Januar 2007 (http://www.biokraftstoffverband.de/downloads/242/EU_Fortschrittsbericht.pdf)

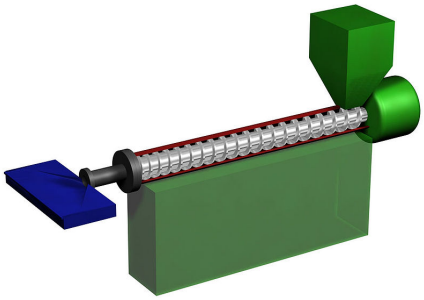
[5] Rat der Europäischen Union: *Council conclusions on energy policy for Europe*, 782nd Transport, Telecommunications and energy Council meeting, Brüssel, 15. Februar 2007. (http://www.consilium.europa.eu/ueDocs/cms_Data/docs/pressData/en/trans/92799.pdf)

[6] Europäische Kommission: *Fahrplan für erneuerbare Energien: Erneuerbare Energien im 21. Jahrhundert: Größere Nachhaltigkeit in der Zukunft* (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0848:FIN:DE:PDF)

[7] Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DE:PDF)

Extrusion (Verfahrenstechnik)

Bei der **Extrusion** (von lateinisch *extrudere* = hinausstoßen, -treiben) werden Kunststoffe oder andere zähflüssige härtbare Materialien wie z. B. Gummi oder Biokunststoffe in einem kontinuierlichen Verfahren durch eine speziell geformte Düse gepresst. Es entstehen Körper mit dem Querschnitt der Düse in beliebiger Länge. Dieses Verfahren wird u.a. für die Herstellung von Profilen verwendet.



Schematische Darstellung eines Extruders.

Verfahren

Dazu wird der Kunststoff bzw. das Extrudat zunächst durch einen Extruder (auch Schneckenpresse genannt) mittels Heizung und innerer Reibung aufgeschmolzen und homogenisiert. Weiterhin wird im Extruder der für das Durchfließen der Düse notwendige Druck aufgebaut. Nach dem Austreten aus der Düse erstarrt der Kunststoff meist in einer wassergekühlten Kalibrierung. Das Anlegen von Vakuum bewirkt, dass sich das Profil an die Kaliberwand anpresst und somit die Formgebung abgeschlossen wird. Im Anschluss darauf folgt oft noch eine Kühlstrecke in Form eines gekühlten Wasserbades. Der Querschnitt des so entstehenden geometrischen Körpers entspricht der verwendeten Düse oder Kalibrierung. Die möglichen Fertigungstoleranzen bewegen sich im Bereich von ±0,05 mm. Ein analoges, auf demselben Urformprinzip basierendes Verfahren, das bei der Heißumformung von Metallen zum Einsatz kommt, bezeichnet man als Stranggießen.

Das Zusammenführen von artgleichen oder fremdartigen Materialien vor dem Verlassen der Profildüse wird auch Coextrusion genannt. Hier unterscheidet man einstufige und zweistufige Verfahren:

- Einstufige Verfahren

Beim Einstufenprozess, auch Direktextrusion genannt, werden z.B. die Holzpartikel und das Kunststoffgranulat für Wood-Plastic-Composites am gleichen Ort zur gleichen Zeit dem Extruder zugeführt. Für Einstufenprozesse werden meist konische, gegenläufige Doppelschneckenextruder eingesetzt, die die Aufgabe des intensiven Mischens und eines erforderlichen Druckaufbaus für das Extrudieren gleichzeitig erfüllen.

- Zweistufige Verfahren

Im zweistufigen Extrusionsprozess werden Kunststoffgranulat und Holzpartikel in parallelen Doppelschneckenextrudern (Compoundern), Heiz-Kühl-Mischern oder Pelletierpressen zuerst gemischt und kompaktiert. Die eigentliche Extrusion findet dann in einem anderen, direkt gekoppelten oder räumlich und zeitlich getrennten Aggregat statt. Die im zweistufigen Verfahren erzeugten WPC-Zwischenprodukte können neben der Extrusion auch im Spritzguss, Rotationsguss oder in der Plattenpresstechnik eingesetzt werden.

Produkte

Durch Extrusion können beispielsweise nahtlose Platten, Rohre und Profile mit über der Länge konstantem Querschnitthergestellt werden. Auch Kunststoffbehälter, wie Flaschen, Dosen oder Kraftstofftanks werden durch Extrusion hergestellt. Ein extrudierter Schlauch wird von einer Form umschlossen und mittels Druckluft an die Werkzeugwand geblasen. In diesem Fall spricht man von Extrusionsblasformen. Das wichtigste Produkt aus Wood-Plastic-Composites (WPC) sind Terrassendielen.



Ein Drainagerohr welches mittels Extrusion hergestellt wurde.

Anwendungen

Produkte der Extrusionstechnik finden sich in folgenden Anwendungsgebieten (Auswahl) wieder:

- Bauindustrie (Hoch- und Tiefbau),
- Automobilindustrie,
- Luftfahrtindustrie
- Medizintechnik,
- Möbelindustrie (vor allem Küchen- oder Büromöbel),
- Messebau,
- Verpackungen,
- Agrareinsatz,
- Schlauchanwendungen und
- Granulierung.



Extrudiertes WPC-Profil

In der Futtermittel- und Lebensmittelindustrie werden im Rahmen der Vorkonditionierung z. B. Erhitzungs- und Bedampfungsprozesse integriert, die z. B. Getreidebestandteile aufschließen und damit verdaulich machen.

Heißextrudieren ist eine Technik, bei der ein recht wasserhaltiger Teig (Masse) unter enormem Druck in einer Verdichtungsschnecke (ähnlich einem Fleischwolf) erhitzt wird. An der Austrittsdüse fällt der Druck ab, so dass das Wasser verdampft und das Produkt stark gelockert wird. Dabei kann die bereits verkleisterte Stärke die Gashaltung (ähnlich wie bei einer Brandmasse) unterstützen und zu festen Poren festhalten. Oft wird noch eine Trocknungs- oder Röststation nachgeschaltet. Typische Produkte sind Erdnussflips, Zwiebelringe und andere Knabberartikel.



Erdnussflips

Materialien

Gängige Materialien der Verarbeitung sind:

- PVC: Polyvinylchlorid
- PE: Polyethylen
- PP: Polypropylen
- PA: Polyamid
- HDPE: *High Density Polyethylen*
- LDPE: *Low Density Polyethylen*
- ABS: Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat
- PC: Polycarbonat
- SB: Styrolbutadien
- PMMA: Polymethylmethacrylat
- PUR: Polyurethan
- PET: Polyethylenterephthalat

und innovative Biowerkstoffe wie

- Thermoplastische Stärke, Stärke
- CA: Celluloseacetat
- PLA: Polymilchsäure
- PHB: Polyhydroxybuttersäure
- WPC: Wood-Plastic-Composite

Literatur

- Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths: *Technische Biopolymere.* Hanser-Verlag, München 2009; ISBN 978-3-446-41683-3
- nova-Institut GmbH [Hrsg.): *BIB 2010 - Branchenführer Innovative Biowerkstoffe 2010*, ISBN 978-3-9812027-2-4 ([2] online).

Quellen und Bearbeiter der Artikel

Vorwort *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=74264647 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Florian Gerlach (Nawaro), 1 anonyme Bearbeitungen

α-Linolensäure *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69173808 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Ayacop, Bwag, Cvf-ps, Docht, Eschenmoser, Eula, Ingosp, Iridos, Jagaloisl, Kapitaenk, Korinth, M3ax, Mathemaster, Mow-Cow, NEUROtiker, Nicolas Seufert, Old toby, Onkelkoeln, Orci, Paramecium, Rainer Zenz, Rhododendronbusch, Roland.chem, Stefan da, Tambora, Varina, WS62, Wikisearcher, 30 anonyme Bearbeitungen

Abacá *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64226572 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Denis Barthel, Florian Gerlach (Nawaro), Geaster, Howwi, Hubertl, Morray, Motiko98, Peter200, Roterraecher, Tigerente, Tlusta, 5 anonyme Bearbeitungen

Acetyliertes Holz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70533053 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Florian Gerlach (Nawaro), Trintheim, Xocolatl, Xqt, 1 anonyme Bearbeitungen

Acetylierung *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64516848 *Bearbeiter*: Berntie, Birger Fricke, Engelbaet, Fedi, Flominator, HaeB, Hubi, Jan R, Katharina, Nina, Orci, Parpan05, Peterlustig, Phrood, Roland.chem, 6 anonyme Bearbeitungen

Ackergras *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=58634301 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Florian Gerlach (Nawaro), Trintheim, Xocolatl, Xqt, 1 anonyme Bearbeitungen

Agraralkohol *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67879853 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Alma, Fuenfundachtzig, Günter Barten (Nawaro), Jbergner, Karlo, Perrak, Richarddd, Supermartl, Tetris L, Tieger, Ulrichstill, 4 anonyme Bearbeitungen

Agrarenergie *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66765971 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Florian Gerlach (Nawaro), Heiner Brookman (Nawaro), Mike Krüger, Tucano

Agrarrohstoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64990597 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Don Magnifico, Florian Gerlach (Nawaro), Magnummandel, Motiko98, PM3

Agrartextil *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59292051 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aktions, Dellex, Florian Gerlach (Nawaro), Kuebi

Ahorne *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64380247 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aetas volat., Aglarech, Ahoerstemeier, Aka, Alexander Z., Algirdas, Amrod 81, Andreas 06, AndreasPraefcke, Andrsvoss, Anneke Wolf, Armin P., Avoided, Ayacop, B.gliwa, BLueFiSH.as, Baumfreund-FFM, Bdk, Birger Fricke, Björn Bornhöft, Blootwoosch, Brunosimonsara, Bubo bubo, Chatter, Chris01, Codeispoetry, Complex, Dansker, Das Ohr, DasBee, Dein Freund der Baum, Diamond, Diba, Dietzel, Don Quichote, Dr. Meierhofer, Echoray, Eckhart Wörner, El, Engie, Entlinkt, ErikDunsing, ErnstA, EvaK, Factumquintus, Flippo, Florian Gerlach (Nawaro), Franz Xaver, Fristu, Gauss, Gnu1742, H-P, Harry8, Head, HenrikHolke, Herrick, Hinrich, Hpots, Hutschi, Hydro, Ilion, J.-H. Janßen, JFKCom, Johanna R., Jpp, Karl-Henner, Kiker99, Klapper, Klaus Wagner, Kobako, Kolossos, Kurator, LC, LKD, Logograph, Manecke, Manwe 81, Maq, Michael w, Michael1001, Migas, Mike aus dem Bayerwald, Mmmkay, Mnh, Morgaine, Motorbiker, Mr. Dolk, Muscari, Necrophorus, Nikkis, Oberfoerster, Olei, Ot, Paddy, Peter200, Phil41, Politics, Qualia, Regi51, Regiomontanus, Ri st, S1, STBR, Sansculotte, Schewek, Shelog, Sinn, Soebe, Splayn, Sputnik, St.Krekeler, Stacharczyk, Stauba, Stefan Kühn, Stern, Taxiarchos228, Terabyte, TomK32, Trugbild, Tönjes, Unscheinbar, Valerius007, Vic Fontaine, WAH, Wolfgang1018, Wst, Zeuke, 153 anonyme Bearbeitungen

Ahornholz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65756419 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Anton-kurt, Density, Florian Gerlach (Nawaro), Holzwurm52, Stargamer, 1 anonyme Bearbeitungen

Alditole *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66720681 *Bearbeiter*: Abdull, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Armin P., Chemiewikibm, Cvf-ps, Dschanz, Hoffmeier, Hystrix, Molle, NEUROtiker, Onkelkoeln, Pilawa, RobertLechner, Roland.chem, Taxiarchos228, Thomas, Uwe Gille, Yikrazuul, 12 anonyme Bearbeitungen

Alge *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69108727 *Bearbeiter*: 25, Achim Raschka, Aglarech, Ajburk, Aka, Alcibiades, Androl, Ayacop, Balû, Baumfreund-FFM, BerndQ, Bierdimpfl, Bijick, Birger Fricke, Brudersohn, Brummfuss, Buteo, Bötsy, ChristophDemmer, Complex, Cymothoa exigua, DTeetz, DWay, Diba, Dominik Kiser, Dundak, Engie, ErikDunsing, Feba, Florian Gerlach (Nawaro), Franz Xaver, Fristu, Griensteidl, Hardcoreraveman, Hausmaus, Heiner Brookman (Nawaro), JCS, Jenshelm, Jivee Blau, Jonna, Jpiranha, Juesch, Kibert, Klugschnacker, Kogge, Krawi, Kris Kaiser, Kursch, Kurt Jansson, Linksfuss, Loth, Magnus Manske, Marfro, Martin-vogel, Media lib, Mike Krüger, Mo4jolo, Muscari, Nepenthes, Nina, Nolispanmo, OhWeh, Okatjerute, Olaf Studt, Oliver s., Origamiemensch, Pill, Plattmaster, Purodha, Rainer Zenz, Regi51, Robodoc, Romanm, Roo1812, S1, STBR, San Andreas, SchwarzerKrauser, Sepia, Septembermorgen, Sewaldo, Sinn, Srbauer, Supermartl, Tim Huber (Nawaro), TinoStrauss, Vic Fontaine, Vux, Wachstropfen, Wgd, Wiwi268, Wolfgang1018, Xocolatl, Yaro13, YourEyesOnly, Zbisasimone, 107 anonyme Bearbeitungen

Algenkraftstoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67038018 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Heiner Brookman (Nawaro), Linksfuss, Markus Götz (Biopolymere)

Alkylpolyglycoside *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=57128793 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Denis Barthel (WMDE), Dergeheimnisvolleverstopfer, Eschenmoser, Florian Gerlach (Nawaro), Jü, Leyo, Linksfuss, Looperz, Roland.chem, Schubbay, Video2005, Yikrazuul, Zaphiro, 3 anonyme Bearbeitungen

Altholz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65337160 *Bearbeiter*: 24-online, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aglarech, Andante, Andreas Pahler, Bierdimpfl, Florian Gerlach (Nawaro), Frank Helbig, Hadhuey, Havelbaude, LA2, Leyo, Mandavi, Oberfoerster, S.m.a.s.h, Tetris L, Wannabee3, Wissen, Wolfgang1018, Wurgl, Zahnstein, 12 anonyme Bearbeitungen

Altholzverordnung *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64867663 *Bearbeiter*: AHK, Achim Raschka, Aka, Alkibiades, Don Magnifico, Florian Gerlach (Nawaro), JOE, Lunus, Mps, Ordnung, Pelz, Spielblau, Wissen, Wolfgang1018, 5 anonyme Bearbeitungen

Arboform *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64500738 *Bearbeiter*: 7Pinguine, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, DeepBlueDanube, Ejfis, Florian Gerlach (Nawaro), Gersve, Jocian, La Corona, MarcoBorn, Olbertz, Pavel Vozenilek, Pill, Schwalbe, Srbauer, Tim Huber (Nawaro), Unique design, Update, Vren, Zahnstein, 11 anonyme Bearbeitungen

Asphalt *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=58652333 *Bearbeiter*: 4tilden, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Anamnesis, Andelfrh, Andreabi, Armin P., BLueFiSH.as, Batrox, Bdk, Benjaminos, Bierdimpfl, Bountin, CChamberlain, Carl von Canstein, CedricBLN, Christian2003, Claus Ableiter, Complex, Creapave, DerHexer, DerNicoAC, Dominic Z., Don Magnifico, Drwulf, Dschen, E7, Eisbaer44, Engeser, ErikDunsing, Euku, Fabian R, Fabian Steeg, Feba, Fleminra, Frank C. Müller, Glaubach, Gruni07, Guffi, HAL Neuntausend, Hardenacke, Head, Ilosch, IqRS, Islandius, JCS, JFKCom, Jbergner, Jed, Juliana, Karl-Friedrich Lenz, Karl-Henner, Karsten88, Kaugummimann, Kku, Krawi, Kungfuman, Köhl1, LaWa, Laza, Leen, Leider, Letsdoit, Leumar01, Littlebushidofangirl, Lutz Terheyden, Lutz Weiler, Lütke, MBq, Magmer, Mailtosap, Marikke, Martin Helfer, Martinhelfer, Media lib, Mgloor, Mib18, Mmg, Mons Maenalus, Moros, Mudd1, NSX-Racer, Nodutschke, Numbo3, Olaf Studt, Oldnag85, Paco001, ParasiteTom, Peter200, RA-Punzel72, Raymond, René Gaß, Revilooliver, RokerHRO, Rotkaeppchen68, Sandstein, Schewek, Schumir, Silberchen, Solid State, SonniWP, Suit, Tabalooga, Ticketautomat, Tilo, TomAlt, Trg, Urukhaj, VanGore, Volksmusikmeister, W!B:, WAH, Walter Koch, Weiacher Geschichte(n), WeißNix, Wissen, Wkrautter, Wolli-j, Wst, 159 anonyme Bearbeitungen

Ätherische Öle *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70824248 *Bearbeiter*: @ja, AHZ, Abubiju, Achim Raschka (Nawaro), Aglarech, Aka, Andante, AndreasE, Apophis27, Ayacop, BS Thurner Hof, Badeschaum, Beek100, Berlin-Jurist, Birger Fricke, Capaci34, Carstor, Ce, Chemiewikibm, Cholo Aleman, Codc, Crazy-Chemist, Crux, Cuchullain, Cvf-ps, DTeetz, DasBee, Dl4gbe, Doudo, Drahreg01, Dundak, Engie, Entlinkt, Euphoriceyes, FEXX, FK1954, Fire, Fischy, Florian Gerlach (Nawaro), Gabriela Stark, Geos, Griensteidl, Hadhuey, Hansele, Haraldius, He3nry, Hoffmeier, Hydro, Hyssopus, Jergen, Jesi, Joschua, JuergenL, Juliana, Kasperky, Katharina, Keno, Kibert, Kku, Klingon, Kobako, Krawi, LKD, Lenny222, Leyo, Malte Schierholz, Markus Bärlocher, Mathias Schindler, Media lib, Neti, Nicolas G., Nobikles, Nyfferet, Obersachse, Olaf Studt, Onkelkoeln, Orci, Ot, Oxymoron83, Peterlustig, Pittimann, Pocci, Polarlys, Rapober, Rbertram, Redf0x, Regi51, Reinhard Kraasch, Rho, Ri st, RickJ, RobertLechner, RokerHRO, Roland.chem, S.Didam, S1, SPKirsch, Sagitario, Sargoth, Schwiertz, Seewolf, Smouhl, Solid State, Stoebers, Supermartl, Tini31552, Tönjes, Ulz, Umweltschützen, Uwe Gille, Van Flamm, Vond, W!B:, WAH, Wigulf, Wolfgang Pohl, Wolfgang1018, Wst, YourEyesOnly, Zahnstein, Zaphiro, Zerohund, 178 anonyme Bearbeitungen

Bagasse *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67705231 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Alleswissender, Buecherfresser, Florian Gerlach (Nawaro), N15-PK23-11, Nmoas, Tetris L, 2 anonyme Bearbeitungen

Bakterien *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69198596 *Bearbeiter*: -Kitsune, 12345, Abu el mot, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Adw, Aglarech, Aka, Albtalkourtaki, Amogorkon, AndreasPraefcke, AndyT, Apm, Armin P., Arno Matthias, Astronomie-lady, Avoided, Ayacop, Baffclan, Baldhur, Balduin, Ben-Zin, Bender235, Bernhard55, Bertonymus, Birger Fricke, Boronian, Brsa, Brudersohn, Cakepiece, Calvini, Catrin, Caulobacter subvibrioides, Chb, Chrisfrenzel, ChristianBier, ChristophDemmer, Conny, Cymothoa exigua, D,

Daniel 1992, Deepstar, Diba, Dilerius, Dingo, Dominic Z., Dundak, Eckhart Wörner, Ephraim33, Eredrian, Esteban Franz Tichy, Fibonacci, Flo 1, Florian Adler, Flothi, Fristu, GNosis, GenJack, Germit, Gilliamjf, Glenn, Gnu1742, Griensteidl, Gurt, Gutmensch, HAL Neuntausend, HaeB, Harry20, Hermannthomas, Herzquell, Hoffmeier, Howwi, Hozro, Hubertl, Ikiwaner, Inkowik32, Ireas, JFKCom, Jens Ilg, JensBaitinger, Jergen, Jlukasw, Johnny Yen, Jsgermany, Juergen861, Juliana, Kaisersoft, Karl-Henner, Kibert, Kku, Konrad Foerstner, Kookaburra, Krtek76, Krtschil, Kurt Jansson, LKD, Lantash, Lanzi, Lars kaegi, LeCornichon, Leonard Vertighel, LogoX, Logograph, Magnus Manske, Maikel, Martin Bahmann, Martin Rasmussen, Martin-vogel, Media lib, Michael Hobi, Michael.chlistalla, Michail, Mikue, Moros, MsChaos, Necrophorus, Nerd, NicoWachter, Nicolas G., Nina, Ninety Mile Beach, Nocturne, Numbo3, Oktobaer, Oliver s., Opa, PDD, PROBIOS, Paddy, Peter200, PhJ, Phoneclear, Pikarl, Pittimann, Plattmaster, Polarlys, Pyro, Quikquak, Ra'ike, Raubsaurier, Regi51, Robodoc, Roo1812, SPS, STBR, Schewek, Schmitty, Schweikhardt, Sebboh, Seewolf, Septembermorgen, Seudberg, Shizr, Shylock, Silberchen, Stefan Kühn, Stoll, Study Nurse, Suisui, Sven.Kienzle1995, Sypholux, Tgriess, Thierry Pool, Tigerente, TomCatX, Tonk, Ulz, Umweltschützen, Unukorno, Uwe Gille, Verita, WAH, Wesener, Wicket, Wickey-nl, Wiegels, Wissen, Yannick Kupferschmidt, YourEyesOnly, Zanki, Zotteli, 281 anonyme Bearbeitungen

