

# Nachwachsende Rohstoffe in der Wikipedia

L - R

# Inhalt

## Artikel

Einführung	<b>1</b>
Vorwort	1
<b>- L -</b>	<b>2</b>
Langfaser	2
Längsfaser	3
Lärchen	4
Lärchenholz	7
Laubholz	10
Laurinöl	12
Lecithine	13
Leder	23
Leim	38
Leindotter	39
Leindotteröl	42
Leinöl	44
Leinölfirnis	50
Lignin	52
Lignocellulose	65
Linden (Botanik)	68
Lindenholz	74
Linoleum	76
Linolsäure	95
Liste der Holzarten	98
Liste der Kunststoffe	102
Lyocell	109
<b>- M -</b>	<b>111</b>
Mais	111
Maissilage	119
Maisstroh	121
Maniok	122
Matratze	128

Melasse	142
Methanbildung	143
Methylcellulose	146
Milchsäure	150
Mindergetreide	155
Miscanthus	156
Mitteldichte Holzfaserplatte	158
Mohrenhirse	161
Molke	166
Mulchfolie	168
<b>- N -</b>	<b>170</b>
Nachwachsender Rohstoff	170
Nadelholz	182
Nahwärme	183
Naturbaustoff	184
Naturdämmstoff	188
Naturfarbe (Anstrichmittel)	192
Naturfaser	194
Naturfaser-Spritzguss	199
Naturfaserverstärkter Kunststoff	201
Naturkautschuk	205
Naturkosmetik	212
Nawaro-Bonus	214
Nichtholzprodukt	216
Niembaum	218
Nutzhanf	223
Nutzpflanze	232
<b>- O -</b>	<b>244</b>
Ökologisches Bauen	244
Oleochemie	246
Ölertrag	250
Ölmühle	250
Ölpalme	253
Ölpresse	261
Ölsaart	263
Ölsäure	264

Ölschrot	267
<b>- P -</b>	<b>268</b>
Palmöl	268
Papier	275
Papierstärke	300
Pappelholz	301
Pappeln	305
Pellet	315
Pelletheizung	318
Pflanzenölbrenner	327
Pflanzenöl-Kraftstoff	329
Pflanzenöle	342
Pflanzenölkocher	346
Pflanzenzüchtung	348
Phytopharmakon	352
Plastiktüte	353
Polyethylen	359
Polyhydroxyalkanoate	365
Polyhydroxybuttersäure	368
Poly lactide	371
Polyole	377
Polyurethane	378
Presskuchen	385
Purgiernuss	387
Pyrolyse	393
Pyrolysegas	399
Pyrolyseöl	401
<b>- R -</b>	<b>404</b>
Raffination	404
Ramie	407
Ramiefaser	411
Raps	413
Rapsasphalt	423
Rapsextraktionsschrot	425
Rapskuchen	427
Rapsmethylester	429

Rapsöl	431
Rapsstroh	437
Raufen	438
Reet	438
Regeneratfaser	443
Reinbiokraftstoff	445
Reinigungsmittel	445
Restholz	448
Riesen-Chinaschilf	449
Rinde	455
Rizinusöl	457
Roggen	464
Rohstoff	472
Rohstoffwende	476
Röste	477
Rotbuche	479
Rundholz	491

## Referenzen

Quellen und Bearbeiter der Artikel	494
Quellen, Lizenzen und Autoren der Bilder	500

## Artikellizenzen

Lizenz	509
--------	-----

---

# 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 aktuellen 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](mailto:achim.raschka@nova-institut.de)  
Projektseite: [www.nova-institut.de/wikipedia](http://www.nova-institut.de/wikipedia)

---

---

# - L -

---

## Langfaser

---

Als **Langfasern** werden Naturfasern bezeichnet, die eine Länge von über 100 mm haben. Sie stellen das Zielprodukt des traditionellen Faseraufschlusses dar und sind im Vergleich zur Herstellung von Kurzfasern, bei denen die vollständigen Fasern genutzt werden (Gesamtlinie), aufwendiger zu gewinnen und zu verarbeiten. Sie werden vor allem in der Textilproduktion verwendet. Als Nebenprodukte fallen Schäben aus dem gebrochenen Holzkern sowie Werg und Superkurzfasern bzw. Staub an.