Bauholz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73327821 *Bearbeiter*: Abena, Achim Raschka (Nawaro), Bierdimpfl, Bubo bubo, Club79, Don Magnifico, Florian Gerlach (Nawaro), Greenhorn, Guandalug, Harald Hansen, Heiner Brookman (Nawaro), J.-H. Janßen, Jörg Bühler, Kiesi, Label5, Mailtosap, Mef.ellingen, Mik81, Mätes, Oberfoerster, PeeAeMKay, Pittimann, Roest, STBR, Soebe, Spuk968, Störfix, TomAlt, Vesta, W!B:, WikipediaMaster, Xario, 28 anonyme Bearbeitungen

Baumwolle *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70505169 *Bearbeiter*: -jha-, 4tilden, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aglarech, Aka, Alfred Grudszus, Androl, Anneke Wolf, Antonin, Atamari, BS Thurner Hof, Barb, Begonia, Bertonymus, Bettenlager, Bierdimpfl, Birger Fricke, Blaue Orchidee, ChristianGlaeser, Ckeen, DaBone, Dachris, DerHexer, Dha, Diba, Doug233, Einmaliger, El Suizo, ElRaki, ErikDunsing, Fafner, Fschoenm, Fuzzy, GDK, Gbeckmann, Gebu, Georg-Johann, Gerbil, Gnu1742, Gumbel, Gunnar.Forbrig, H005, HCQ, HaeB, Hardenacke, Henning M, Herrick, Hofres, Ikiwaner, Irmgard, JFKCom, Jakob j, JorgeGG, KW, Kam Solusar, Karl-Henner, Katach, Kilima8, Koerpertraining, Kohl, Kopoltra, Kubrick, Kurt Jansson, LKD, Lantus, Lisette143, LoKiLeCh, Lofor, Lonelyplanet, Löschfix, Magadan, Marc Tobias Wenzel, Markus Schweiß, Martin-vogel, Mravinszky, Mschlindwein, Muscari, Napa, Neon02, Ngiyaw, Nils Simon, Omarius, Ot, Pendulin, Peter200, PhJ, Phil41, Pittimann, Pomona, Praktind, Q'Alex, Rabe19, Renato Caniatti, Ri st, Robert Eriksens, Roo1812, S1, SKopp, Saethwr, Schewek, Schlurcher, Seefahrt, Seewolf, Semperor, Siebenstein83, Sigune, Snoopy99, Snotty, Solid State, StYxXx, Stephan Piotrowski (Nawaro), Steve Maier, Stilfehler, Stoll, Streifengrasmaus, Sulfolobus, Sven-steffen arndt, T.harte, Thomas S., Thomasboehnke, Thorbjoern, Tim Huber (Nawaro), Trac3R, Udo Schuldt, Ulrich.fuchs, Urbanus, Vic Fontaine, W!B:, WAH, Webkid, Yazee, Zahnstein, 188 anonyme Bearbeitungen

Baumwollfaser *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67840151 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Stephan Piotrowski (Nawaro)

Bernsteinsäure *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65757037 *Bearbeiter*: 0r14nd0, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Asthma, Augiasstallputzer, Ayacop, Boemmels, Cleanair, Crazy-Chemist, Crux, Denis Barthel, Dicky Arts, Dnalor, Dr.cueppers, Drpagel, Edgehold, Eschenmoser, Fedi, Florian Gerlach (Nawaro), Glurb33, JWBE, Janz, Jpp, K!roman, Kuede, Longo, Markus Götz (Biopolymere), Martin-vogel, Mathemaster, Matthias M., Mhlusi, Moonwashed, Mow-Cow, NEUROtiker, Orci, Physiosoziologicus, Pm, Pygmalion, Rhododendronbusch, RobertLechner, Roland.chem, Roo1812, Rotkaeppchen68, Rudflodur, Semperor, Silvernight, Slipstream, Solid State, Southpark, Speck-Made, Stefan da, Suirenn, Sven Weidauer, Swing, The weaver, Thomas, Thomasgl, Ulrich.fuchs, 33 anonyme Bearbeitungen

Bestand (Forstwirtschaft) *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70077057 *Bearbeiter*: Blaufisch, Oberfoerster

Bindemittel *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73327946 *Bearbeiter*: Abdull, Achim Raschka (Nawaro), Diba, Dnalor, Elwe, Erdbeerquetscher, Fabian R, Gulp, Hansmi, Jivee Blau, Lung, Magnummandel, Maikel, ManBs, Mark Asmus, Martina Kolarek, Maxmax, Merlissimo, Muck31, Norro, Pepre, Pfalzfrank, Pjacobi, R.H., Reinhard Kraasch, Rhododendronbusch, Sinn, Thomy3k, Tobias Bergemann, TomAlt, Tönjes, Ulfinger, W!B:, WAH, Waldschrat68, WortUmBruch, Wst, Zahnstein, 31 anonyme Bearbeitungen

Bioabfall *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=57256969 *Bearbeiter*: 3268zauber, Achim Raschka (Nawaro), Arma, Asafreeman, BJ Axel, Baumfreund-FFM, Belitrix, Bijick, Brummbart, C.Löser, DasBee, Florian Gerlach (Nawaro), Gerd Taddicken, Gerhardvalentin, Krischan111, Ljfa-ag, Mmartin, Numbo3, Ordnung, PM3, Peterlustig, Sicherlich, Sinn, Spielblau, The cattr, Thomas Möller, Toertsche, Uwe Gille, Wofl, Zahnstein, Zerohund, 12 anonyme Bearbeitungen

Biobutanol *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69148364 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Chpfeiffer, Eckhardboles, Feba, Heiner Brookman (Nawaro), Jbergner, Jüppken, Seestaernli, Tetris L, 15 anonyme Bearbeitungen

Biodiesel *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68351909 *Bearbeiter*: 1-1111, 790, Achates, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Agnes Menz, Aka, Aktuelles 100, AlterVista, Amphibium, Anaximander, Andy king50, Anhi, Anton, Arralen, Aruck, Avjoska, Avoided, Ayacop, BJ Axel, BK-Master, BLueFiSH.as, Beelzebubs Grandson, Benni Bärmann, Bergdohle, Bertonymus, Bierdimpfl, Birger Fricke, Blaubahn, Blauerflummi, BochumerJung, Bosque21, C-M, Cbkrueger, Chb, Chemiewikibm, Cholo Aleman, Church of emacs, Clemensfranz, Cubitus, Curtis Newton, Cymothoa exigua, D, DJ RADIO W, Dammwart, Darkking3, DemonDeLuxe, Denis Barthel, DerHexer, Diba, Dktz, Duczmal, Echoray, ElectroGeorge, Engelbaet, Ephraim33, ErikDunsing, Euphoriceyes, F.Schäfer, FNaehring, Fedi, Feldkurat Katz, Felix Stember, Fire, Florian Adler, Florian Gerlach (Nawaro), Florian.Arnd, Frank A, Frosty79, GDK, GFJ, Gadacz, Gary Luck, Gcebrat, Georg Slickers, Gerfriedc, Ghw, Gissi, Gnu1742, Graypi, Grey Geezer, Gsälzbär, Guandalug, Guisquil, Günter Barten (Nawaro), HAL Neuntausend, HH58, Hadhuey, Hansbaer, Hbs, Head, Herbertweidner, Hermannthomas, Herr Andrax, Hinrich, Holman, Hoo man, Houseboat, HsT, Hubertl, Hydro, IqRS, JFKCom, JWBE, Jacktd, Janurah, Jbergner, Jens Liebenau, Jensole, Jergen, Jkbw, Jmsanta, Jodoform, JogyB, John Eff, Jonas kl, Jopeter, Jordi, Juventus Milan, Jü, KL47, KaiMartin, Karl Gruber, Katach, Kdkeller, Kino, Klamser, Klopsclown, Koerpertraining, Krawi, Kristjan, Krächz, Kurt Jansson, Kyantarodor, Küttu, LKD, Leider, Leumar01, Leyo, LiQuidator, Liberal Freemason, Liebeskind, Linksfuss, Lobby, Logograph, Lordgordian, Louis Bafrance, Lubeuene, LuiLieschen, Lyzzy, Löschfix, M.L, MFM, MGR, MalteAhrens, Markus Schweiß, Martin k, Mathias.P, Matthias M., Mejidori, Mhlusi, MichaelKarcher, MichaelSchoenitzer, Mike Krüger, Mirghon, Mnh, Motorschaden, MovGP0, Mx2000, My name, Neitram, Neo23x0, Nicks, Nicolas G., Nilskolaus, NirtakP, Norbert Breuer, Obersachse, Ohbear, Olei, Onkelkoeln, Orci, Ossipro, Osterheck, Ostseebader, Ot, P. Birken, PS-2507, Patrick-br, PaulePanter, Pelz, Peter Gerwinski, Peter200, Phan Ba, Pilawa, Pittimann, Pm, Polentario, Priwo, Pyrokrat, Ra'ike, Rabauz, RacoonyRE, Raucher, Rdb, Reinhard Kraasch, Reinhold Motnik, Revvar, Rex250, Rindermetzger, Robert Will, RokerHRO, Roland Kaufmann, Roland.chem, Rollerbär, Romantiker, Roo1812, Ruppert, S.Didam, Sallynase, Sandroshavitz, Schusch, Schweißer, Sea-empress, Seestaernli, Seewolf, Semper, Serpens, Servus100, Simon-Martin, Sinn, Sir, StYxXx, Stahlkocher, SteBo, Stefan Bernd, Stefan Kühn, Stefan hein, Stephan Piotrowski (Nawaro), Suhadi Sadono, Suricata, Swapo, Sypholux, TammoSeppelt, Template namespace initialisation script, Tetris L, Th., Th40jakob, Thomas, Thomas G. Graf, Thorbjoern, Ticketautomat, Tobi B., Tobnu, Togo, Tom md, Tomsperoni, Trac3R, Tschäfer, Tsor, Tucano, Tönjes, Udo Schuldt, Ussschrotti, Uwe Gille, VanGore, Vigala Veia, Voyager, WAH, WOBE3333, Watti, Westiandi, Wheely, Wieczo.yo, Wiegels, Wikifreund, WilfriedC, Wkrautter, Wladmeister, Wst, XXxLeNnYxXx, Xocolatl, Xuejun.w@gmail.com, YourEyesOnly, Zahnstein, Zaphiro, Zaungast, Zeitgeschichtler, Ökologix, 600 anonyme Bearbeitungen

Bioenergie *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=74186958 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aglarech, Aka, Benderfrie, Berndura, Bernhard Wallisch, Blaufisch, Boatcopy, Casra, Claus Ableiter, DanielDüsentrieb, DasBee, Der Rabe Ralf, Der.Traeumer, Diba, DoraT, Drassanes, Florian Gerlach (Nawaro), Fristu, GillianTL, Gruendinger, HaSee, Hadhuey, Heiner Brookman (Nawaro), Herbertweidner, Herr Meier, Herrflick, Hin-Tse, Holscher, HorstTitus, Hydro, JOE, K4ktus, Kickof, Kladson, Krawi, Kristjan, Kunstsalon, LKD, Louis Bafrance, Monkofthetrueschool, PDD, Qmvet, Rongoku, Roterraecher, Schlonnel, Schusch, Semper, Simon-Martin, Sinn, Stefanbcn, The chrismartin, Thomar1977, Tobi B., Togo, Uwe.fritsche, W. Edelmann, WOBE3333, Wikiwiki09, Winternet, YourEyesOnly, Zahnstein, 82 anonyme Bearbeitungen

Bioenergiedorf *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69191757 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Asafreeman, Der Rabe Ralf, Diba, Engelbaet, Florian Gerlach (Nawaro), Gerd Taddicken, Heiner Brookman (Nawaro), Heinte, Herr Th., High Contrast, JOE, Jkü, Kallewirsch, Kenji, Kleinklein, Klever, Kuebi, MoesTaverne, Ricky59, Roest, Rotkraut, Sandres, Scoid, Sinn, Tetris L, WikiCare, 38 anonyme Bearbeitungen

Bioethanol *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71331538 *Bearbeiter*: 25, 4tilden, 555Nase, AF666, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Adhominem, Aka, Alberto1stone, Andibrunt, Andreas 06, AndreasPraefcke, Asdert, Ben Ben, Benderfrie, Berthold Werner, Bethix, Biberl, Biologos, Björn Bornhöft, Bob Frost, Bodenseemann, Borisflex, Btr, C-M, ChristophDemmer, Cocoloi, Coolchip, Cottbus, CyRoXX, Dan Wesson, Daperius, DasBee, Dein Freund der Baum, Der Rabe Ralf, Der schiefe Turm, Der.Traeumer, Dha, Dinah, Dishayloo, Don Magnifico, Eckhardboles, Edoe, Elfentritt, Elmschrat, Ephraim33, Eschenmoser, Euphoriceyes, Fd2008, Felix Stember, Flea, Florian Adler, Florian Gerlach (Nawaro), Frank.K, Gardini, GattoVerde, Geoprofi, Gerd Fahrenhorst, Gerd40, Gerfriedc, Gerhardvalentin, Ghw, GiordanoBruno, Graypi, Günter Barten (Nawaro), HDP, Hannes Röst, Heiner Brookman (Nawaro), Heinte, Herbertweidner, Hermann Luyken, High Contrast, Holscher, Hydro, Itti, Jashuah, Jbergner, KAMiKAZOW, KGF, Kaisersoft, Katharla, Kku, Korinth, Krawi, Krokofant, LKD, Leumar01, Leyo, MFWeb, MKrings, Madame, Maggi-k, Mardil, Marsupilcoatl, Matthias M., Mieguy, Mion, MovGP0, Muck31, Muscari, My name, NEUROtiker, Nepenthes, OdI, Onkelkoeln, Pelz, Peter200, PeterSchwertner, Phanti, Polarlys, Politics, Quarz, Querverplänkler, Rdb, Reinhard Kraasch, Ri st, Ripp4r, Roest, Ron.W, Rongoku, Rufus46, S.Didam, S1, SDB, Scooter, Semper, Senfmann2, Separator, Simon-Martin, Sinn, Spazion, Steinmeister, Tango8, Taschendrache, Tetris L, TheK, Thomas, Thorp, Tieger, Tom lu, Tom md, Totalflex, Tönjes, Udq8, Uellue, Ulanwp, Uwe Gille, Venezianer, WIKImaniac, Wangen, Wasserseele, Watti, Weissbier, Wiedemann, Wiegels, Wikifreund, Wladmeister, Wst, YourEyesOnly, 314 anonyme Bearbeitungen

Biogas *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73915144 *Bearbeiter*: 112.234.186.195.dial.bluewin.ch, A-4-E, A.Sala, AGBÜMMS, Achim Raschka (Nawaro), Adornix, Ahellwig, Aka, Amtiss, Andreas 06, Andys, Armin P., Arnomane, Aufräumer, Avron, BKSlink, Bdk, Ben Ben, Ben-Zin, Berlin-Jurist, Blaufisch, Brudersohn, Brummfuss, Btr, Buchling, Buteo, Bücherhexe, Centic, Chemiewikibm, Chrisfrenzel, Complex, Conversion script, Cornixx, Crazybyte, Curtis Newton, D, D.tamm, DTeetz, DasBee, Defrenrokorit, Der Rabe Ralf, Der.Traeumer, DerHexer, Diba, Dinetop, Dundak, Ejfis, Engelbaet, Engie, Entlinkt, Ephraim33, Ericsteinert, ErikDunsing, Extensive, Florian Gerlach (Nawaro), GDK, Georg Slickers, Geos, Gerbil, Gerfriedc, Gimli, son of Gloin, Gliesche, Goldzahn, Gunnar.Kaestle, Hadhuey, Hanns-ulrich, Hardenacke, He3nry, Heiner Brookman (Nawaro), Heinte, Henriette Fiebig, Hermannthomas, Herrick, Hhielscher, Hinterkappelen, Hozro, Hubertl, Hydro, IP-Adresse, Igge, J C D, JOE, Jbergner, Jergen, Jhartmann, Jivee Blau, JonBs, Jqb BG, Juesch, Karl-Henner, Karsten11, KatrinBerlin, Kku, Knoerz, Koerpertraining, Kozerator, Krawi, Kwer Wolf, Käpten Balu, LKD, Lamesinthe, Landwirt, Leichtbau, Leumar01, Liesel, Littleandy, Lukrez, Lulu-Ann, MSh, MadProfessor42,

Magnummandel, Markus Schweiß, MarkusZi, Matthias M., MichaelDiederich, MichaelFrey, Mion, Mnh, MovGP0, Mr. Cunt, MsChaos, My name, Narf, Nerd, Nicolas G., Nolispanmo, Normalo, Numbo3, Okatjerute, Olei, Ot, Oxymoron83, Papa1234, Parvus77, Pendulin, Peter200, Philipp Sauermann, Pilawa, Pm, Querverplänkler, Rabe19, Raboe001, RacoonyRE, Rainer Lippert, Rasi57, Rdb, Regi51, Rho, Ri st, Richardigel, RokerHRO, Rongoku, Roo1812, Rosentod, Rufus46, Rumo, S1, Saibo, Saiht, Sammmy, Schewek, Schmalte, Schmitty, Schusch, Scooter, Septembermorgen, Showertower, Simon-Martin, Sinn, Small Axe, Soebe, Spielblau, Splayn, St.Krekeler, Stefanbcn, Stefanlin, Steffen, Stephan Piotrowski (Nawaro), Suirenn, Tetris L, TheK, Thomar1977, Thomasbilgram, Thorbjoern, TobiasKlaus, Togo, Tolentino, TomCatX, Trickycockytoo, Tönjes, Umweltschützen, Verum, WAH, WasserFreund, Watti, Weini, Wikifreund, WilfriedC, Wkrautter, Wst, YourEyesOnly, Zahnstein, Zaphiro, Zzaster, pD9009868.dip.t-dialin.net, pD902E07F.dip.t-dialin.net, pD9044D7F.dip.t-dialin.net, 415 anonyme Bearbeitungen

Biogasanlage *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73988036 *Bearbeiter*: AG-SG, AHZ, Achim Raschka (Nawaro), Agadez, Agnes Menz, Aka, Angeleyez, Antonin, Armin P., Asdrubal, Avoided, Avron, Ayacop, BLueFiSH.as, BesondereUmstaende, Björn Bornhöft, Blacks7, Btr, C. Menn (Nawaro), C.Müller, CHR, Capaci34, Church of emacs, Claus Ableiter, Complex, Conny, D, DasBee, Der Rabe Ralf, Der Wolf im Wald, DerHerrMigo, DerHexer, Diba, Don Magnifico, Dr Nibbles, Druffeler, Eh089, Engelbaet, Engie, Eugen Lehle, Euphoriceyes, Eynre, Felix Stember, FishScientist, Florian Adler, Florian Gerlach (Nawaro), FriefighterMS, G-C, Garnichtsoeinfach, Geist, der stets verneint, Gnu1742, Gunnar.Kaestle, Hadhuey, HaeB, Haiopais, Hardenacke, Harf, Heiner Brookman (Nawaro), Heinte, Hendric Stattmann, Hermannthomas, Hofres, Holscher, Hukukçu, Hydro, Ilja Lorek, Inkowik32, Irmgard, Itti, J C D, Janstr, Jbergner, Jergen, Jhartmann, Jivee Blau, Johnny Controletti, Jqb BG, Kalavkalash, Kalli R, Kku, Klara Rosa, Klügerscheißer, Käpten Balu, LKD, Lalalo, Lambada, Leider, Leumar01, LiQuidator, Lohan, MFM, Magnummandel, Matak, Matt314, Messe Husum, Michael Fiegle, Michelvoss, Mion, Mnh, Mo4jolo, Morty, Nelson95, Nepenthes, Nf01, Nolispanmo, OecherAlemanne, Onee, Ot, Oxymoron83, Pelz, Peter200, Pittimann, Pointfeng, Polemos, Primus von Quack, Q'Alex, Raboe001, RacoonyRE, Regi51, Renekaemmerer, Rhin0, Roest, Rongoku, Roo1812, S1, Sabrina85, Saiht, Sammmy, Sansculotte, Schmitty, Schreckens, Schusch, Scooter, Selected, Semper, Septembermorgen, Showertower, Simon-Martin, Sinn, Solarzentrumsüd, Splayn, Springorum, Spuk968, Stefan.K., Succu, Tetris L, TheRealPlextor, Theoprakt, Tonk, Tönjes, Vorrauslöscher, WAH, Willglov, YourEyesOnly, Zahnstein, Zinnmann, Zollernalb, 309 anonyme Bearbeitungen

Biogasaufbereitung *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=74184207 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Aka, Blacks7, Denis Barthel, Elsador, Engelbaet, Euphoriceyes, Florian Gerlach (Nawaro), Guinness, Heiner Brookman (Nawaro), Mike Krüger, Motiko98, TH2009, Tetris L, WOBE3333, 8 anonyme Bearbeitungen

Biogasmotor *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65757140 *Bearbeiter*: Denis Barthel (WMDE), Florian Gerlach (Nawaro), Heiner Brookman (Nawaro), Hydro, Koerpertraining, Textkorrektur, WikipediaMaster

Biogen *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59949657 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Aka, C.Löser, Florian Gerlach (Nawaro), Fristu, Geiserich77, Georg Messner, Guandalug, Heinte, Kku, Milchmariandl, Onkel74, Srbauer, Thomasgl, Vigala Veia, W!B:, WeißNix, Xqt, 7 anonyme Bearbeitungen

Biogener Arzneistoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70477585 *Bearbeiter*: Bernard Ladenthin, Heiner Brookman (Nawaro), Hoffmeier, Hydro, Janneman, Lehrer Lämpel, Maczunk, Pelz, Revolus, 10 anonyme Bearbeitungen

Biogener Brennstoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69479642 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Heiner Brookman (Nawaro), Heinte, My 2 ct, Tetris L, WOBE3333

Biogener Schmierstoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=56911884 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Cactus26, Engelbaet, Erdbeerquetscher, Florian Gerlach (Nawaro), Geof, Griensteidl, Hao Xi, Mailtosap, N. Paul (Nawaro), Oliver S.Y., PDCA, PM3

Biokatalyse *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70079684 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Beelzebubs Grandson, Complex, Don Magnifico, Eschenmoser, Heiner Brookman (Nawaro), Irishi, Linksfuss, Nina, PM3, Philipendula, Roberto riojo, Wissen, 8 anonyme Bearbeitungen

Biokomposit *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66602128 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Papa1234, QualiStattQuanti, Stephan Piotrowski (Nawaro), Tim Huber (Nawaro), WAH

Biokonversion *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69149598 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Gohnarch, Heiner Brookman (Nawaro), Hydro, Michael Hobi, Nepomucki

Biokraftstoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68343585 *Bearbeiter*: A.Rhein, APPER, Abc2005, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Ahellwig, Aka, Aktions, Amphibium, Anhi, Avoided, Bertonymus, Biologos, Blaufisch, Blue Lou, Camaris, Cherubino, Chesk, Cholo Aleman, ChrisHamburg, Claudia Destrait (Nawaro), Cliffhanger, Cocoloi, Conny, David Kostner, Der Lange, Der Rabe Ralf, Der.Traeumer, DerHexer, Don Magnifico, Edelsbrunner, Elfentritt, Engie, Euku, Euphoriceyes, Flea, Florian Gerlach (Nawaro), Fouk, FrancescoA, Fsiegert, GeorgHH, Gerbil, Ghw, Gruendinger, GrummelMC, Günter Barten (Nawaro), HH58, HaSee, Hadhuey, Hanns-ulrich, Heiner Brookman (Nawaro), Herbertweidner, Howwi, Hozro, Hydro, JLeng, JOE, Jbergner, Jiver, Jmsanta, JoBa2282, Joise, Jutta234, K4ktus, Kam Solusar, Karl-Heinz Tetzlaff, Kdkeller, KingLion, Krawi, LAk loho, LKD, Lacrimus, Leider, Lenapa, Leyo, Louis Bafrance, LuiLieschen, MFWeb, Magnummandel, Marzahn, Matthias M., Max Plenert, Menolit, NEUROtiker, Nepenthes, Nicolas G., Nils Simon, Nilskolaus, NirtakP, Nobbipunktcom, Nornen3, Nowic, Onee, OnkelFordTaunus, Owaaitza, Peter200, Polentario, Q'Alex, QueenKwong, Quintero, RacoonyRE, Raubsaurier, Regenwald-Maulwurfi, Regi51, Reinhard Kraasch, Richardigel, Rongoku, Roo1812, RudolfSimon, S.Didam, S1, Saltose, SchroedingersKatze, Seestaernli, Senfmann2, Simon-Martin, Sinn, Small Axe, Sol1, Suirenn, Tetris L, Thire, Tobi B., Tomsperoni, Trac3R, Tuxman, Tönjes, UW, Udo Schuldt, Ulrich Tausend, Uwe Scheibler, Uwe1959, WOBE3333, Watti, Weissbier, Wikifreund, Wladmeister, Wolfgang1018, ZahniDani, Zaphiro, Zietz, 155 anonyme Bearbeitungen

Biokraftstoffquotengesetz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68356912 *Bearbeiter*: AHK, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Alros002, Buzer, Claudia Destrait (Nawaro), Florian Gerlach (Nawaro), Heiner Brookman (Nawaro), Karstenkascais, Knoerz, PM3, S.Didam, Sepp, Stephan Piotrowski (Nawaro), Tetris L, 2 anonyme Bearbeitungen

Biokunststoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=63800615 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aineias, Aka, Andreas-Meile, Bio-economy, Birgit Herrmann (FNR), Blunt., Coltaine, Complex, Conny, Cvf-ps, DasBee, Don Magnifico, DoriWi, Drahkrub, Drahreg01, Engelbaet, ErikDunsing, Eschenmoser, Feuerblüte, Florian Gerlach (Nawaro), Flow660, Frank Schulenburg, Goldzahn, Gyoergi, HH58, Hannes Röst, Hydro, Jashuah, Jbergner, Klamser, Kulac, Linksfuss, MFM, Mardil, Missnatraj, Nils Simon, Orci, Otten Dirk, Pendulin, Peterlustig, Plenz, Popp, RobertLechner, Rolf H., Roterraecher, SKopp, STBR, Spitzl, Stefan Horn, Stefan64, Stepa, Syrcro, Togo, Tom md, Ukko, Zahnstein, Zietz, 60 anonyme Bearbeitungen

Biokunststoff-Verpackung *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65127077 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Florian Gerlach (Nawaro), Michileo, Orci, Willich (Nawaro)

Biologisch abbaubarer Werkstoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69200459 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Atlan da Gonozal, Bio-economy, Ciciban, Engelbaet, Florian Gerlach (Nawaro), Hydro, RobertLechner, Schwalbe, Soli, Tom md, WAH, Wiki-Hypo, WikipediaMaster, Willich (Nawaro), YourEyesOnly, Zahnstein, 8 anonyme Bearbeitungen

Biologische Abbaubarkeit *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68731903 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Ciciban, D.Schiebener, Engelbaet, Entlinkt, Heinte, Leyo, Rpunkt, Tom md, Willich (Nawaro), 2 anonyme Bearbeitungen

Biomasse *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67873004 *Bearbeiter*: *Tischkante*, Abu el mot, Achim Raschka (Nawaro), Aglarech, Aka, Allesmüller, Anaximander, AnhaltER1960, Asthma, Avoided, Bernhard55, Biobertus, Blaubahn, Blaufisch, Brudersohn, Brummfuss, Cherubino, Chrisfrenzel, Christian2003, Complex, Cristof, Curtis Newton, Cymothoa exigua, DTeetz, Der Lange, Der Rabe Ralf, DerHexer, DerSchnüffler, Diba, Domlen, Drassanes, Eckhardboles, Engeser, Entlinkt, Florian Gerlach (Nawaro), Fristu, Fuenfundachtzig, Geisslr, Georg Slickers, Gerbil, HaSee, Hadhuey, Hardenacke, Hati, He3nry, Heiner Brookman (Nawaro), Herbertweidner, Hgns, Holscher, Howwi, Hubertl, Hydro, Ixitixel, JOE, Jaques, Jens Liebenau, Jergen, Jpp, Jürgen Pierau, Karlthegreat, KatrinBerlin, Kku, Krawi, Krtek76, Kyng, LKD, Löschfix, MAK, Magnummandel, Marc-André Aßbrock, MarkusHagenlocher, Matzematik, Menolit, MichaelFrey, Mion, Mnh, Mrnett1974, Mudd1, NEUROtiker, Nepenthes, Nicolas G., NoSuchNick, Obersachse, Olei, Onew, Penarc, Pendulin, Perrak, Peter200, PhJ, Philipendula, Pittimann, Pumpica, Querverplänkler, RainerS.punkt, Regi51, Ri st, Roo1812, RudolfSimon, Sa-se, Schlurcher, Schnulli00, Schusch, Seewolf, Semper, Silberchen, Simon-Martin, Sinn, Stefan64, Tetris L, Thkoch2001, Thomar1977, Timt, TobiasKlaus, Togo, Tomatenmark, Tonk, Trac3R, Tsor, Tucano, Tönjes, Ulfbastel, Umweltschützen, Unscheinbar, Uwe.fritsche, WAH, Webdesignbrasacchio1967, Willglov, Wolfgang1018, Yazee, YourEyesOnly, Zahnstein, 233 anonyme Bearbeitungen

Biomasseheizkraftwerk *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73583534 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Adlerweb, Aka, Alaska, Andim, Asafreeman, Controlling, DISonny, Dragan, Engie, ErikDunsing, Florian Gerlach (Nawaro), Flumsi, Grindinger, Halbarath, Heiner Brookman (Nawaro), Hendric Stattmann, Herbertweidner, Hubertl, Huku-chan, Hydro, JOE, Joho345, K4ktus, Krawi, Lunus, Markus Götz (Biopolymere), Martin Bahmann, Mauli66, Michael Sander, Millbart, Mysteryku, Nikater, Ntpds, Ot, Peter200, Rasi57, Rasko, Reinhard Kraasch, Roest, Ruppert, SPBer, Schlepper, Schlurcher, Sinn, Stefan h, Sternenstädtchen, Tetris L, Trendy64, Ulrichulrich, Verita, W!B:, Weoncito, Wikidienst, Wolf32at, Zahnstein, 110 anonyme Bearbeitungen

Biomasseheizwerk *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70167118 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Chatter, Christian Rößler, Dormira, Feba, Florian Gerlach (Nawaro), Heiner Brookman (Nawaro), Herr Meier, Jörg der Wikinger, Mogelzahn, Muck31, Riverwind, Succu, Tetris L, Ulrichulrich

Biomassepotenzial *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=61316241 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Denis Barthel, Dundak, Florian Gerlach (Nawaro), MFM, Mef.ellingen, Rpunkt, Steelsmith, Thomas Breuer (Nawaro), Uwe.fritsche, 3 anonyme Bearbeitungen

Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=72882145 *Bearbeiter*: Alros002, Heiner Brookman (Nawaro), Inkowik32, Jessiathome, Joschun, Linksfuss, Stephan Piotrowski (Nawaro), 3 anonyme Bearbeitungen

Biomassevergasung *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73413956 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Denis Barthel, Littleandy, Pendeen, Tetris L, 1 anonyme Bearbeitungen

Biomethan *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70900256 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Don Magnifico, Florian Gerlach (Nawaro), Gerd Taddicken, Heiner Brookman (Nawaro), Hin-Tse, Ische007, Janstr, Kuebi, Mike Krüger, Pamputt, Robtrob, Rongoku, Tetris L, 4 anonyme Bearbeitungen

Bioöl *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=62893542 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Dances with Waves, Denis Barthel, Florian Gerlach (Nawaro), Jutta234, Wasseralm, 1 anonyme Bearbeitungen

Biopolymere *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73328072 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Ayacop, Cairimba, Cepheiden, Chris^2, Crazy-Chemist, Cvf-ps, Dendroaspis, Dominik, Dv, Edgehold, Egaeci, Fristu, Grey Geezer, Heiner Brookman (Nawaro), Hoffmeier, Hydro, Kku, Magnus Manske, Martin Aggel, Nina, Prof. Holzfäller, Proxima, Rrdd, Schwalbe, Tobias Bergemann, Uwe Gille, Willich (Nawaro), 7 anonyme Bearbeitungen

Bioraffinerie *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71305870 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aquarius-BRE, CaZeRillo, Density, Florian Gerlach (Nawaro), Fraunhofer umsicht, Guffi, Heiner Brookman (Nawaro), JakobVoss, LKD, Leithian, Orlando52, PM3, Q'Alex, Tetris L, Zahnstein, 11 anonyme Bearbeitungen

Bioreaktor *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71181355 *Bearbeiter*: 16@r, Achim Raschka, AwOc, Ayacop, Btr, Chemiewikibm, Diwas, Ejfis, Esuroon, Ewald.H, Gurt, HSling, Head, Heiner Brookman (Nawaro), Holger1109, Infors, JCS, Johan Lont, KaPe, Kibert, Konwiki, Käpten Balu, Lambdacore, Lmtler, MarkusBuechele79, Moonwashed, Nebukad, Niklas82, Nina, Postman Lee, RobertLechner, Roterraecher, S1, Sabisteb, Schmitty, SchokoZumFrystyck, Tetris L, Thammo, Tolentino, Totenmontag, U.m, Ulm, UvM, WikiAutor, YourEyesOnly, Zahnstein, Zbisasimone, 41 anonyme Bearbeitungen

Biotechnologie *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71181173 *Bearbeiter*: -proxy-, 08-15, A.bit, Abulafia23, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Adw, Aineias, Aka, Andre Engels, Ayacop, Baba-baer, Bartiebert, Ben Ben, Ben-Zin, Bib, Bierdimpfl, Biggerj1, Biotecky, Bnow, Braveheart, Brudersohn, Burgkirsch, Buteo, Buxul, Chemieprofi, Chemiewikibm, Chopperkilo, Christian *Yendi* Severin, Church of emacs, Conny, Conversion script, David Ludwig, Dellex, DerSchmunzelhase, Don Magnifico, DrAlchemie, Eiferer, Eisbaer44, Eschenmoser, Esuroon, Ewald.H, FH-Poseidon, Florian Gerlach (Nawaro), Florian Huber, Frank-m, Fristu, Fuenfundachtzig, Furcas, Garinger, Geist, der stets verneint, Gelack, Gerbil, Gilliamjf, Grbn, HRoestTypo, Hajumal, Hardenacke, Heiner Brookman (Nawaro), Hoffmeier, HolgerB, Hystrix, J.e, Jergen, Juergen Bode, Juesch, Jón, Kai11, Katpatuka, Kku, Knoerz, Krawi, Kreuvf, Krtek76, Kuebi, LKD, Manfred.peter, Mazbln, Mijobe, Mipani, Mnh, N.schwimmer, NEUROtiker, Nebukad, Necrophorus, Neodym, Nepenthes, Nerd, Nina, Numbo3, Obersachse, Olei, Operivar, Orci, Orlando52, Ot, Philipendula, Quikquak, Rhododendronbusch, Richarddd, Roo1812, Rosentod, Rrdd, Rufus46, S.ludwig, STBR, Sabisteb, Sadduk, SchallundRauch, Schlurcher, Schweißer, Semper, Semperor, Septembermorgen, Sinn, Sogehtcity, Stefan Kühn, Stegmanntim, Steschke, Superbass, Suricata, Sys64738, TAXman, Trainspotter, Traroth, Tsui, Tönjes, UW, VladimirB, Wandahle, Wissen, Wst, Zhaw lsfm, 174 anonyme Bearbeitungen

Biotenside *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65758023 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Florian Gerlach (Nawaro), High Contrast, Hydro, Kungfuman, Marsmue, Pittimann, 1 anonyme Bearbeitungen

Biowasserstoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67876652 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Aka, Ben Ben, Benutzer20070331, Carlda, Cholo Aleman, Degreen, Diwas, Don Magnifico, Erud, EvaK, Florian Gerlach (Nawaro), HaSee, Heiner Brookman (Nawaro), Hendric Stattmann, Herbertweidner, Hin-Tse, Howwi, Jbergner, Jens Liebenau, Karl-Heinz Tetzlaff, Kreusch, Mietchen, Mion, Nicolas G., Nolispanmo, RobertLechner, RokerHRO, S.Didam, Schmendrik881, Sicherlich, Simon-Martin, Skyman gozilla, Tango8, Tetris L, Tönjes, Wbergner, Wuenschi, Wulf 21, Zbisasimone, 106 anonyme Bearbeitungen

Biowerkstoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65363545 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Andreas aus Hamburg in Berlin, Avron, Denis Barthel (WMDE), Don Magnifico, Florian Gerlach (Nawaro), Kiend, PM3, Stephan Piotrowski (Nawaro), Tim Huber (Nawaro), Willich (Nawaro)

Birkenholz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67680168 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Denis Barthel, Florian Gerlach (Nawaro), IKAl

Blockheizkraftwerk *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69069859 *Bearbeiter*: 217, 32zu6, 888344, Adameus23, Ahmet55, Aka, Alexkin, Arno Matthias, Atompilz, Aueb, BHKW-Spezi, BK-Master, BLueFiSH.as, Bdk, Bernd vdB, Beyer, Bodo Thiesen, Brummfuss, Btr, Buckelwaal, Christian Günther, Cleverboy, Crux, D, Demus Wiesbaden, Der.Traeumer, DerHexer, Diba, Djlanai, Dr.cueppers, Engie, Euphoriceyes, Farino, Florian Adler, Florian Gerlach (Nawaro), FreeOsFan, Gerbil, Gerfriedc, Goldzahn, Gundl.B, Gunnar.Kaestle, Hadhuey, HaeB, Hahatee, Hardenacke, Head, Heiko, Heinte, HenrikHolke, Herbertweidner, Hermes Conrad, Hi.ro, Howwi, Hydro, Ikiwaner, Inserks, Ixitixel, Jergen, Jivee Blau, JochenF, Johannes Haux, Jutta234, K4ktus, KP, KWK-Info, Keihuli, Kereul, Kino, Krawi, Kubrick, Kuhlo, Kurmis, KurtSteiner, Kwerdenker, Käpten Balu, LKD, Leumar01, MFM, Magadan, Manecke, Markus Schweiß, Martin Bahmann, MauriceKA, Mawa, Mbdortmund, Mediengeladen, Meile, Michelvoss, Mikue, Milchpott, Mion, Morray, MovGP0, My name, Nicolas17, Nikkis, Obelisk 3, OecherAlemanne, Onee, Ot, P UdK, PR, Pedro Servera, Pege.founder, Peter Lehmacher, Peter200, Rainer Lippert, Rainer240667, Ralf Roletschek, Regi51, Reissdorf, Richarddd, Rodnex, Roest, Roger Dorman, Rs newhouse, Saluk, SchirmerPower, Schmitty, Schusch, Scooter, Seewolf, Shoshone, Simon-Martin, Sinn, Soebe, Solarwarrior, Stahlkocher, Stefan Kühn, TAXman, Tafkas, Terrawater, Tetris L, Tetti, Texec, TheWolf, Toolittle, Tönjes, Ulm, Umweltschützen, Verita, WAH, Wdwd, Wikswat, Wkrautter, Xocolatl, YourEyesOnly, Zahnstein, Zentralbaden, Zinnmann, 277 anonyme Bearbeitungen

Brechen (Faserpflanzen) *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66478132 *Bearbeiter*: Antrios, Engelbaet, Florian Gerlach (Nawaro), HaSee, Shadak, Stephan Piotrowski (Nawaro), Zbisasimone, 1 anonyme Bearbeitungen

Brennerei *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71116923 *Bearbeiter*: AHZ, Amtiss, Florian Gerlach (Nawaro), Kommunikation, Kuebi, LKD, Maikel, Metaroll, Muck31, Pendulin, Rieby, Simplicius, Supermartl, Vanellus, W-alter, 11 anonyme Bearbeitungen

Brennholz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68352088 *Bearbeiter*: ARN111, Achim Raschka (Nawaro), Acp, Aka, Andy king50, Aschrage, Augu, BMK, Badman026, Ben Ben, Bergdohle, Bib, Bierdimpfl, Christian gigge, Complex, Cú Faoil, Darsie, Diba, Dinah, Ebcdic, Ejfis, Elchjagd, Flominator, Florian Gerlach (Nawaro), Forstmeister, Forstwirtschaftsmeister, Fuenfundachtzig, Gabriel-Royce, Gulp, Hadhuey, Hanspeterg, Harf, Hasimaus, Hb2007, Heiner Brookman (Nawaro), Holzmiete, Hubertl, Ilja Lorek, Inschenör, J.-H. Janßen, Jbergner, Johnny Yen, Kaminholz, Knopfkind, Kookaburra sits in the old gum tree, Kosovojesrpsko, LKD, Leumar01, Mef.ellingen, Meghann99, Michail, Mikela, Nasenbär, Nikkis, Niteshift, Nolispanmo, Oberfoerster, Omniavincit, Peter200, Pilawa, Powerbiker1, Rccoms, Rdb, Rhondyna, Rimailleur, Robert M., Roest, Rorkhete, Roterraecher, Rufus46, Ruppert, S1, STBR, Six words, Skarabeus1, Spielblau, StromBer, Sulfolobus, Tafkas, Tetris L, Theonly1, Thorbjoern, Tobipurzel, Tönjes, Udh, VanGore, Vertigo Man-iac, W!B:, Wiedemann, WikiMax, Wolfgang1018, YourEyesOnly, Zipferlak, Zoelomat, 219 anonyme Bearbeitungen

Brennnesseln *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70669327 *Bearbeiter*: 24-online, APPER, Acf, Achim Raschka, Adampauli, Aglarech, Ahellwig, Aka, Alexxx86, Alf1958, Andante, AngelN, Apfelsine, Aph, Appaloosa, Aragorn05, AxelHH, Ayacop, BS Thurner Hof, BYJP, Baldhur, Ben-Zin, Benyielding, BerndH, Bernhard-h, Bertonymus, Blaufisch, Blech, Boronian, BurghardRichter, Bärski, C.hahn, Cairimba, Carstor, Chaddy, Cholo Aleman, ChristianBier, Church of emacs, Ckeen, Claus Ableiter, Clemens.bergmann, Clemensfranz, Conversion script, Cornischong, D, Daniel FR, Daniel Markovics, Darkone, DasBee, Dem Zwickelbert sei Frau, Denis Barthel, Denis Barthel (WMDE), Density, Der Marco, DerHexer, DerSchneider, Don Magnifico, Dundak, Eckhart Wörner, Elwe, Engeser, Engie, Entlinkt, Ephraim33, ErikDunsing, Eunomia, Euphoriceyes, Fairplay, Florian Adler, Florian Gerlach (Nawaro), Franz Xaver, Froggy, Fusslkopp, Georg Slickers, Georg Wais, Griensteidl, GruenerLauser, Gurgelgonzo, HAL Neuntausend, Hagen Graebner, HansCastorp, Hardenacke, Harpagophytum, He3nry, Heinte, Henward, Hermannthomas, HorstTitus, Howwi, Hozro, Hubertl, Hydro, Icke, Idler, Ixitixel, Jensw, Jergen, Johnny Controletti, Jonathan Hornung, Juesch, Kadereit, Kh80, Kibert, Kku, Kobako, Koerpertraining, Krawi, LIU, Lars Beck, Latino1981, Louis Bafrance, Luuva, Lyzzy, Löschfix, M mb, MSh, MU, Mardi, Martin Huber, Matt1971, Mbc, Mca, Mesenchym, Michael PAUL, Mike Krüger, Millbart, Mnh, Mogelzahn, Muscari, Mvb, Napa, Nd, Necrophorus, Nephelin, Nikkis, Nina, Obersachse, Odin, OecherAlemanne, Olaf Studt, Omnikron, Orci, Paddy, Paramecium, Peter200, Philipendula, Phrood, Pischdi, Pittimann, Pizzero, Pjw, PsY.cHo, RLJ, RacoonyRE, Radunze, Rainer Bielefeld, Rainer Zenz, Ralf99, Regi51, Reinhard Kraasch, Revvar, Roo1812, Sargoth, Schewek, Schniggendiller, Schubbay, Sechmet, Senfmann2, Shadak, Silberchen, Simplicius, Sloyment, Soebe, Soundbites, Southpark, Speck-Made, Stefan Kühn, TekkenTec, Template namespace initialisation script, Terabyte, TheK, Tigerente, Tnaveler, Toffel, Tsor, Tönjes, Udo mueller, Verita, Vic Fontaine, Volker E., Voyager, Vulkan, W!B:, WAH, Wesener, Wolfgang1018, Wst, YourEyesOnly, Zerohund, Zirpe, 207 anonyme Bearbeitungen

Brennstoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68147127 *Bearbeiter*: 1-1111, Achim Raschka (Nawaro), AnhaltER1960, Avron, Bergdohle, Biberl, Bildungsbürger, Björn Bornhöft, Brummfuss, Christian2003, DerHexer, Dr.cueppers, Frosen, G-Michel-Hürth, Glenn, H2online, Hadhuey, Heiner Brookman (Nawaro), Helmut Breidenstein, High Contrast, Hydro, JensVonZobel, Krawi, Markus Schweiß, Matt1971, Mtthsme, Nicor, Nolanus, Pelz, Peter200, Ralf Pfeifer, Rasi57, Regi51, Rolfg, Schusch, SilP, Sinn, Sommerkom, Tetris L, Thomas, VanGore, W!B:, WAH, Wst, Xellos, Y, Zahnstein, Zinnmann, ✌, 51 anonyme Bearbeitungen

Brettschichtholz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70706096 *Bearbeiter*: 1000, Abena, Achim Raschka, Aka, Andy king50, Avatar, BauIngenieur, Bubo bubo, Club79, Florian Gerlach (Nawaro), Hgmohr, J.-H. Janßen, Jocian, Johann Jaritz, Jörg Bühler, KaPe, Kolossos, Mailtosap, Michael Kümmling, Mätes, Nixx, Oberfoerster, Piflaser, Pionic, Proholz, Ramsau, Rexin, Roest, Roo1812, Saibo, Sennah78, SpaceJ, TomAlt, Wiki-Hypo, WikipediaMaster, WinfriedSchneider, WissensDürster, Wolfgang1018, 42 anonyme Bearbeitungen

Brettsperrholz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70706062 *Bearbeiter*: 32X, Achim Raschka, Aka, Alexandra Brunnert (Nawaro), Club79, Dr.Marbuse, Florian Gerlach (Nawaro), Gastone, JD, Jörg Bühler, KarlOtto9500, Leuchtschnabelbeutelschabe, Mabe79, Marathon1952, Martina Kolarek, VanGore, Voettst, WAH, 5 anonyme Bearbeitungen

Brikettierpresse *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65328331 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Aka, Bücherwürmlein, Engelbaet, Florian Gerlach (Nawaro), Hufi, Jpp, Martina Nolte, Nolispanmo, Phanti, Poisend-Ivy, Porphyrion, Poupou l'quourouce, Tetris L, Weissbier, Wiedemann, 6 anonyme Bearbeitungen

Brikettierung *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73420174 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Engelbaet, Florian Gerlach (Nawaro), Howwi, Ralf Roletschek, Stoak, Tetris L, 2 anonyme Bearbeitungen

Bruttokraftstoffertrag *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=62719856 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Florian Gerlach (Nawaro), Niteshift, Tetris L

BtL-Kraftstoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73986609 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Anaximander, Anneke Wolf, BKSlink, Ba10r, Bodenseemann, Brego, COM Lampe, Cepheiden, Chpfeiffer, Chrisfrenzel, Christian2003, Christophe Neff, Ciciban, Claudia Destrait (Nawaro), Cyberteddy, DasBee, Der Rabe Ralf, DerHexer, Dktz, Don Magnifico, Eckhardboles, Enth'ust'eac, Ephraim33, Felix Stember, Florian Gerlach (Nawaro), Frank C. Müller, Funkysapien, GFJ, Gerfriedc, Gerhardvalentin, Goldzahn, Gunther, HH58, Hadhuey, Heiner Brookman (Nawaro), Ippi, Jbergner, JohannWalter, Jpp, Karl Mauch, Karl-Heinz Tetzlaff, Karl-Henner, Kristjan, Löschfix, MFM, Mabschaaf, Madatac, Marc-André Aßbrock, Matthias Kampmann, Matthias M., Menolit, MichaelSchoenitzer, Mik81, Mikewhiskey, MovGP0, My name, NEUROtiker, Oekofreak, Onliner, Phantom, Poelzig, Raufbold64, RitaC, RobertLechner, Roest, SCPS, Seestaernli, Senfmann2, Shoshone, Siebenundzwanzig, Splette, Steelsmith, Steffen, Steinmeister, Stern, Suirenn, Tetris L, TheK, Tolentino, Tyrannosaurus, WAH, Wasserseele, Wesener, Wikifreund, Zahnstein, 130 anonyme Bearbeitungen

Buchen *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70792843 *Bearbeiter*: 1000, Abubiju, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Amaltheus, Androl, Armin P., AronX, Avoided, B.gliwa, BK-Master, Baldhur, Baumfreund-FFM, Bear, Benzen, Birger Fricke, Blaufisch, Borcholt, Brummfuss, ChrisHamburg, ChristianBier, Ckeen, DasBee, Der Messer, DerHexer, Diba, Dirk Weber, Eckhart Wörner, Eingangskontrolle, Ejfis, Engie, Euphoriceyes, Eynre, Felix Langhammer, GFJ, Grindinger, HenrikHolke, Hubertl, Hydro, Inkowik32, Interzeptionsverlust, J.-H. Janßen, JFKCom, JPB, Jbergner, Johnny Yen, Joho345, Jonna, Jordi, Juesch, Kaisersoft, Karl-Henner, Klaus Wagner, KraRalle, Kurator, LKD, LivingShadow, Louisana, Lumbar, Lutz 007, Lyzzy, MS13, Mac ON, Manecke, Martin Bahmann, Martin-vogel, Migas, Mike, Mike Krüger, Mo4jolo, Morten Haan, Nasenbär, Necrophorus, Neu1, Nipisiquit, Noebse, Oberfoerster, Olaf Studt, Paddy, Parakletes, Patrick.kursawe, Paulchen-Weimar, Pfalzfrank, Pinof, Pittimann, Ramessos, Regi51, Richardfabi, Roest, Roland Nonnenmacher, Romy2002, Rupp.de, Sancho Panza, Saxo, Schewek, Schlurcher, Seewolf, Septembermorgen, Sinn, Soebe, Spuk968, Stechlin, Svens Welt, T34, Terabyte, TheWolf, Tigerente, TomAlt, Tux3do, Tönjes, Umweltschützen, Update, Vic Fontaine, WAH, Wildfeuer, Wkr, Wurgl, YourEyesOnly, Zeno Gantner, Zeuke, Zollernalb, 189 anonyme Bearbeitungen

Buchenholz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70755505 *Bearbeiter*: Abubiju, Achim Raschka (Nawaro), Birger Fricke, Ckeen, 1 anonyme Bearbeitungen

Carboxymethylcellulosen *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=72034357 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Aka, Ambrosius, BlueCücü, ChemGardener, Cvf-ps, Hydro, Kreusch, Lictuel, Lyzzy, Martina Kolarek, Matthias M., Mifritscher, NEUROtiker, Olei, Orci, Psa, Roland.chem, Saibo, Speck-Made, 6 anonyme Bearbeitungen

Carnaubawachs *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67876118 *Bearbeiter*: AHZ, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Arctic Wolf, Crazy-Chemist, Elchjagd, FK1954, Freedom of the Seas, Griensteidl, Hubertl, Javaprog, LivingShadow, Master2121, Matthias M., Mezzofortist, Mhlusi, Onkelkoeln, Peng, Perrak, RobertLechner, RobertMichel, RolandS, Stephan Piotrowski (Nawaro), Stf, Symposiarch, Wst, 23 anonyme Bearbeitungen

Cellulose *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71908986 *Bearbeiter*: A.bit, Achim Raschka, Aka, Androl, Angela, Avoided, Ayacop, Backlit, Beek100, BlueCücü, Boutchibouh, Brisbard, Bubo bubo, Chb, Crazybyte, Cvf-ps, Das Ohr, Deino Wanthers, Denis Barthel (WMDE), Der.Traeumer, DerHexer, Deshi, Diba, Dragoneye, Dschanz, Eckhardboles, FK1954, Fasten, Fedi, FeiYuQing, Florian Adler, Florian Gerlach (Nawaro), GDK, Gandalf, Gerbil, Gereon K., Giftmischer, Gnu1742, Hareinhardt, Hati, Heiner Brookman (Nawaro), Hoffmeier, Hundophine, Intesto, Iro-Iro, J.-H. Janßen, Jo Weber, Karl Bednarik, Karl-Henner, Kku, Krtek76, Kuebi, LKD, Lictuel, Linksfuss, Lode, Lord Skunk, Man77, Martin-vogel, Matthias M., Mhlusi, Michail der Trunkene, Mnh, MovGP0, Mätes, N15-PK23-11, NEUROtiker, Nagaroth1000, Nikai, Nina, Obersachse, Oxymoron83, Pendulin, Peter200, Philipp Psurek, Primus von Quack, Rax, Rdb, Rhododendronbusch, Riemanns Freund, Rogbue, Roland.chem, Rosa Gabriele, Rufus46, STBR, SaEfgUA, Saibo, Segelflieger, Sinn, Speck-Made, Stefan Kühn, Suirenn, Thorbjoern, Tönjes, Umweltschützen, Uwe Gille, VanGore, Vanadia, W.alter, WAH, Wikipartikel, WikipediaMaster, Xvlun, YourEyesOnly, 118 anonyme Bearbeitungen

Cellulose-Ethanol *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=72810693 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Andreas 06, Bertonymus, Burkhard.Plache, Codeispoetry, Dinah, Don Magnifico, DrAlchemie, Drahreg01, Dundak, Eckhardboles, Ephraim33, Gpeterek, Graypi, Heiner Brookman (Nawaro), Hendric Stattmann, Hydro, Jbergner, Krawi, Mudd1, NEUROtiker, Pelz, Peter200, Pill, Pjacobi, Rapober, Richarddd, STBR, Seestaernli, Semper malus, Stephan Schwarzbold, Tafkas, Talaris, Tetris L, Trg, 29 anonyme Bearbeitungen

Celluloseacetat *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69153125 *Bearbeiter*: 411fan, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Anton, BJ Axel, Barbabobo, BesondereUmstaende, Beyer, Cepheiden, ChemGardener, Crazy-Chemist, Don Magnifico, Guffi, Hadhuey, Ikiwaner, Irmgard, Jörg Preisendörfer, LC, Passer italicus, Peter Ratuschni, Rjh, Roland.chem, Schwalbe, Tinti, Willich (Nawaro), Yikrazuul, Zeitan, 26 anonyme Bearbeitungen

Celluloseacetobutyrat *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=58818961 *Bearbeiter*: 32X, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Der.Traeumer, Dschanz, Eschenmoser, Florian Gerlach (Nawaro), Onkelkoeln, 1 anonyme Bearbeitungen

Celluloseester *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73328447 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Florian Gerlach (Nawaro), Martina Kolarek, Orci, 1 anonyme Bearbeitungen

Celluloseether *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73328573 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Alkor3033, Bernard Ladenthin, Crazy-Chemist, Cvf-ps, Hydro, JWBE, Martina Kolarek, NEUROtiker, Rjh, Saehrimnir, Tsor, 2 anonyme Bearbeitungen

Cellulosehydrat *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70411895 *Bearbeiter*: Abstauber, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Bernhard Ganter, Daniel FR, Das Produkt, FK1954, Flo*li*1980, Hafenbar, Holger.Ellgaard, Ilja Lorek, Jed, Jkü, Johnny drossel, Matthias Bock, Mudd1, Nagaroth1000, Noip, Rainer Zenz, Ralf Roletschek, Roland.chem, Schwalbe, Sfd, Suricata, Torus, W.C., 28 anonyme Bearbeitungen

Chemiezellstoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69191098 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Cvf-ps, Heiner Brookman (Nawaro), Hydro, Olaf Studt, Stephan Piotrowski (Nawaro)

Chinaschilf *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65386361 *Bearbeiter*: A.Rhein, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Aljoscha, Aseufert, Bhuck, Blaufisch, Boronian, DISonny, Denis Barthel, Denis Barthel (WMDE), Dietzel, Fice, Firefox13, Florian Gerlach (Nawaro), Glenn, Hapro, Hoffmeier, HsT, Hydro, Ies, JFKCom, Janiwan, Justus Nussbaum, Markus Mueller, MarkusHagenlocher, Mike Krüger, Olaf Studt, Peter Diessenbacher (Nawaro), Peter200, Phil41, Querverplänkler, Richarddd, Robert Huber, RobertLechner, RoswithaC, StephanB, Thomas S., Varina, W!B:, Wesener, WortUmBruch, Zinnmann, 27 anonyme Bearbeitungen

Chitin *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66921134 *Bearbeiter*: 3268zauber, Achim Raschka (Nawaro), Aglarech, Ahellwig, Andante, Ayacop, Bertonymus, Birka, Branka France, Chemiker, Conny, Cvf-ps, DasBee, Diba, DizzyOnion, Drahtloser, Dschanz, Eschenmoser, Gerbil, Gohnarch, HaSee, Hdumann, Hirpex, Hubertl, Hugo-cs, Jü, KOchstudiO, Kku, Krk, Leyo, Marcel Wiesweg, MichaelBerger, Nd, Orci, Peter adamicka, Pgassner, Prof. Holzfäller, Roland.chem, Roo1812, Siga, Sjoehest, Slimcase, TomCatX, Uwe Gille, Webkid, Zaxxon, Zituba, 30 anonyme Bearbeitungen

Chitosan *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=61378269 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Burns, Chrisfrenzel, Cvf-ps, DasBee, Dinah, Don Magnifico, Dundak, Elwe, Entejens, Florian Gerlach (Nawaro), Fossa, Heinte, Hermannthomas, Krawi, MFM, MarkusHagenlocher, NEUROtiker, NickF, Nina, Nurgut, Orci, Prof. Holzfäller, RTLOLDY, Roo1812, Srbauer, St.s, Varina, Volker83, Wolfgang1018, 28 anonyme Bearbeitungen

Cyanophycin *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66691723 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Ayacop, Denis Barthel, Density, Kuebi, Schlämmer, Xocolatl

Dampfdruckaufschluss *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64319367 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Cymothoa exigua, Florian Gerlach (Nawaro), Nepomucki

Degummierung *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=58196763 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Baumfreund-FFM, Florian Gerlach (Nawaro), PumpingRudi

Desodorierung *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=63973882 *Bearbeiter*: Don Magnifico, Drahreg01, Florian Gerlach (Nawaro), Janneman, Juliane, KaiMartin, Perrak, Uwe Gille, 2 anonyme Bearbeitungen

Dezentrale Ölmühle *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71491926 *Bearbeiter*: 0g1o2i3k4e5n6, A.Fiebig, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), BesondereUmstaende, Florian Gerlach (Nawaro), Günter Barten (Nawaro), Hofres, MFM, Nepomucki, Rotkaeppchen68, Succu, Turpit

Dimethylether *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65957127 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, CHK, Chemiewikibm, Cvf-ps, DerHexer, Dispatcher, Dr.cueppers, Eschenmoser, Espe2310, Janstr, Jed, Jiver, Jmsanta, Knipptang, Leyo, Mark.heinzel, Matthias M., Mow-Cow, Orci, Rhododendronbusch, SebastianG, Steffen 962, Suicidefury, TAXman, Tox, Xyrofl, 35 anonyme Bearbeitungen

Dispersionsfarbe *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70181079 *Bearbeiter*: 1-1111, 1234567899876543212a, Achim Raschka, Alf1958, Armin P., Batke, Benni Bärmann, Binningench1, Boonekamp, Cholo Aleman, Ciciban, Coatilex, Dogbert66, Dubidub, ElRaki, Engie, Hardcoreraveman, He3nry, Heinte, Hosseman, Howwi, Hubertl, Jackcwtr, Josef.schneider, JosefLehmkuhl, Jörg-Peter Wagner, Knoppen, Lehmkuhl-josef, LonelyPixel, Maikel, Micha1807, Ninjamask, Onkelkoeln, Oxymoron83, Pilawa, Saehrimnir, Shoshone, Stilfehler, TomAlt, Uimp, Uwe Lück, VanGore, Zahnstein, 31 anonyme Bearbeitungen

Douglasie *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71855779 *Bearbeiter*: AHZ, Accipiter, Achim Raschka, Aka, AlfredPennyworth, Androl, Andy king50, Anton, Apetri, BS Thurner Hof, Bertonymus, Chleo, Christian gigge, Dietzel, Drahtloser, Duderer, Dunnhaupt, Florian Gerlach (Nawaro), Forstmeister, Frank Klingenstein, Gundo, HALsixsixsix, Haeber, He3nry, Ilion, J.-H. Janßen, JFKCom, Jonathan Hornung, Kai11, Knopfkind, Kurpälzer, LC, Lisette143, Liuthalas, Migas, Muscari, Mätes, Ojin, Peterlustig, Phil41, Pinus pinea, Qwertznymphe, Ralf Roletschek, Roo1812, Rorimac, Septembermorgen, Strani, Streifengrasmaus, Succu, TP12, TeunSpaans, Umweltschützen, Video2005, WAH, Wimox, Wolfgang1018, 45 anonyme Bearbeitungen

Dünnschlempe *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59534228 *Bearbeiter*: Achim Raschka, BlueCücü, Edith Wahr, Flash1984, Florian Gerlach (Nawaro), Janneman, Schlesinger, Wiegels, 3 anonyme Bearbeitungen

Durchwachsene Silphie *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66637163 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Aka, Florian Gerlach (Nawaro), Goldmull, Hydro, N15-PK23-11, RobertLechner, Stephan Piotrowski (Nawaro)

Eichen *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73335438 *Bearbeiter*: .hd, A0QToF, APPER, Acf, Achim Raschka (Nawaro), Adeptus, Aka, Aktions, Alfred Nobel, Amaltheus, Androl, Angela, Anneke Wolf, Avoided, B. Wolterding, B.gliwa, BLueFiSH.as, BS Thurner Hof, Baird's Tapir, Baumfreund-FFM, Ben-Zin, Bhuck, Birger Fricke, Blaufisch, Blootwoosch, Bubo bubo, Bullenwächter, Burts, Böhringer, Cactus26, ChrisHamburg, Chrisfrenzel, Christian Günther, Claus Ableiter, Colus, Complex, Conversion script, Crux, Curtis Newton, D, DB 11, DWay, Dahola, Dan Koehl, DanielMrakic, Darkone, Das Ohr, Der Hakawati, DerHexer, DerSchnüffler, Dha, Diba, Doc Taxon, DrSeehas, Dralon, Dundak, DynaMoToR, Edia, Eggi, EisfeeNRW, El duderinho, Elya, Emel Koslowski, Emes, Engie, Euku, Euphoriceyes, Eynre, Felix Stember, FloK, Fomafix, Forrester, Frente, Fristu, Frosty79, Garnichtsoeinfach, Gekro, Gerhardvalentin, Hagen Graebner, HansCastorp, He3nry, Heinrich L., Heinte, HenrikHolke, Hermannthomas, Himuralibima, Hinrich, Hok'ta, Howwi, Hubertl, Hybscher, IKAl, Inkowik32, Iotatau, Ireas, Iwoelbern, Ixitixel, J.-H. Janßen, JFKCom, Janos Füting, Jed, Jergen, Jodoform, Johann Jaritz, Jonna, Jordi, Jtf1976, Juesch, KV 28, Kajolus, Karl-Henner, Kelama, Kku, Klaus Wagner, Koerpertraining, Krakro, Krawi, Kuefi, Kulac, Kurator, LKD, Layer, Leoloewe, Lienhard Schulz, LivingShadow, Logograph, Lumbar, MR, Magnus Manske, Manecke, MarcoBorn, Martin Bahmann, Martin-vogel, Martino, Matt1971, Maufi, Meidao, Melancholie, Michael Fiegle, Migas, Migra, Mike aus dem Bayerwald, Mirco72, Moonwalker74, Mps, Muscari, Necrophorus, Neon02, Neuroca, Nicolas G., Nikkis, Ninety Mile Beach, Nobody.de, Nornen3, Numbo3, Oberfoerster, Olaf Studt, Olei, Onee, Ot, Ozelotenor, P. Birken, Paddy, PaterMcFly, Pavl90, Peter Littmann, Philipendula, Philipseeger, Pitichinaccio, Pittimann, Plattmaster, Plenz, ProfessorX, Quikquak, Ra'ike, Rainer Lippert, Ralf Roletschek, Ramessos, Rauenstein, Regi51, Reinhard Kraasch, Ri st, Rosentod, RoswithaC, Rufus46, S1, STBR, Sammler05, Sargoth, Schaengel89, Schewek, Schlepper, Schreibschaf, Schulzenator, Scooter, Sechmet, Seewolf, Semper, SibFreak, Sicherlich, Sinn, Soebe, Sozi 09-1, Spacebirdy, Stacharczyk, Stauba, Stechlin, Stefan Kühn, Stefan h, Superbass, Sypholux, TP12, TheEdge, TheFlyingDutchman, Thehammer, Theonly1, Thogo, Thomas Berendes, Thorbjoern, Tigerente, Tilman Kluge, Timt, Tinz, Togo, Tsor, Tönjes, UW, Ulf.johannes, Umweltschützen, Vanellus, Vic Fontaine, Vitamin, W.alter, WAH, Wahldresdner, Weede, Wickie37, Wikiabg, Wolfgang H., Wolfgang1018, Wst, Wurgl, Wö-ma, YourEyesOnly, Zbisasimone, Zenit, Ziegenspeck, ³, 力 北 方, 412 anonyme Bearbeitungen

Echtes Johanniskraut *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68035343 *Bearbeiter*: Aka, Andante, Aragorn05, Ayacop, BLueFiSH.as, BS Thurner Hof, Belladonna2, Bera, Bernd B, Bertonymus, Brisbard, Burkhard.Plache, C-M, Chrisfrenzel, Crazy-Chemist, Cvf-ps, Cymothoa exigua, D, Der Lange, Don Quichote, Doudo, DrLee, El duderinho, Elya, Empro2, Engie, ErnstA, Exil, Fairplay, Fenice, FloSch, Flominator, Florian Gerlach (Nawaro), GNosis, GeorgHH, Geos, Gerhard M, Gewa13, Giftmischer, Gleiberg, Griensteidl, Guddiguddi, Hannes Röst, Happygolucky, Harko, Haruspex, Horge, Hydro, Iridos, Irmgard, JCS, JRG, JWBE, Jarling, Jutta234, Kju, Kobako, Kuebi, LaScriba, Leithian, LemmiFamily, Leo Alfons, M mb, MBq, Markus Schweiß, Martin-vogel, Matthäus Wander, Max Plenert, Max Powers, MichaelFrey, Migas, MinaerBa AU, Mittagsdämon, Moros, Morriganna, Mr.SelfDestruct, Muscari, NaturKamera, Nexusstar, Nina, Omphalos, Paddy, Pandarine, Peter743, Pm, Pne, Polarlys, Qwerty61, Rapober, Rolexx82, Roo1812, Rumarc, S1, Sargoth, Schewek, Schlonz, Simplicius, Sommerstoffel, Spid, Susanne666, T34, Thommess, Thrillin, Tigerente, Tmfreitag, Troll Sockenpuppe, Trotamundos, Umg, Urbanus, Valinor, Vic Fontaine, W!B:, Wettig, Wikis, Wivoelke, Wolfgang1018, Wutzofant, Zahnstein, Zep, Zornfrucht, °, Ödel, 106 anonyme Bearbeitungen

Einblasdämmstoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68651571 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Aka, Andreas aus Hamburg in Berlin, Ben Ben, Denis Barthel (WMDE), Florian Gerlach (Nawaro), Minalcar, Vigilius, X-floc

Energieholz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68004500 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Chatter, Heiner Brookman (Nawaro), J.-H. Janßen, MFM, Nasenbär, Oberfoerster, Roest, Sebastian.Dietrich, StephanieM, Tetris L, Wladmeister, Zipferlak, 4 anonyme Bearbeitungen

Energiemais *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71512738 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Ahellwig, Belowhumor, Ben Ben, Biezl, Florian Gerlach (Nawaro), HaSee, Heiner Brookman (Nawaro), IKAl, Onkel74, Papa1234, Räffi Ref, Tetris L

Energiepflanze *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68143589 *Bearbeiter*: Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Christian2003, D--, Denis Barthel (WMDE), DonSchlonk, Dreibein, Florian Gerlach (Nawaro), Georg-Johann, Glenn, Gogtl, Heiner Brookman (Nawaro), Herbertweidner, Hin-Tse, Hydro, Jkü, Konzales, Krawi, Michaelruderalis, Neitram, Oberfoerster, PeterSchwertner, PiCri, Richarddd, Roo1812, Shamrock7, Smeyen, Stauba, Supermartl, Tetris L, Thomas Fritz (Nawaro), VanGore, W!B:, WortUmBruch, Wurschd, YourEyesOnly, Zahnstein, Zenit, Zinnmann, 19 anonyme Bearbeitungen

Energiepflanzenprämie *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=60522816 *Bearbeiter*: Denis Barthel, Florian Gerlach (Nawaro), Jo Weber, Tetris L, Thomas Breuer (Nawaro), 2 anonyme Bearbeitungen

Energiesteuergesetz (Deutschland) *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68153812 *Bearbeiter*: 1-1111, 217, AHK, APPER, Alros002, Bubo bubo, C.Löser, DL5MDA, Dickbauch, Don Magnifico, EX-Zoll, Ekki01, ErikDunsing, Este, Flyhi, GrößterZwergDerWelt, GunterF, Halut, Heihei, Heinte, Hoschi72, Hypnosekröte, Islabonita, Jbergner, Johnny Controletti, Kandschwar, Katty, Kira Nerys, Koerpertraining, Leipnizkeks, Mps, Niteshift, Nixred, Omi´s Törtchen, Ot, Piefke, Ralf König, Redfranko, Reinhard Kraasch, RokerHRO, Roo1812, Salmi, Sierrafox, Sinn, St.Krekeler, Stephan Piotrowski (Nawaro), Tetris L, Zac67, 55 anonyme Bearbeitungen

Energiewende *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70093123 *Bearbeiter*: AHZ, Achim Raschka (Nawaro), Aktiver Arbeiter, Der Rabe Ralf, Dinah, Dr. Colossus, Engelbaet, Florian Gerlach (Nawaro), Heiner Brookman (Nawaro), IqRS, Jesi, Jpp, Kriddl, Kungfuman, Michael Sieme, Nils Simon, PM3, Succu, Tetris L, W!B:, WIKIdesigner, 3 anonyme Bearbeitungen

Energiewirt *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69192425 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Armin P., BastianVenthur, Capaci34, Energieverein, Florian Gerlach (Nawaro), Heiner Brookman (Nawaro), Nils Simon, Small Axe, Taratonga, Ticketautomat, Wolf32at, 2 anonyme Bearbeitungen

Entschleimung *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64503028 *Bearbeiter*: Florian Gerlach (Nawaro), Günter Barten (Nawaro), 2 anonyme Bearbeitungen

Enzym *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66692091 *Bearbeiter*: 790, Abigail, Acf, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Albe, Alfred Grudszus, Andrsvoss, Anhi, Anka Friedrich, AxelvE, Ayacop, BK-Master, BKSlink, BMK, Babyface90, Ben-Zin, Bernardissimo, Bierlaufkönig, BishkekRocks, Bjb, Boehm, Burgkirsch, CUbrA, Cads, Carbidfischer, Centipede, Chb, ChrisHamburg, ChristianBier, Christopher, Cinh, Conny, Conversion script, D, D.., Daferdi, Daisy1620, DanM, Density, Diba, Dishayloo, Diwas, Dominik, Doudo, Dr. Strangelove, Dundak, El., EsLin, Eschenmoser, Euphoriceyes, FataMorgana, Gancho, Gardini, Gelack, Geos, Gerbil, Gerhardvalentin, Gerold Broser, Gleiberg, Gorwin, Grey Geezer, Griensteidl, Gum'Mib'Aer, HAL Neuntausend, Haascht, Hardenacke, Haruspex, Howwi, Hubertl, Hystrix, Igrimm12, Ilion, Informatik, Instantbio, Jailbird, Jan R, Jed, Jergen, Jockl1979, Joh3.16, Johnny Controletti, Jonathan Groß, Juergen Bode, Jutta234, Karl-Henner, Karol007, Katharina, Kiker99, Klapper, Knopfkind, Konya42, Krawi, Krtek76, Kuebi, Kuriwa, Kursch, Lascorz, LeCornichon, Lechhansl, Lennert B, Liberal Freemason, Linksfuss, Logograph, Luziferase, Löschfix, MBq, Magnus Manske, Manfred Roth, Marilyn.hanson, MarkusZi, Martin Bahmann, Martin-vogel, Matthias M., Maveric149, Maximilian Wolf, Melancholie, Michail, Migas, Mikue, Mnh, Mons Maenalus, MsChaos, Muck, NEUROtiker, Nerd, Nerdi, Neubi, Nfreaker91, Nicolas G., Nicor, Nikkis, Nina, Nk, Numbo3, Orci, Ot, Paddy, Paramecium, PaulaK, Philipendula, Phrood, Pinguin.tk, Polarlys, Purodha, Regi51, Reinhard Kraasch, Rho, Ri st, Rohieb, Roland1952, Romanm, Roo1812, Sansculotte, Saperaud, Schubbay, Seewolf, Shizhao, Siebzehnwolkenfrei, Sir, Solid State, Southpark, StGSteve, SteffenB, Steinbach, Suirenn, SuperFLoh, Susanne und Stefanie, Synapse, TheK, Thiesi, Thomas, ThomasHofmann, Tim Pritlove, TimBärrel, To old, Tobias Bergemann, Ulm, Unukorno, Uwe Gille, Video2005, Viruzz, Volty, Voyager, Vulture, Wiegels, WikiNick, Wikitom2, Wilhans, Windharp, Wissen, Wizzar, Woodpecker, YourEyesOnly, Zaxxon, Zivilverteidigung, Zwoenitzer, 313 anonyme Bearbeitungen

Erneuerbare Energie *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70173851 *Bearbeiter*: 790, A1000, ABF, AF666, AHZ, Achim Raschka (Nawaro), Addicted, Adilhan, Aglarech, Aka, Akmaar, Alfnuss, Alfonso95, Algos, AllianzGI, Andrea B., Andreas 06, Andys, Anitagraser, Ar-ras, Aschbacher, Atomfan, Axel U., Baladin, Bardenoki, Batrox, Baumfreund-FFM, Behrang, Benchfrooser, Benderson2, BenjaminBussing, Benutzer20070331, Bertonymus, Besserwisserhochdrei, Bib, Biberl, Bieniasz, Blah, Blaubahn, Blauebirke, Blaufisch, Brazzy, Brummfuss, Buchdrucker, Calculus, Candyfloss, Charizune, Charlieblue, Chpfeiffer, Chrisfrenzel, Codica, Commander-pirx, Complex, Corny, CosmoKramer, Cryonic, Curtis Newton, DL5MDA, Dan-yell, Daniel 1992, DanielDüsentrieb, Daragath, DasBee, David Ludwig, David84, DavidG, Dcwolle, Dellex, Demigod1217, Der.Traeumer, DerGreif, DerHexer, Diba, Die Spinne, Dieder, Dieter E,

Dirk33, Dishayloo, Dodo von den Bergen, Dominik, DonatelloXX, Dr Nibbles, Dr.cueppers, Drifty, E-Zwerg, Eclipse, Ekab, Endymi0n, Engeser, Engie, Entlinkt, Ephraim33, ErikDunsing, Euku, Euseson, FabiBerg, Faulenzius Seltenda, Felix Staratschek, Firefox13, Florian Adler, Florian Gerlach (Nawaro), Fmrauch, Fomafix, Forevermore, FrankOE, Frany, Fuchs, Futschigama, GLGerman, GLGermann, Gardini, Gary Luck, Geitost, GenJack, Geo-Loge, GeorgHH, Geos, Gerbil, Gerhardvalentin, Geschichtsfan, Gissi, Gnu1742, Goetting, Gravitophoton, Greenhouse-JPBerlin, Gruendinger, GrummelMC, Gsälzbär, Guandalug, Guerillia, Guidod, Gunnar.Kaestle, HALsixsixsix, HaSee, Hadhuey, HaeB, Hansaspieler, Hansgeorgwilhelm, Hanskas, Hardenacke, Harf, He3nry, Heiner Brookman (Nawaro), Hendric Stattmann, Herbertweidner, Herr Meier, Hibodikus, Hin-Tse, Hokanomono, Horas, Hotstone1, Howwi, Hubertl, Hufi, Hydro, Infostelle, Ingo Mars, Inkowik32, IqRS, Isderion, Ishka, J, J budissin, JFKCom, JOE, Jaellee, Jahn Henne, Jakob Schulze, Jeb, Jergen, Jivee Blau, Jmsanta, Joe vom Titan, Joef, Johann2, JohannWalter, Jonas Sonnenschein, Jpp, Juesch, Jürgen Pierau, K4ktus, Kai-Hendrik, Kam Solusar, Karl-Heinz Tetzlaff, Karsten11, KarstenG, Karstenkascais, KatrinBerlin, Khesse, Kibert, Kirsch, Kku, Kookaburra sits in the old gum tree, Krawi, Kristjan, Kulac, Kursch, Kurt-Ulrich Ritzau, KurtSteiner, Kwer Wolf, Kwerdenker, LAk loho, LKD, Leider, Leipnizkeks, Lennert B, LittleJoe, Löschfix, Magnummandel, Magnus, Marc-André Aßbrock, Marcus Knappert, Markus Schweiß, Marsupilami04, Martin Götzer, Martin-vogel, Martin.Schnellinger, Matzematik, Mecker, Meister, Menolit, Merkosh, Mh-en, Michael Ullrich, Michail der Trunkene, Mike C., Mikroprozessor, Mindestens, Mnh, Mo4jolo, Mondnein, Morpheusxx, Morten Haan, MovGP0, Mozillo, Mudd1, NEUROtiker, Nadlerto, Neodop, Neu01, Nicolas G., Nicolas17, Nils Simon, Nina, Niteshift, Nobart, Oberlaender, Olag, Olei, Onee, Onew, Pendulin, Peter200, PhHertzog, Phan Ba, Philipendula, Pikarl, Pittimann, Plenz, Quirin, Rabenkind, Rai42, Rainer Lippert, Raubfisch, Raubsaurier, Raymond83, Rdb, Redman04, Regi51, Renovatio, Rfc, Rho, Ribald, Richarddd, Richo83, RonaldH, Roo1812, RoswithaC, RudolfSimon, Rueter, Horst, S1, SF Wissen, STBR, Schlonnel, Schusch, Sciurus, Semper, Sepp, Septembermorgen, Shoshone, Sicherlich, Simon-Martin, Sinn, Slowrider, Sol1, SolarFuture, Sommerkom, Sommerstoffel, Spischot, Spitzl, Splendid, Splette, Spuk968, Srbauer, St.Krekeler, Stahlmut, Stefan Kühn, Stefanbcn, StephanK, Stern, Stonedigger, Suhadi Sadono, Suirenn, Sümpf, TB42, TZV, Tcommbee, Teqsun81, Tetris L, The Invisible, TheK, Thomar1977, Thorbjoern, Tiicoo, Tillmo, Tobi B., Tobias1983, TobiasKlaus, Tobnu, Togo, Toji, TomK32, Toussaint, Trac3R, Triebtäter, Tschersich, Tucano, Tönjes, U86774, Udm, Uhoehne, Umweltschützen, Umweltwissen, Verita, Verum, Victor Eremita, VictorAnyakin, Video2005, Vinci, Vorrauslöscher, WOBE3333, Wdwd, Wega14, Wiki I, Wikihawk, Wiska Bodo, Wondervoll, XenonX3, Xianlux, YourEyesOnly, Zahnstein, Zaibatsu, Zaphiro, Zellreder, Zita, Zooloo, 605 anonyme Bearbeitungen

Erneuerbare-Energien-Gesetz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=74428515 *Bearbeiter*: 217, AHK, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Alkibiades, Alros002, Anhi, Armin P., Aspiriniks, B-e-n, Banshy, Bdk, Ben Ben, Benutzer20070331, Berlinschneid, Biberl, Bieniasz, Brummfuss, Buzer, C.Löser, CedricBLN, Chatter, ChrisHamburg, Chstdu, Cleverboy, Coast path, Conny, Cseeg, Curtis Newton, Dalvarez, David84, DelSarto, Der Rabe Ralf, Der.Traeumer, Dirac, Don Magnifico, Dondaniello, Drilax, Du3n5cH, Ednek, Eisenberg, Ephraim33, ErikDunsing, Este, Extensive, Flo422, Florian Gerlach (Nawaro), Fomafix, Forevermore, Gary Luck, Georg Slickers, Ghw, Giftmischer, Gruendinger, Gunnar.Kaestle, HaSee, Hadhuey, HaeB, Hardenacke, Harf, Hauke Seidel, Heiner Brookman (Nawaro), Henward, Herbertweidner, IGEL, IqRS, IrrtNie, Itti, JanRieke, Jens Liebenau, JoachimS, Jojo-schmitz, Joschun, KaHe, Kai11, Karlthegreat, Karsten11, KarstenG, Karstenkascais, Katharina, Kku, Kristjan, Kursch, LAk loho, Linksfuss, Longo, Mandavi, Mecker, Michail der Trunkene, Michelvoss, Mike Krüger, MoN24, Motiko98, Mps, Mwka, Nils Simon, Nils12, Nobart, Nogideck, Nolispanmo, Onkel Dittmeyer, Onkel74, PM3, Paesslergung, PatriceNeff, Pelz, PeterSchwertner, Philipendula, Phrontistes, Pikarl, Piscator 1, Pittimann, Primus von Quack, Prissantenbär, Q'Alex, Quirin, Rai42, Rainer Lippert, Rao85, Regi51, Reinhard1957, Remindmelater, Richarddd, RobbyBer, Rufus46, S.Didam, Sargoth, Schewek, Schlurcher, Schusch, Seisofrei, Semoy, Sepp, Septembermorgen, Sf01, SoniC, Stadtmaus0815, Staro1, Stechlin, Stefan Schaar, Stephan Piotrowski (Nawaro), StephanK, Stevie94, Suirenn, TB42, Telonius, Tetris L, Thomas S., Timer, Togo, Trac3R, Trofobi, Tönjes, Utrenkner, Uwe W., WOBE3333, Wdwd, Webverbesserer, Westiandi, Wiki4you, Wikifreund, Winne, Wirbelmann, Wolf32at, Wolfgang H., YourEyesOnly, Zahnstein, ZwerK, °, 330 anonyme Bearbeitungen

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66240491 *Bearbeiter*: AHK, Achim Raschka (Nawaro), Alros002, Aruck, Bernburgerin, Bubo bubo, Buzer, C.Löser, Forevermore, Happolati, Ibrharz, Inschenör, Karstenkascais, Kickof, Koenraad, Mps, Nils Simon, PM3, Sepp, Simon-Martin, TB42, Tetris L, TheK, Umweltschützen, WOBE3333, Wo st 01, 21 anonyme Bearbeitungen

Eschenholz *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71752182 *Bearbeiter*: IKAl

Essigsäure *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67616642 *Bearbeiter*: -jha-, Achim Raschka, Aineias, Aka, Alpha six, Anneke Wolf, ArchiSchmedes, ArtMechanic, Augiasstallputzer, Awaler, Ayacop, Bcoh, Beelzebubs Grandson, Benjaminstiess, Biggerj1, BirgitLachner, Blaufisch, BlueCücü, Boemmels, Bullenwächter, Cepheiden, Chemiewikibm, Chemiker, Cleverboy, CommonsDelinker, Complex, Crazy-Chemist, Cristof, Crux, Cvf-ps, D, DMKE, DaB., Danimilkasahne, Density, DerHexer, Diba, Dortmunder2005, Drpagel, Edgehold, Ein23, Ernesto, Ersguterjunge1, Eschenmoser, Fedi, FeiYuQing, Felix1979, Firsthuman, Florian Gerlach (Nawaro), Flux, Gardini, GilledeRaisWuffWuff, Goorki, Groover, Guandalug, Guety, H3PO4, Heinte, HenrikHolke, Hergé, Herrick, High Contrast, Hoffmeier, Hpots, Hubertl, Hystrix, Ixitixel, JAF, Janz, Jergen, Jmsanta, Jpp, Jü, Kuede, L3nnox, LKD, LabFox, LeCornichon, Leyo, Lictuel, Ljfa-ag, Logograph, MAK, Marararam, Marcel Müller Köln, Mardil, Markus Prokott, MarkusZi, Martin-vogel, Matthias M., Maxb88, Metoc, Mi.Fe, Minutemen, Mow-Cow, NEUROtiker, NeuPopSpeck, Nicolas17, Ohno, Old toby, Orci, P373rLu57i9, Pemu, Pendulin, Peter200, Petwoe, Querverplänkler, Rainer Zenz, Remoh, Revolus, Rhododendronbusch, Ringler, Roland.chem, Roland1952, Ruhrlemming, Rwirth, S1, Schaumal, Schlesinger, Schomynv, Schusch, Scooter, Seewolf, Simplicius, Sinn, Southpark, Speck-Made, Srbauer, Steffen, Steffen 962, Strange.opi, Suhadi Sadono, Suirenn, Sümpf, The Peer, Thiesi, Thomas, Thomasgl, Thorbjoern, Trg, Tönjes, Ulm, Umweltschützen, Unscheinbar, Uwe Gille, Van Flamm, W!B:, WAH, Wolfgang1018, Xisox01, Yikrazuul, YourEyesOnly, Zep, 189 anonyme Bearbeitungen

ETBE *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67587140 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Allesmüller, Baumfreund-FFM, Chemiewikibm, ChristophDemmer, Crazy1880, Eschenmoser, FeiYuQing, Fubbel, Heiner Brookman (Nawaro), JWBE, Jbergner, Jutta234, Jü, Leyo, Lumi23, MarieEuro, Mow-Cow, NEUROtiker, Orci, Seldon11, Suirenn, Tetris L, Yikrazuul, Zahnstein, 13 anonyme Bearbeitungen

Ethanol *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=60727872 *Bearbeiter*: 20percent, 4Wheeler, Abcde4060, Abigail, Achim Raschka (Nawaro), Ad.ac, Ahellwig, Aka, Alfred Grudszus, Alien65, Allesmüller, Alte Dame, Andel, Andi47, Androl, Anony, Ar291, ArtMechanic, Asmudeus, Augiasstallputzer, AxelM, Ayacop, BJ Axel, BK-Master, BLueFiSH.as, Baba66, Bachforelle, Baumfreund-FFM, Ben-Zin, Bertonymus, Bethix, Bildermaker, Bildungsbürger, Bisco, BjKa, Blaufisch, Blaupause, Bleizucker, BlueCücü, Brisbard, Brummfuss, Caboodle, Calvin Ballantine, Cancun, Carbidfischer, Cepheiden, Cg909, Cgoe, Chaperon, Chemiewikibm, Chemiker, Christoph Scholz, Ckeen, Complex, Conny, Crazy-Chemist, Cristof, Crux, Cvf-ps, D, DALIBRI, DTeetz, DWay, DaDude, DaQuirin, DeGusmaó, Density, Der Rabe Ralf, Der letzte Enzyklopädist, DerHexer, Diba, Dk, Don Magnifico, Don Vincenzo, Dr.cueppers, DrAlchemie, DrMadMJ, Drdoht, Drpagel, Dundak, Eckhardboles, Edgehold, Elian, Elwe, Emno, Entmumifizierte, ErikDunsing, Ertua, Eschenmoser, FAThomssen, Fairtrax, Fedi, FeiYuQing, Ferdinand24, Flea, Flo422, Florian Gerlach (Nawaro), FredericII, Fritz, FritzG, Froggy, FunkelFeuer, GNosis, Gancho, Garak76, GattoVerde, Geist, der stets verneint, Gismatis, Gnu1742, Goooogle eye, Grosses s, Guety, Guitaroxx, Gulliver64, Gustavus, HBR, HTMeyer, Hadhuey, HaeB, Hannes Röst, Hardenacke, Hati, He3nry, Head, Heinte, Hermannthomas, Highclimber286, Hoffmeier, Hooo, Hostelli, Hubertl, Hystrix, Iammrvip, Ich bin es einfach, Ilja, Infors, Inrasnah, J. Schwerdtfeger, JAF, JCS, JFKCom, JWBE, Jack 007, Jack-Bauer-Freund, Jagaloisl, Jahobr, Jan eissfeldt, Jbergner, Jcornelius, Jianis, Johnny Yen, JonValkenberg, Jpp, Juesch, Jutta234, Kai Jurkschat, KaiKemmann, Karl Bednarik, Karl Gruber, Kaugummimann, Keimzelle, King, Klapper, KnightMove, KooBooLdd, Kookaburra, Korinth, Kraftstoff-Service, Krokofant, Krtek76, Kurt Jansson, LKD, Lehrer Lämpel, Leider, Leipnizkeks, Leopard, Leopold, Leumar01, Leyo, Libellulia, Lmmrs, Loh, Lonardet, Löfe, Löschfix, M.L, MAK, Mac ON, Mahera, Marc Gabriel Schmid, Marilyn.hanson, MarkusHagenlocher, MarkusZi, Martin Bahmann, Martin-vogel, Matt1971, Matthias M., Matthäus Wander, Matze12, Matzee, Max Plenert, Mazbln, McB, Mfranck, Mi.Fe, Michael.motzkus, MichaelDiederich, Mikkel, Mkogler, Mms, Mnh, Morphopos, Mow-Cow, Mr. B.B.C., MrBurns, Muck31, Mucus™, Mvb, Möchtegern, NEUROtiker, Nasiruddin, Nescio*, NickF, Nicolas G., Nicolas17, Nicor, Nina, Ninjamask, Niteshift, Nmoas, Nonanonolcyclononanon, Old toby, Oppel, Orci, Ordnung, Ozuma, PDD, PIGSgrame, Paddi93, Paebi, Papyrus90, Pathomed, Pelz, Pendulin, Penosa, Perrak, Peter adamicka, Peter200, Petwoe, Phrood, Physikochemiker, Plattmaster, Plenz, Pleschberger, Polarlys, Pumbaa80, Quikquak, Rdb, Rechtslinks, Redf0x, Reinhard Kraasch, Revolus, Ri st, Rjh, RokerHRO, Roland Kaufmann, Roland.chem, Roland1952, Rollo rueckwaerts, Roo1812, S1, STBR, Saibo, SandTarnFarbe, Schlesinger, SchriftJaeger, Schusch, Scorpion2211, SeanK., Sechmet, Sergejzr, Shnifti, Shoshone, Simon-Martin, Sinn, Sister Ray, Skyman gozilla, Sonia Nunes, StYxXx, Stadtmaus0815, Star Flyer, Steevie, Steffen, Steffen84, Sufentafix, Suirenn, Sulfolobus, Sunbird, SuperFLoh, Supreme94, Surfacecleanerz, Svenska, TAXman, Taadma, Temp0001, Teqsun81, Thiesi, Thomas, Thomascandrian, Thorbjoern, Thornard, Thorp, Tobi B., Togo, Treml, Tsor, Tucano, Uhr, Ulfbastel, Unscheinbar, Uwe Gille, Uwe W., Van Flamm, Viciarg, Viperb0y, Vodimivado, WAH, WIKImaniac, WOBE3333, WPE, Wagner-ma, Waisinet, Wasabi, Weede, Weissenburg, Westiandi, Whaite, WiESi, Wikimaniac42, Wikistefan87, WilfriedC, Wintelkiller, Wirthi, Wsfm, WvBraun, Wächter, Würstchen, Xls, Yikrazuul, YourEyesOnly, Zaibatsu, Zaungast, Zio, Zis, Zivilverteidigung, 478 anonyme Bearbeitungen

Ethanol-Kraftstoff *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=58769606 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Cherubino, Florian Gerlach (Nawaro), Ghw, Jbergner, Muscari, Reinhard Kraasch, Simon-Martin, 5 anonyme Bearbeitungen

EU-Biokraftstoffrichtlinie *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66375747 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Pelz, Ra'ike, Stephan Piotrowski (Nawaro), Succu, 1 anonyme Bearbeitungen

Extrusion (Verfahrenstechnik) *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73190625 *Bearbeiter*: Achim Raschka (Nawaro), Agrifood, Aka, Alistairhill, ArtMechanic, Astrobeamer, Atzemak842, Avevico, BMK, Bernard Ladenthin, BerndGehrmann, Brina-81, CWilhelm, Cepheiden, Chaddy, Cholo Aleman, Crux, DasBee, Der.Traeumer, Dinah, Doudo, Faxel, HaSee, Hadhuey, Howwi, Jpp, Kickof, Kku, Krischan111, Limasign, Martina Kolarek, Orci, Peebubu, Regi51, Riharcc, SchaubM, Schwalbe, Schwobator, Skriptor, Togo, WissensDürster, Wolfgang1018, 65 anonyme Bearbeitungen

Quellen, Lizenzen und Autoren der Bilder

Datei:ALAnumbering.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:ALAnumbering.svg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Rhadamante, Slashme

Datei:Musa textilis - Manila Hemp - desc-flower.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Musa_textilis_-_Manila_Hemp_-_desc-flower.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Cantor, Franz Xaver, Ies, Phyzome

Bild:Abaca sachsenleinen 01.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Abaca_sachsenleinen_01.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: Jürgen Steger, Sachsenleinen GmbH

Datei:Akoya 2009.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Akoya_2009.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:elya

Datei:Biogas Phootvoltaik Wind.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biogas_Phootvoltaik_Wind.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Florian Gerlach (Nawaro)

Datei:Rapsfeld_2007.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rapsfeld_2007.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Dschwen

Datei:Maisfeld Juli 2009.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Maisfeld_Juli_2009.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:3268zauber

Datei:Kurzumtriebskultur_Pappel.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kurzumtriebskultur_Pappel.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Nasenbär. Original uploader was Nasenbär at de.wikipedia

Datei:FeldahornBlatt.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FeldahornBlatt.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Liné1, MPF, Maksim, Miya, WayneRay, Überraschungsbilder

Datei:Map genus Acer.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Map_genus_Acer.png *Lizenz*: Free Art License *Bearbeiter*: Biggo391, En rouge, Gadren, Ies, MPF, Pixeltoo, Stannered, WayneRay, 1 anonyme Bearbeitungen

Datei:Riegelahorn.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Riegelahorn.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Das Ohr, Franz Xaver

Image:Curly maple bench.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Curly_maple_bench.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter*: Original uploader was Xyzzycoder at en.wikipedia

Datei:Acer_crosssection.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Acer_crosssection.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Lumbar

Datei:Flag of Canada.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Canada.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:E Pluribus Anthony, User:Mzajac

Datei:Illustration Acer platanoides1.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Illustration_Acer_platanoides1.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Farbenfreude, Hapsiainen, Maksim, Pixeltoo, ¡0-8-15!, 1 anonyme Bearbeitungen

Datei:Ahorn bluehend1.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ahorn_bluehend1.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: Welleschik

Datei:Getrocknet Ahornblatt.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Getrocknet_Ahornblatt.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Bdk, Factumquintus, Ies, Quadell, Wst

Datei:Ahorn-Blatt-2005-10-05.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ahorn-Blatt-2005-10-05.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Butko, Ies, Maksim, Timichal

Datei:Acer tataricum1.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Acer_tataricum1.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Hapsiainen, Liné1, Maksim

Datei:Red Maple Leaves in Yahiko.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Red_Maple_Leaves_in_Yahiko.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Aney

Datei:Ahornzweig.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ahornzweig.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Bernd HUtschenreuther

Datei:Maple-seed.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Maple-seed.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User: Kobako

Datei:Acer opalus obtusatum0.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Acer_opalus_obtusatum0.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Ayacop, MPF, 1 anonyme Bearbeitungen

Datei:Ahornfertig 09.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ahornfertig_09.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Mike aus dem Bayerwald

Datei:Ahorn Holz.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ahorn_Holz.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Ayacop, Das Ohr, Ies, Maksim, Man vyi, Skipjack, 1 anonyme Bearbeitungen

Bild:Wood Acer pseudoplatanus.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_Acer_pseudoplatanus.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Achim Raschka

Image:Acer crosssection.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Acer_crosssection.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Lumbar

Image:Ahorn-Maser Holz.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ahorn-Maser_Holz.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Das Ohr, Ies, Skipjack, Wst

Bild:Synthesis of sorbitol.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Synthesis_of_sorbitol.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Yikrazuul

Bild:Reduction of fructose.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Reduction_of_fructose.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Yikrazuul

Datei:Batrachospermum_moniliforme.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Batrachospermum_moniliforme.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter*: Original uploader was Mike Krüger at de.wikipedia

Datei:Luftalge Trentepohlia aurea OhWeh-003.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Luftalge_Trentepohlia_aurea_OhWeh-003.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:OhWeh

Datei:Pediastrum.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pediastrum.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.1 *Bearbeiter*: User:Luis_Fernández_García

Datei:Diatoms through the microscope.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Diatoms_through_the_microscope.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Prof. Gordon T. Taylor, Stony Brook University

Datei:Alger, Macrocystis pyrifera, Nordisk familjebok.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Alger,_Macrocystis_pyrifera,_Nordisk_familjebok.png *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Lokal Profil, Michau Sm

Datei:Nori.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Nori.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Lyzzy

Datei:Algae hydrogen production.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Algae_hydrogen_production.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: EERE

Bild:Pediastrum duplex wagner.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pediastrum_duplex_wagner.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Original uploader was Mike Krüger at de.wikipedia

File:Vraiqu'sie au Hâvre des Pas Jèrri Novembre 2006.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Vraiqu'sie_au_Hâvre_des_Pas_Jèrri_Novembre_2006.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Man vyi

File:Spirulina farm.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Spirulina_farm.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Original uploader was Tiny.ian at en.wikipedia

Datei:Alkylpolyglucosides.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Alkylpolyglucosides.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Yikrazuul

Bild:Waste wood 1.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Waste_wood_1.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter*: User:Tetris L

Datei:Particle board close up-vertical-f22 Δ0100.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Particle_board_close_up-vertical-f22_Δ0100.JPG *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: D-Kuru

File:Plakette-Arboform.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Plakette-Arboform.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Lars Ziegler, Tecnaro GmbH

Datei:Asphaltbelag.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Asphaltbelag.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Sascha Pöschl (Mailtosap) Original uploader was Mailtosap at de.wikipedia

Datei:Asphalt frisch.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Asphalt_frisch.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Sascha Pöschl (Mailtosap). Original uploader was Mailtosap at de.wikipedia

Datei:Babylonische Prachtstraße.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Babylonische_Prachtstraße.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Sascha Pöschl (Mailtosap). Original uploader was Mailtosap at de.wikipedia

Datei:Dissertation Eirini d'Eyrinys.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Dissertation_Eirini_d'Eyrinys.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Eirini d'Eyrinys. Original uploader was Mailtosap at de.wikipedia

Datei:Gussasphalteinbau 1880.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Gussasphalteinbau_1880.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Leyo, Benutzer:Yellowcard

Datei:Asfalt rodzimy Słowacja.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Asfalt_rodzimy_Słowacja.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: Kluka, W!B:

Datei:Asphalteinbau.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Asphalteinbau.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Sascha Pöschl (Mailtosap). Original uploader was Mailtosap at de.wikipedia

Datei:Asphalttragschicht.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Asphalttragschicht.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Mailtosap (Sascha Pöschl) at de.wikipedia

Datei:Asphaltbinderschicht.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Asphaltbinderschicht.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Mailtosap (Sascha Pöschl) at de.wikipedia

Datei:Asphaltdeckschicht.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Asphaltdeckschicht.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Mailtosap (Sascha Pöschl) at de.wikipedia

Datei:Glaubach asphalt.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Glaubach_asphalt.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Glaubach

Datei:Offenporiger Asphalt Vergleich.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Offenporiger_Asphalt_Vergleich.png *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Sascha Pöschl (Mailtosap). Original uploader was Mailtosap at de.wikipedia

Datei:Farbiger Asphalt.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Farbiger_Asphalt.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Sascha Pöschl (Mailtosap). Original uploader was Mailtosap at de.wikipedia

Datei:Flowers growing through street.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flowers_growing_through_street.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Juhu

Datei:LavenderEssentialOil.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LavenderEssentialOil.png *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Itineranttrader

Datei:LemonEssentialOil.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LemonEssentialOil.png *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Itineranttrader

Datei:MelaleucaAlternifoliaEssOil.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:MelaleucaAlternifoliaEssOil.png *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Itineranttrader

Datei:ManukaEssentialOil.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:ManukaEssentialOil.png *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Itineranttrader

Datei:Bagasse dsc08999.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bagasse_dsc08999.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter*: User:David.Monniaux

File:Proserpine-Sugar-Mill-rail-tracks-1188.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Proserpine-Sugar-Mill-rail-tracks-1188.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Vmenkov

Datei:Cholera_bacteria_SEM.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cholera_bacteria_SEM.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Copydays, DO11.10, Dietzel65, Martin H., NEON ja, Oks, Romary, Shizhao, Zeimusu, 1 anonyme Bearbeitungen

Bild:Hpylori.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hpylori.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Photo Credit: Janice Carr Content Providers(s): CDC/ Dr. Patricia Fields, Dr. Collette Fitzgerald

Bild:BakteriumSchema.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:BakteriumSchema.png *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Brudersohn, Spuk968, 1 anonyme Bearbeitungen

Bild:Stammbaum_Bakterien.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Stammbaum_Bakterien.png *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: http://de.wikipedia.org/wiki/Benutzer:Kookaburra

Bild:Bacteria (PSF).jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bacteria_(PSF).jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Arria Belli, Benedikt.Seidl, Michel Deschenes, PatríciaR

Bild:Bauholz.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bauholz.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Mailtosap

Bild:Sparrendach mit Balkenlage.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sparrendach_mit_Balkenlage.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Hafenbar

Bild:Expo 2000 Dach Holzkonstruktion.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Expo_2000_Dach_Holzkonstruktion.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Erwin Müller

Bild:Bauschnittholz.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bauschnittholz.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Mailtosap

Bild:Brettschichtholz neu.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Brettschichtholz_neu.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Mailtosap, 1 anonyme Bearbeitungen

Datei:koeh-068.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Koeh-068.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Franz Eugen Köhler, Köhler's Medizinal-Pflanzen

Bild:A Baumwolle Pflanze.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:A_Baumwolle_Pflanze.JPG *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Begonia

Bild:A Baumwolle Kapsel zu.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:A_Baumwolle_Kapsel_zu.JPG *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Begonia

Bild:A Baumwolle Kapsel offen1.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:A_Baumwolle_Kapsel_offen1.JPG *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Begonia

Bild:A Baumwolle Stadien.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:A_Baumwolle_Stadien.JPG *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Begonia

Datei:COTTON_LOGO.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:COTTON_LOGO.svg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Gunnar.Forbrig

Datei:Drying Cotton 1862.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Drying_Cotton_1862.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Henry P. Moore

Bild:A Baumwolle Feld.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:A_Baumwolle_Feld.JPG *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Begonia

Bild:Baumwoll-Erntemaschine auf Feld.jpeg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Baumwoll-Erntemaschine_auf_Feld.jpeg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Avron, High Contrast, Ikiwaner, Mahlum, Ranveig, Wst

Bild:Baumwoll-Erntemaschine.jpeg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Baumwoll-Erntemaschine.jpeg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Avron, Ikiwaner, Mahlum, Ranveig, Wst

Bild:Usine de coton CMDT.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Usine_de_coton_CMDT.png *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Olivierkeita

Datei:Cotton boll weevil.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cotton_boll_weevil.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Original uploader was Ellmist at en.wikipedia

Datei:Cotton sofa.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cotton_sofa.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Dany3000

Datei:Baumwollfaser Querschnitt.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Baumwollfaser_Querschnitt.png *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Stephan Piotrowski (Nawaro)

Datei:Bernsteinsäure2.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bernsteinsäure2.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:NEUROtiker

Datei:Hazard X.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hazard_X.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: BLueFiSH.as, Herbythyme, Leyo, MarianSigler, Matthias M., Phrood, W!B:, 4 anonyme Bearbeitungen

Datei:Succinat.PNG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Succinat.PNG *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User Heinte on de.wikipedia

File:Mülltonnen diverse.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mülltonnen_diverse.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:3268zauber

Datei:1-Butanol skeletal.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:1-Butanol_skeletal.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Yikrazuul

Datei:Biodiesel.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biodiesel.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Shizhao

Datei:Bequer-B100-SOJA-SOYBEAM.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bequer-B100-SOJA-SOYBEAM.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Leandro Maranghetti Lourenço

Datei:Methyl Linoleate.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Methyl_Linoleate.png *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:E8

Datei:Transesterification FAME.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Transesterification_FAME.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Ertua

Datei:Biodieselraffinerie-01.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biodieselraffinerie-01.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter*: User:Priwo

Datei:Biodiesel 3.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biodiesel_3.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Mejidori

Datei:oekodrive.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Oekodrive.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Original uploader was Gerfriedc at de.wikipedia

Datei:Earthrace-2.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Earthrace-2.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Damballah, Dcastor, GeorgHH, Ingolfson, Stunteltje

Datei:Flag of Germany.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Germany.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Pumbaa80

Bild:Flag of France.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_France.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:SKopp, User:SKopp, User:SKopp, User:SKopp, User:SKopp, User:SKopp

Datei:Flag of Austria.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Austria.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:SKopp

Bild:Flag of the United Kingdom.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_the_United_Kingdom.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Zscout370

Bild:Flag of Spain.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Spain.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Pedro A. Gracia Fajardo, escudo de Manual de Imagen Institucional de la Administración General del Estado

Bild:Flag of Portugal.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Portugal.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: AFBorchert, ALE!, Afonso Silva, Anime Addict AA, Bluedenim, Boicote, Conscious, Denniss, DieBuche, Er Komandante, Flad, FoeNyx, Fry1989, Herbythyme, Jelte, Kam Solusar, Klemen Kocjancic, Kookaburra, Mattes, Nick, Nightstallion, Reisio, Rkt2312, Skatefreak, Stunteltje, Thomas Gun, Thomas81, Tuvalkin, Zscout370, 27 anonyme Bearbeitungen

Datei:Flag of Italy.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Italy.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: see below

Datei:Flag of Sweden.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Sweden.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Hejsa, Herbythyme, J budissin, Jon Harald Søby, Klemen Kocjancic, Lefna, Mattes, Meno25, Odder, Peeperman, Quilbert, Reisio, Sir Iain, Str4nd, Tabasco, Tene, Thomas Blomberg, Thuresson, Wiklas, 31 anonyme Bearbeitungen

Bild:Flag of Belgium (civil).svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Belgium_(civil).svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Bean49, David Descamps, Dbenbenn, Denelson83, Fry1989, Howcome, Ms2ger, Nightstallion, Oreo Priest, Rocket000, Sir Iain, ThomasPusch, Warddr, Zscout370, 3 anonyme Bearbeitungen

Bild:Flag_of_Greece.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Greece.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: (of code) (talk)

Bild:Flag of Bulgaria.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Bulgaria.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Avala, Denelson83, Fry1989, Homo lupus, Ikonact, Kallerna, Klemen Kocjancic, Martyr, Mattes, Neq00, Pumbaa80, SKopp, Spacebirdy, Srtxg, Ultratomio, Vonvon, Zscout370, 9 anonyme Bearbeitungen

Bild:Flag of Lithuania.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Lithuania.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:SKopp

Bild:Flag of Luxembourg.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Luxembourg.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:SKopp

Bild:Flag of the Czech Republic.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_the_Czech_Republic.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: special commission (of code): SVG version by cs:-xfi-. Colors according to Appendix No. 3 of czech legal Act 3/1993. cs:Zirland.

Datei:Flag of Poland.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Poland.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Mareklug, User:Wanted

Bild:Flag of Slovenia.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Slovenia.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:SKopp, User:Vzb83, User:Zscout370

Bild:Flag of Ireland.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Ireland.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:SKopp

Bild:Flag of Latvia.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Latvia.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:SKopp

Bild:Flag of Hungary.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Hungary.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:SKopp

Bild:Flag of Denmark.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Denmark.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Madden

Bild:Flag of the Netherlands.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_the_Netherlands.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Zscout370

Bild:Flag of Romania.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Romania.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: AdiJapan

Bild:Flag of Malta.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Malta.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Fry1989, Gabbe, Klemen Kocjancic, Liftarn, Mattes, Nightstallion, Peeperman, Pumbaa80, Ratatosk, Zscout370, 2 anonyme Bearbeitungen

Bild:Flag of Finland.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Finland.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:SKopp

Bild:Flag of Estonia.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Estonia.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:PeepP, User:SKopp

Bild:Flag of Cyprus.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Cyprus.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: AnonMoos, Consta, Dbenbenn, Denelson83, Er Komandante, Homo lupus, Klemen Kocjancic, Krinkle, Mattes, NeoCy, Neq00, Nightstallion, Oleh Kernytskyi, Pumbaa80, Reisio, Telim tor, ThomasPusch, Vzb83, 14 anonyme Bearbeitungen

Datei:Weltölförderung.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Weltölförderung.png *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Leyo

Datei:Wood-pellet heater.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood-pellet_heater.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter*: User:Vesta

Datei:Soybus.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Soybus.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Kneiphof, Marek Banach, Shizhao, 2 anonyme Bearbeitungen

Datei:Oilpalm malaysia.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Oilpalm_malaysia.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Pizzaboy1

Datei:Canaviais Sao Paulo 01 2008 06.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Canaviais_Sao_Paulo_01_2008_06.jpg *Lizenz*: Attribution *Bearbeiter*: User:Mariordo

Datei:Panorama Usina Costa Pinto Piracicaba SAO 10 2008.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Panorama_Usina_Costa_Pinto_Piracicaba_SAO_10_2008.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Mariordo

Datei:Silage tractors.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Silage_tractors.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Felagund

Datei:Neuhaus oste biogasanlage 03.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Neuhaus_oste_biogasanlage_03.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: Ra Boe

Datei:Holzheizkraftwerk01.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzheizkraftwerk01.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Nikater

File:Nahwärme Verteilung.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Nahwärme_Verteilung.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter*: User:Florian Gerlach (Nawaro)

File:Jühnde vom Gaußturm.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jühnde_vom_Gaußturm.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Dschwen

Datei:Holzvergasung.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzvergasung.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter*: Gerfriedc, Nikai, Petri Krohn, 1 anonyme Bearbeitungen

Datei:Ethanol-structure.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ethanol-structure.png *Lizenz*: Creative Commons Sharealike 1.0 *Bearbeiter*: BorisTM, Giro720, K!roman, KlaudiuMihaila, Ragimiri

Datei:Hazard F.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hazard_F.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: BLueFiSH.as, Cwbm (commons), F l a n k e r, MarianSigler, Matthias M., NielsF, Phrood, Pixeltoo, W!B:, 7 anonyme Bearbeitungen

Datei:Four Brazilian full flex-fuel automoviles 05 2008.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Four_Brazilian_full_flex-fuel_automoviles_05_2008.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Mariordo

Datei:Fuel cell NASA p48600ac.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fuel_cell_NASA_p48600ac.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Stahlkocher, Warden, 1 anonyme Bearbeitungen

Datei:Ethanol plant.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ethanol_plant.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Mariordo, PDH

Datei:Bioethanol plant in Zeitz.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bioethanol_plant_in_Zeitz.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: User:High Contrast

Datei:Saccharum-officinarum-harvest.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Saccharum-officinarum-harvest.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Eugene van der Pijll, Farbenfreude, Frank C. Müller, Man vyi, Quadell, Raphael.lorenzeto, Siebrand, Sten, Thierry Caro, Yann

Datei:EthanolPetrol.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:EthanolPetrol.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Proximo.xv, Zephynelsson Von

Bild:Flag of Slovakia.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Slovakia.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:SKopp

Bild:DIN-Logo.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:DIN-Logo.svg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: unbekannt. Original uploader was Afrank99 at de.wikipedia. Later version(s) were uploaded by Schnelliboy at de.wikipedia.

Datei:Bioethanol Energiebilanz.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bioethanol_Energiebilanz.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Achim Raschka

Datei:Biogasspeicher.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biogasspeicher.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter*: Gerfriedc, Karsten11, Nikai

Datei:Haase Lubeck MBT.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Haase_Lubeck_MBT.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter*: Alex Marshall (Clarke Energy)

Datei:Biogas-Linienbus.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biogas-Linienbus.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter*: Erich Iseli

Bild:Biogasentstehung.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biogasentstehung.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Saiht

Datei:Gaersubstrat.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Gaersubstrat.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Florian Gerlach (Nawaro)

Datei:Biogas.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biogas.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Asdrubal

Datei:Biogas_pipes.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biogas_pipes.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter*: Original uploader was Vortexrealm at en.wikipedia

Datei:Schlafmohn lila.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Schlafmohn_lila.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Michael Joachim Lucke. Original uploader was Gilbert8888 at de.wikipedia

Datei:Firewood with flame ash and red embers.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Firewood_with_flame_ash_and_red_embers.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Louis Waweru

Datei:Pellets hand.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pellets_hand.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Tom Bruton

Datei:TCR coupe 2.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:TCR_coupe_2.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Lamiot

Datei:Rapsfeld 2007.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rapsfeld_2007.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Dschwen

Datei:Faulturm Oberzell.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Faulturm_Oberzell.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.0 *Bearbeiter*: User:Factory X

File:Kraftwerk Zolling Biomasseheizkraftwerk .jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kraftwerk_Zolling_Biomasseheizkraftwerk_.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Lou.gruber

File:Ethanol plant.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ethanol_plant.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Mariordo, PDH

Bild:Kettenoel-nachfuellen.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kettenoel-nachfuellen.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Gerhard Elsner

Bild:Brassica napus 2.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Brassica_napus_2.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter*: Prazak, TiHa, Tolanor, Wst, 3 anonyme Bearbeitungen

Image:Biogene oele prozentual.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biogene_oele_prozentual.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Achim Raschka

Image:Makino-S33-MachiningCenter-example.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Makino-S33-MachiningCenter-example.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter*: 1-1111, Graibeard, Kneiphof, WikipediaMaster

Bild:Mh zweiwegebagger.jpeg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mh_zweiwegebagger.jpeg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: LosHawlos

File:Labfors 4 with touchscreen.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Labfors_4_with_touchscreen.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:El Carlos

Datei:Cuves Figeac.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cuves_Figeac.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Berndt Fernow

File:Jninternational4.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jninternational4.jpg *Lizenz*: Free Art License *Bearbeiter*: User:Peter grotzinger

Image:Handschuhfach PP-NF CG.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Handschuhfach_PP-NF_CG.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: Christian Gahle, nova-Institut GmbH

Datei:Fahrsilo.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fahrsilo.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter*: User:WerWil

Datei:Fruit oil palm.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fruit_oil_palm.JPG *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Maksim, Martin H., Sanbec

Bild:Bio-K Blister CG.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bio-K_Blister_CG.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Christian Gahle, nova-Institut GmbH

Bild:Schildkroett_Puppe_Inge_1950.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Schildkroett_Puppe_Inge_1950.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Holger.Ellgaard

Bild:Cellofan.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cellofan.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Holger.Ellgaard

Bild:Maisstärke Duroplast.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Maisstärke_Duroplast.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Achim Raschka

Bild:Präzisionswürfel.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Präzisionswürfel.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Roland Scheicher 20:07, 11. Jan. 2007 (CET). Original uploader was Roland Scheicher at de.wikipedia

Bild:PLA-Kugelschreiber NatureWorks CG.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PLA-Kugelschreiber_NatureWorks_CG.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Christian Gahle, nova-Institut GmbH

File:PLA Schweinderl.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PLA_Schweinderl.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Achim Raschka

Bild:Kapseln.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kapseln.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Werckmeister, Würfel

Bild:Stärke-Packstoff Pömpel CG.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Stärke-Packstoff_Pömpel_CG.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Christian Gahle, nova-Institut GmbH

Bild:Bio-K Abfallbeutel Kompostbeutel CG.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bio-K_Abfallbeutel_Kompostbeutel_CG.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Christian Gahle, nova-Institut GmbH

Bild:Biodegradable.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biodegradable.svg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Leyo, Benutzer:Yellowcard

Bild:Bio-K Verpackung Birkel Detail CG.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bio-K_Verpackung_Birkel_Detail_CG.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Christian Gahle, nova-Institut GmbH

Datei:Flower Wrapping made of PLA-Blend Bio-Flex.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flower_Wrapping_made_of_PLA-Blend_Bio-Flex.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter*: F. Kesselring, FKuR Willich

Datei:Shampoo Bottle made of PLA-Blend Bio-Flex.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Shampoo_Bottle_made_of_PLA-Blend_Bio-Flex.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter*: F. Kesselring, FKuR Willich

Datei:Deep freeze packaging made of PLA-Blend Bio-Flex.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Deep_freeze_packaging_made_of_PLA-Blend_Bio-Flex.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter*: F. Kesselring, FKuR Willich

Datei:Cosmetics Pen made from Cellulose Acetate Biograde.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cosmetics_Pen_made_from_Cellulose_Acetate_Biograde.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter*: F. Kesselring, FKuR Willich

Bild:Mulch Film made of PLA-Blend Bio-Flex.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mulch_Film_made_of_PLA-Blend_Bio-Flex.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter*: F. Kesselring, FKuR Willich

Bild:Mulch film Bio-Flex biodegraded.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mulch_film_Bio-Flex_biodegraded.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter*: F. Kesselring, FKuR Willich

Datei:Mulch Film made of PLA-Blend Bio-Flex.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mulch_Film_made_of_PLA-Blend_Bio-Flex.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter*: F. Kesselring, FKuR Willich

Datei:Mulch film Bio-Flex biodegraded.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mulch_film_Bio-Flex_biodegraded.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter*: F. Kesselring, FKuR Willich

Bild:River in the Amazon rainforest.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:River_in_the_Amazon_rainforest.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Cesar Paes Barreto

Bild:Culltura cana-de-açucar REFON .jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Culltura_cana-de-açucar_REFON_.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter*: User:Reynaldo

Bild:Nahrungspyramide1.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Nahrungspyramide1.png *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Denniss, Hati, Leyo

Bild:Biomassepotenziale.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biomassepotenziale.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Florian Gerlach (Nawaro)

Datei:Dampfturbine 5 MW mit ELIN Generator.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Dampfturbine_5_MW_mit_ELIN_Generator.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Ulrichulrich

Datei:Biomassekraftwerk Lünen.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biomassekraftwerk_Lünen.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Rainer Sielker Original uploader was Rasi57 at de.wikipedia

Datei:ORC-Fließschema.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:ORC-Fließschema.JPG *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Wd7378

Datei:Holzhackschnitzel.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzhackschnitzel.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Florian Gerlach (Nawaro)

Datei:Biomasseheizwerk_Luebeck.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biomasseheizwerk_Luebeck.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter*: User:Florian Gerlach (Nawaro)

Datei:Sugar cane madeira hg.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sugar_cane_madeira_hg.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Hgrobe

Image:Oilpalm malaysia.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Oilpalm_malaysia.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Pizzaboy1

Datei:Holzvergaser.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzvergaser.JPG *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Patrick Huebgen

Datei:Noerdlingen Eisenbahnmuseum 1659.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Noerdlingen_Eisenbahnmuseum_1659.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Flominator

Datei:Adler Diplomat 3 GS mit Holzgasgenerator-hinten rechts.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Adler_Diplomat_3_GS_mit_Holzgasgenerator-hinten_rechts.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Mattes

Datei:Bundesarchiv Bild 183-V00670A, Berlin, Auto mit Holzgasantrieb.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bundesarchiv_Bild_183-V00670A,_Berlin,_Auto_mit_Holzgasantrieb.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: 32X, MB-one, S.Didam, Srittau, ŠJů

Datei:Bundesarchiv Bild 183-V00670, Berlin, Pkw mit Holzgasantrieb.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bundesarchiv_Bild_183-V00670,_Berlin,_Pkw_mit_Holzgasantrieb.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: 32X, MB-one, S.Didam, Srittau, ŠJů

Datei:Fotothek df pk 0000300 026.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fotothek_df_pk_0000300_026.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Pibwl

Datei:1937 Chevrolet HS 157 D Lastbil KRX897.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:1937_Chevrolet_HS_157_D_Lastbil_KRX897.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: Lars-Göran Lindgren Sweden

File:Karjalohjaja häkäpönttö 2.4.2010 003.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Karjalohjaja_häkäpönttö_2.4.2010_003.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Abc10

Bild:Holzvergaser.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzvergaser.png *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: selbst erstellt von Benutzer:Kino. Original uploader was Kino at de.wikipedia. Later version(s) were uploaded by Schnaader at de.wikipedia.

Datei:BtL-Verfahrensschema.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:BtL-Verfahrensschema.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Florian Gerlach (Nawaro)

Datei:Biogas pipes.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biogas_pipes.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter*: Original uploader was Vortexrealm at en.wikipedia

Datei:Disambig-dark.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Disambig-dark.svg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Baumst

Datei:Cellulose Sessel.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cellulose_Sessel.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:NEUROtiker

Datei:Bioreaktor quer2.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bioreaktor_quer2.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Eva Decker

File:2009-02-20 Fermenters at LoneRider Brewery.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2009-02-20_Fermenters_at_LoneRider_Brewery.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Specious

Bild:Faulturm Oberzell.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Faulturm_Oberzell.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.0 *Bearbeiter*: User:Factory X

File:Ladbergen Biogasanlage.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ladbergen_Biogasanlage.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter*: User:Francis Flinch

Datei:Production of cheese 2.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Production_of_cheese_2.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: MatthiasKabel, Wst

Datei:Louis Pasteur.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Louis_Pasteur.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Bestiasonica, JdH, Kam Solusar, LadyofHats, PFHLai, Panther, Romary, Stefi, 3 anonyme Bearbeitungen

Datei:Faroe stamp 079 europe (fleming).jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Faroe_stamp_079_europe_(fleming).jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Arne List, Ephraim33, Havang(nl), Jeandré du Toit, NobbiP, Yelm, 9 anonyme Bearbeitungen

Datei:DNA Overview.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:DNA_Overview.png *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Mstroeck

Datei:EscherichiaColi NIAID.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:EscherichiaColi_NIAID.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Credit: Rocky Mountain Laboratories, NIAID, NIH

Datei:Glycolipide.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Glycolipide.png *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Cvf-ps

Datei:Pseudomonas.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pseudomonas.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Photo Credit: Janice Haney Carr Content Providers(s): CDC/ Janice Haney Carr

File:Algae hydrogen production.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Algae_hydrogen_production.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: EERE

Datei:Betula pendula wood ray section 1 beentree.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Betula_pendula_wood_ray_section_1_beentree.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Beentree

Datei:Bhkwgasmotor.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bhkwgasmotor.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter*: 1-1111, Gerfriedc, Nikai, Tetris L

Datei:Notkühler auf dem Dach des BHKW einer Biogasanlage.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Notkühler_auf_dem_Dach_des_BHKW_einer_Biogasanlage.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Florian Gerlach (Nawaro)

Datei:bhkw schema.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bhkw_schema.png *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Peter Lehmacher

Datei:Pflanzenoel-BHKW-04-offen.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pflanzenoel-BHKW-04-offen.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Franko30

Datei:Labeledstemforposter copy.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Labeledstemforposter_copy.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Ryan R. McKenzie

Bild:Noe breche.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Noe_breche.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Flominator

Bild:Pentenried.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pentenried.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 Germany *Bearbeiter*: Metaroll

Bild:Aufgerichtetesholz.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Aufgerichtetesholz.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Topfklao (Christoph Neumüller) at de.wikipedia

Bild:Kachelofen.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kachelofen.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Benutzer:Acp

Bild:Mozambique - firewood collector.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mozambique_-_firewood_collector.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.0 *Bearbeiter*: Steve Evans from India and USA

Bild:Selling fuelwood.jpeg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Selling_fuelwood.jpeg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Joonundi, Komencanto, Ranveig

Bild:Graf-heizwert-je-kg.gif *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Graf-heizwert-je-kg.gif *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Gerhard Elsner

File:Clemens-August-Buche Holz.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Clemens-August-Buche_Holz.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: user:Traitor

Datei:Brennreisig.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Brennreisig.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter*: powerbiker1 (Thomas Kees). Original uploader was Powerbiker1 at de.wikipedia

Datei:Wellen_aus_Reisig_8895.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wellen_aus_Reisig_8895.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Flominator

Datei:Holzspalter.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzspalter.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter*: User:Florian Gerlach (Nawaro)

Bild:Holzmiete.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzmiete.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Gerhard Elsner

Bild:fuelwood.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fuelwood.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Gerhard Elsner

Datei:Brennnessel.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Brennnessel.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Franz Xaver, Hydro, Mbc, Simplicius

Datei:Urtica dioica flowers.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Urtica_dioica_flowers.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter*: Paul Adam, Adampauli

Datei:Urtica dioica male-2.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Urtica_dioica_male-2.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter*: Jerome Prohaska

Datei:Urtica dioica stinging hair.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Urtica_dioica_stinging_hair.jpg *Lizenz*: Free Art License *Bearbeiter*: User:BYJP

Datei:Urtica dioica hairs.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Urtica_dioica_hairs.jpg *Lizenz*: Free Art License *Bearbeiter*: User:BYJP

Datei:KleinerFuchs(Raupe).jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:KleinerFuchs(Raupe).jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Migas

Datei:Brennnesselspinat.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Brennnesselspinat.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User: Kobako

Datei:Brennnesselfeld.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Brennnesselfeld.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Benutzer:Ljfa-ag

Datei:Illustration Urtica dioica0.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Illustration_Urtica_dioica0.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Augiasstallputzer, Cocoloi, Donarreiskoffer, Kilom691, Rtc

Bild:The fireplace-RS.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:The_fireplace-RS.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.0 *Bearbeiter*: FlickrLickr, FlickreviewR

Bild:Steinkohle_aus_dem_Bergbau.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Steinkohle_aus_dem_Bergbau.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Kluka, Markus Schweiss, THEN WHO WAS PHONE?, Tetris L, Thuresson, Wing, 2 anonyme Bearbeitungen

Image:Burning gas01.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Burning_gas01.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: JackyR, Johan, Markus Schweiss, Wst

Bild:Lamine_ahsap_kesit.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lamine_ahsap_kesit.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Original uploader was Sinoplu diyojen at tr.wikipedia

Datei:Dampfbetriebene Brikettpresse .jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Dampfbetriebene_Brikettpresse_.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Edweisch, S. F. B. Morse

Bild:Braunkohlebrikett 2.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Braunkohlebrikett_2.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Fotografeur

Datei:Couffinhal Briquette Press.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Couffinhal_Briquette_Press.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Edwin T. Dumble

Bild:Straw-hay-briquettes.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Straw-hay-briquettes.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:AgroBrik

Bild:Holzbriketts.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzbriketts.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: Grand-Duc, Stoak, Tetris L, WikipediaMaster

File:Toptex Strohschutz.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Toptex_Strohschutz.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: Gruber Gerald

Datei:TCR récolteuse profil p.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:TCR_récolteuse_profil_p.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Lamiot

Datei:Koeh-060.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Koeh-060.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Franz Eugen Köhler, Köhler's Medizinal-Pflanzen

File:Fagus sylvatica Beukenhout.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus_sylvatica_Beukenhout.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Rasbak

File:Buchenholz.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Buchenholz.JPG *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Immanuel Giel

Datei:Fagus japonica 01.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus_japonica_01.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter*: Σ64

Image:Buchenblatt mit Haaren.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Buchenblatt_mit_Haaren.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:LivingShadow

Bild:Fagus-orientalis.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus-orientalis.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Farbenfreude, Sten, Yareite, 1 anonyme Bearbeitungen

Image:Fagus grandifolia leaves.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus_grandifolia_leaves.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Diotime, Giorgiomonteforti

Bild:Buchenwald 1.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Buchenwald_1.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Darkone, Greatpatton, MPF, Ulrichstill, Überraschungsbilder

Datei:Buche Holz 1.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Buche_Holz_1.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Matt314, Rasbak, Skipjack

Datei:Carboxymethyl cellulose.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Carboxymethyl_cellulose.png *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Edgar181

File:Carnauba wax.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Carnauba_wax.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:LivingShadow

Datei:Abdampfschale mit geschmolzenem Carnaubawachs.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Abdampfschale_mit_geschmolzenem_Carnaubawachs.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:LivingShadow

Datei:Schema pflanzliche Zellwand.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Schema_pflanzliche_Zellwand.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:LadyofHats, User:Matthias M.

Datei:Cellulose acetate.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cellulose_acetate.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Yikrazuul

Datei:Präzisionswürfel.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Präzisionswürfel.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Roland Scheicher 20:07, 11. Jan. 2007 (CET). Original uploader was Roland Scheicher at de.wikipedia

Datei:Ball Pen made from Cellulose Acetate Biograde.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ball_Pen_made_from_Cellulose_Acetate_Biograde.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter*: F. Kesselring, FKuR Willich

File:AdhesivesForHouseUse004.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:AdhesivesForHouseUse004.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Babi Hijau

Datei:Methylcellulose.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Methylcellulose.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:NEUROtiker

Datei:Tapetenkleister.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Tapetenkleister.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Ralf Roletschek Marcela. Original uploader was Ralf Roletschek at de.wikipedia

Datei:Cellofan.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cellofan.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Holger.Ellgaard

File:Cellulose strand.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cellulose_strand.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Laghi.l

Datei:Miscanthus sinensis ja01.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Miscanthus_sinensis_ja01.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.1 *Bearbeiter*: User:Miya.m

Bild:Chitin.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Chitin.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Dschanz

Bild:Glanzkaefer.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Glanzkaefer.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: zituba. Original uploader was Zituba at de.wikipedia

Bild:Chitosan Synthese.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Chitosan_Synthese.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:NEUROtiker

Bild:Pandborealispile.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pandborealispile.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration

Datei:Transportable_Oelmuehle.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Transportable_Oelmuehle.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Günter Barten (Nawaro)

Datei:Seiherstabpresse.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Seiherstabpresse.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Günter Barten (Nawaro)

Datei:Truboelruehrwerk.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Truboelruehrwerk.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Günter Barten (Nawaro)

Bild:DiMeether.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:DiMeether.png *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Eschenmoser

Bild:Wandfarbe.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wandfarbe.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: JosefLehmkuhl

Datei:Pseudotsuga_menziesii_Schleus_Berg_Suhl_Th_Dreger.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pseudotsuga_menziesii_Schleus_Berg_Suhl_Th_Dreger.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Thomas Dreger, Suhl

Datei:Resin pocked on pseudotsuga bark beentree.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Resin_pocked_on_pseudotsuga_bark_beentree.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Beentree, MPF

Datei:Cone pseudotsuga menziesii beentree.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cone_pseudotsuga_menziesii_beentree.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Beentree

Datei:Tracheiden-spiralverstaerkung-douglasie-3.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Tracheiden-spiralverstaerkung-douglasie-3.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Ralf Roletschek

Datei:Douglasie Holz.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Douglasie_Holz.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Das Ohr, Erik Baas, Skipjack

Datei:Cup plant.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cup_plant.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Achim Raschka

Datei:Silphium perfoliatum.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Silphium_perfoliatum.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Paolo Fisicaro

Datei:Illustration Quercus robur0.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Illustration_Quercus_robur0.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Augiasstallputzer, Erik Warmelink, Rocket000, The Evil IP address, 1 anonyme Bearbeitungen

Datei:Eiche am Wegesrand.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Eiche_am_Wegesrand.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter*: Darkone, 2004 Original uploader was Darkone at de.wikipedia

Datei: Quercus petraea 04.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Quercus_petraea_04.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: Willow

Datei:Zwei Eicheln.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Zwei_Eicheln.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Darkone

Datei:Gefrorenes_eichenblatt.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Gefrorenes_eichenblatt.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Schulzenator

Datei:Eicheln_am_Baum.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Eicheln_am_Baum.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Maufi

Datei:Eichenlaub_Herbst.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Eichenlaub_Herbst.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Ramessos

Datei:Zweig_Eiche.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Zweig_Eiche.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Klaus Wagner, Stauba, 2 anonyme Bearbeitungen

Datei:Velden Koestenberg herbstliches Eichenlaub 02112008 22.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Velden_Koestenberg_herbstliches_Eichenlaub_02112008_22.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Johann Jaritz

Datei:Dendrochronologie.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Dendrochronologie.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Stefan Kühn Original uploader was Stefan Kühn at de.wikipedia

Datei:Eiche-querschnitt-2.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Eiche-querschnitt-2.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Ralf Roletschek

Datei:Eiche009.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Eiche009.JPG *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Moonwalker74

Datei:Wappen Kirchardt.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wappen_Kirchardt.png *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Leit, Magul, Rosenzweig, Skipjack, Tsui, Wst

Datei:1-PF-Coin-German.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:1-PF-Coin-German.jpg *Lizenz*: Attribution *Bearbeiter*: Avron, Denis Apel

Datei:Traubeneiche.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Traubeneiche.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Philipp Zinger (= user Das Ohr)

Datei:Mooreiche Holz.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mooreiche_Holz.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Cillas, Das Ohr, MPF, Secar one, Skipjack

Datei: Räuchereiche.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Räuchereiche.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Böhringer

Datei:Noebdenitz Eiche01.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Noebdenitz_Eiche01.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Dundak

Bild:EncinoBajaCalifornia18July2004h08am.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:EncinoBajaCalifornia18July2004h08am.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Crux, Raymond, Togo

Bild:Rieseneiche 1.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rieseneiche_1.JPG *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Thomas Berendes

Bild:Alte Eiche Sababurg.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Alte_Eiche_Sababurg.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: MPF, Michael Fiegle, Szent István, Ulrichstill, Wst

Bild:Jung-Eiche.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jung-Eiche.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter*: Darkone at de.wikipedia

Bild:eiche_winter.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Eiche_winter.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User Eggi on de.wikipedia

Bild:XN oak acorn 400.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:XN_oak_acorn_400.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:XN

Bild:Quercus robur JPG (a).jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Quercus_robur_JPG_(a).jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: user: Jean-Pol GRANDMONT

Bild:Quercus robur JPG (d2).jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Quercus_robur_JPG_(d2).jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: user: Jean-Pol GRANDMONT

Bild:Eiche_Buchberg.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Eiche_Buchberg.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Kuefi

Bild:Eiche sommer09.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Eiche_sommer09.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Mike aus dem Bayerwald

Datei:PA147109 cr.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PA147109_cr.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Benutzer:Frente

Datei:Hypericum perforatum i01.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hypericum_perforatum_i01.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Prof. Dr. Thomé, Otto Wilhelm

Datei:Hypericum-perforatum(Blatt).jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hypericum-perforatum(Blatt).jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Migas

Datei:Hypericum-perforatum-250605-1.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hypericum-perforatum-250605-1.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:NaturKamera

Datei:Pumping_the_insulation_in.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pumping_the_insulation_in.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.0 *Bearbeiter*: Jennifer Dickert from Dover, NH, USA

Bild:Einblas1.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Einblas1.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:Florian Gerlach (Nawaro)

Datei:Maispflanze.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Maispflanze.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:burgkirsch

Datei:Maisfeld-1.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Maisfeld-1.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Walter J. Pilsak, Waldsassen Original uploader was W.J.Pilsak at de.wikipedia

Bild:Silage tractors.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Silage_tractors.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Felagund

Datei:Wohlenberger Wiek.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wohlenberger_Wiek.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:chpagenkopf

Datei:Mineraloelsteuerentstehung.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mineraloelsteuerentstehung.png *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Cäsium137, Dickbauch, Morgenstund, Schlurcher, 1 anonyme Bearbeitungen

File:Offshore-windenergie-testfeld-cuxhaven.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Offshore-windenergie-testfeld-cuxhaven.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:NeukiJ

Datei:DESERTEC-Map_large.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:DESERTEC-Map_large.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: w:Trans-Mediterranean_Renewable_Energy_CooperationTREC

File:Parabolic trough solar thermal electric power plant 1.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Parabolic_trough_solar_thermal_electric_power_plant_1.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter*: Cdang, Kjkolb, 1 anonyme Bearbeitungen

Datei:Dedinghausen Solaranlage 02.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Dedinghausen_Solaranlage_02.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Achim Raschka

Bild:Triosephosphate_isomerase.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Triosephosphate_isomerase.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Original uploader was TimBarrel at en.wikipedia

Bild:Energiediagramm-Enzymreaktion.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Energiediagramm-Enzymreaktion.svg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:Matthias M.

Datei:Michaelis-Menten-Vereinfachung.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Michaelis-Menten-Vereinfachung.svg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: User:Matthias M.

Bild:Zwei Substrate.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Zwei_Substrate.png *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Original uploader was Phrood at de.wikipedia

Datei:Windpark.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Windpark.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: AnRo0002, Markus Schweiss, Philipp Hertzog, Ronaldino, Saperaud, Teratornis, Tetris L

Datei:Solaranlage IMG 0533.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Solaranlage_IMG_0533.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter*: User:Eclipse.sx

Datei:Elephant butte dike.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Elephant_butte_dike.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Unknown

Datei:Aufgerichtetesholz.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Aufgerichtetesholz.jpg *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Topfklao (Christoph Neumüller) at de.wikipedia

Datei:Fullneed.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fullneed.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: 36ophiuchi, Benderson2, Deadstar, 天然ガス, 4 anonyme Bearbeitungen

Datei:DESERTEC-Map large.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:DESERTEC-Map_large.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: w:Trans-Mediterranean_Renewable_Energy_CooperationTREC

Datei:Primaerenergieverbrauch Deutschland.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Primaerenergieverbrauch_Deutschland.png *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: Alexander Z., Kam Solusar, Splette, 2 anonyme Bearbeitungen

Datei:Stromerzeugung erneuerbare Energien1990-2007.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Stromerzeugung_erneuerbare_Energien1990-2007.png *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: User:Splette

Datei:StromerzeugungStruktur der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 2008.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:StromerzeugungStruktur_der_Stromerzeugung_aus_erneuerbaren_Energien_2008.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:GrummelMC

Datei:Österreich-Energiezusammensetzung.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Österreich-Energiezusammensetzung.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Gissi

Datei:Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Österreich.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Stromerzeugung_aus_erneuerbaren_Energien_in_Österreich.png *Lizenz*: unbekannt *Bearbeiter*: User:spitzl

Datei:Tagesgang.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Tagesgang.png *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Anynobody, HenkvD, Markus Schweiss, WikipediaMaster

Datei:Lwk-teufelsbruck.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lwk-teufelsbruck.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: mrtz

Datei:Neuhaus Oste Biogasanlage 06 (RaBoe).jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Neuhaus_Oste_Biogasanlage_06_(RaBoe).jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: Ra Boe

Datei:Föderbohrung und Reinjektionsboherung Geothermiekraftwerk Landau.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Föderbohrung_und_Reinjektionsboherung_Geothermiekraftwerk_Landau.JPG *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: own work

Datei:Windpark-Wind-Farm.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Windpark-Wind-Farm.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: User:PhilipMay

Datei:Alpha ventus.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Alpha_ventus.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter*: DOTI/Matthias Ibeler

Datei:Kilver Juni 2009 028.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kilver_Juni_2009_028.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:TUBS

Datei:Esche gemeine Holz.JPG *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Esche_gemeine_Holz.JPG *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Das Ohr, Quadell, Skipjack

Datei:Essigsäure Keilstrich.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Essigsäure_Keilstrich.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:NEUROtiker

Datei:Hazard C.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hazard_C.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Augiasstallputzer, BLueFiSH.as, Bangin, Cäsium137, Herbythyme, MarianSigler, Matthias M., Pavel92, Phrood, W!B:, 11 anonyme Bearbeitungen

Datei:Essig-1.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Essig-1.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: Rainer Zenz, Wst

Datei:Monsanto-Prozess.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Monsanto-Prozess.png *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Eschenmoser

Datei:AceticAcid012.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:AceticAcid012.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Walkerma

Datei:Acetic acid cyclic dimer.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Acetic_acid_cyclic_dimer.png *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Aushulz, Cacycle, KlaudiuMihaila, Sergey kudryavtsev

Datei:Essigsäure Protolyse Mesomerie.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Essigsäure_Protolyse_Mesomerie.svg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:NEUROtiker

Datei:AdhesivesForHouseUse002.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:AdhesivesForHouseUse002.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: User:Babi Hijau

Datei:ETBE Structural Formulae.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:ETBE_Structural_Formulae.png *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Jürgen Martens. Original uploader was Jü at de.wikipedia

Bild:ETBE-Synthese (Reaktionsgleichung).png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:ETBE-Synthese_(Reaktionsgleichung).png *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Jürgen Martens. Original uploader was Jü at de.wikipedia. Later version(s) were uploaded by NEUROtiker at de.wikipedia.

Datei:Alkoholika.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Alkoholika.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Cholo Aleman, Maksim

Datei:Scotch Whisky (aka).jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Scotch_Whisky_(aka).jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: user:Aka

Datei:Ethanol fermentation de.svg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ethanol_fermentation_de.svg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: user:norro

Datei:Spiritusflamme mit spektrum.png *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Spiritusflamme_mit_spektrum.png *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Aiyizo, Mattes, Melancholie, Onno, Photohound, Samulili

Datei:Alkotester Dräger 7310.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Alkotester_Dräger_7310.jpg *Lizenz*: GNU Free Documentation License *Bearbeiter*: Benutzer:Stahlkocher. Original uploader was Stahlkocher at de.wikipedia. Later version(s) were uploaded by RoB at de.wikipedia.

Bild:Extruder with sheet die.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Extruder_with_sheet_die.jpg *Lizenz*: Public Domain *Bearbeiter*: Original uploader was Mikeeg555 at en.wikipedia

Bild:- Flexible hose -.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:-_Flexible_hose_-.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter*: User:Nino Barbieri

Datei:Profilblock.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Profilblock.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: User:elya

Datei:Peanuts maize chips 2.jpg *Quelle*: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Peanuts_maize_chips_2.jpg *Lizenz*: Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter*: Ondřej Langr

Lizenz

Wichtiger Hinweis zu den Lizenzen

Die nachfolgenden Lizenzen bezieht sich auf den Artikeltext. Im Artikel gezeigte Bilder und Grafiken können unter einer anderen Lizenz stehen sowie von Autoren erstellt worden sein, die nicht in der Autorenliste erscheinen. Durch eine noch vorhandene technische Einschränkung werden die Lizenzinformationen für Bilder und Grafiken daher nicht angezeigt. An der Behebung dieser Einschränkung wird gearbeitet.
Das PDF ist daher nur für den privaten Gebrauch bestimmt. Eine Weiterverbreitung kann eine Urheberrechtsverletzung bedeuten.

Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported - Deed

Diese "Commons Deed" ist lediglich eine vereinfachte Zusammenfassung des rechtsverbindlichen Lizenzvertrages (http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen_Commons_Attribution-ShareAlike_3.0_Unported) in allgemeinverständlicher Sprache.
Sie dürfen:

- das Werk bzw. den Inhalt **vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen**
- **Abwandlungen und Bearbeitungen** des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen

Zu den folgenden Bedingungen:

- **Namensnennung —** Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.
- **Weitergabe unter gleichen Bedingungen —** Wenn Sie das lizenzierte Werk bzw. den lizenzierten Inhalt bearbeiten, abwandeln oder in anderer Weise erkennbar als Grundlage für eigenes Schaffen verwenden, dürfen Sie die daraufhin neu entstandenen Werke bzw. Inhalte nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch, vergleichbar oder kompatibel sind.

Wobei gilt:

- **Verzichtserklärung —** Jede der vorgenannten Bedingungen kann aufgehoben werden, sofern Sie die ausdrückliche Einwilligung des Rechteinhabers dazu erhalten.
- **Sonstige Rechte —** Die Lizenz hat keinerlei Einfluss auf die folgenden Rechte:
  - Die gesetzlichen Schranken des Urheberrechts und sonstigen Befugnisse zur privaten Nutzung;
  - Das Urheberpersönlichkeitsrecht des Rechteinhabers;
  - Rechte anderer Personen, entweder am Lizenzgegenstand selber oder bezüglich seiner Verwendung, zum Beispiel Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen.
- **Hinweis —** Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen alle Lizenzbedingungen mitteilen, die für dieses Werk gelten. Am einfachsten ist es, an entsprechender Stelle einen Link auf http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de einzubinden.

Haftungsbeschränkung
Die „Commons Deed" ist kein Lizenzvertrag. Sie ist lediglich ein Referenztext, der den zugrundeliegenden Lizenzvertrag übersichtlich und in allgemeinverständlicher Sprache aber auch stark vereinfacht wiedergibt. Die Deed selbst entfaltet keine juristische Wirkung und erscheint im eigentlichen Lizenzvertrag nicht.

GNU Free Documentation License

Version 1.2, November 2002

> Copyright (C) 2000,2001,2002 Free Software Foundation, Inc.
>
> 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA
>
> Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies
>
> of this license document, but changing it is not allowed.

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondarily, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.
This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.
We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.
A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.
A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.
The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.
The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.
A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".
Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.
The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.
A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.
The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties: any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.
You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.
If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.
If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.
It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- **A.** Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- **B.** List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- **C.** State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- **D.** Preserve all the copyright notices of the Document.
- **E.** Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- **F.** Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- **G.** Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- **H.** Include an unaltered copy of this License.
- **I.** Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
- **J.** Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- **K.** For any section Entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- **L.** Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- **M.** Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- **N.** Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- **O.** Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.
You may add a section Entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties--for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.
You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.
The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.
The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled "History" in the various original documents, forming one section Entitled "History"; likewise combine any sections Entitled "Acknowledgements", and any sections Entitled "Dedications". You must delete all sections Entitled "Endorsements".

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.
You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.
If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.
If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See http://www.gnu.org/copyleft/.
Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

> Copyright (c) YEAR YOUR NAME.
>
> Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document
>
> under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2
>
> or any later version published by the Free Software Foundation;
>
> with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.
>
> A copy of the license is included in the section entitled
>
> "GNU Free Documentation License".

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with...Texts." line with this:

> with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the
>
> Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.
If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.