### Faseraufschluss von Hanf und Flachs

Der Langfaseraufschluss beim Hanf und Flachs kann zur Gewinnung von Lang- oder Kurzfasern erfolgen. Das Hanf- und Flachsstroh wird nach der Ernte parallel ausgelegt (Längsfaser) und getrocknet. Der Trocknung folgt eine Wasserröste und eine erneute Trocknung auf dem Feld. Das immer noch parallel liegende Stroh wird anschließend gebrochen und über das Schwingen und Hecheln des Strohs werden die Langfasern gewonnen.



Hanfstängel mit Fasern und holzigen Innenbereich

### Nutzung

Langfasern werden vor allem für Bekleidungs-Textilien sowie zur Produktion anderer großflächiger Stoffe, Tauen und Seilen verwendet.

Die Produktion von Hanf- und Flachs-Langfasern erfolgt aktuell vor allem in Asien, da sie aufgrund ihrer hohen Kosten, der geringen Ausbeuten und der ökologischen Probleme durch Abwässer bei der Wasserröste in Europa nicht kostendeckend durchgeführt werden kann.

### Literatur

- Michael Carus et al.: *Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU)*. Gülzower Fachgespräche 26, hrsg. von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow 2008 Download <sup>[1]</sup>
- nova-Institut (Hrsg.): *Das kleine Hanf-Lexikon*. Verlag Die Werkstatt, Göttingen, 2. Auflage, 2003; Seite 65. ISBN 3-89533-271-2

### Referenzen

[1] [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_315gf\\_band\\_26\\_komplet\\_100.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_315gf_band_26_komplet_100.pdf)

---

# Längsfaser

---

Als **Längfasern** werden in der Naturfaserindustrie Faserkollektive benannt, bei denen die Fasern vorzugsweise in einer Richtung orientiert sind. Längfasern werden den Wirrfasern gegenübergestellt, deren Einzelfasern oder Faserbündel keine bevorzugte Ausrichtung haben.<sup>[1]</sup>

Längfasern, beispielsweise Längsfaserhanf und Längsfaserflachs, spielen vor allem beim Faseraufschluss von Langfasern eine Rolle. Hierzu zählen vor allem die Aufschlüsse für Verwendungen in der Textilverarbeitung, etwa in der Bekleidungsindustrie und bei der Herstellung anderer Textilien.

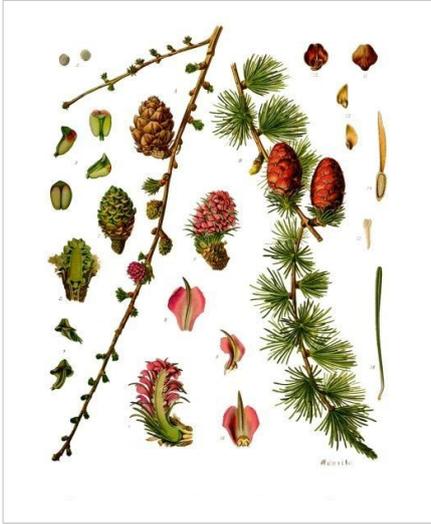
## Literatur

- Michael Carus et al.: *Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU)*. Gülzower Fachgespräche 26, hrsg. von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow 2008 Download <sup>[1]</sup>

## Referenzen

[1] Definitionen nach Jörg Müssig und Michael Carus: *Faseraufschluss von Flachs und Hanf*. In: Carus et al. 2008; Seite 104.

# Lärchen

Lärchen	
	
Europäische Lärche ( <i>Larix decidua</i> ), Illustration.	
Systematik	
<i>Abteilung:</i>	Pinophyta
<i>Klasse:</i>	Pinopsida
<i>Ordnung:</i>	Kiefernartige (Pinales)
<i>Familie:</i>	Kieferngewächse (Pinaceae)
<i>Unterfamilie:</i>	Laricoideae
<i>Gattung:</i>	Lärchen
Wissenschaftlicher Name	
	<i>Larix</i>
	Mill.

Die **Lärchen** (*Larix*) (veraltet auch „Lerchen“) bilden eine Pflanzengattung in der Familie der Kieferngewächse (Pinaceae). Sie wachsen häufig in den nördlichen Urwäldern und in Wirtschaftswäldern.

## Beschreibung

Alle Lärchen-Arten sind sommergrüne Bäume, werfen also im Spätherbst ihre nadelförmigen Blätter ab. Damit sind sie eine der zwei nicht immergrünen Gattungen innerhalb der Kieferngewächse (Pinaceae). Die andere Gattung ist die der Goldlärchen (*Pseudolarix*), welche nicht zu den Lärchen gehören. An



Europäische Lärche (*Larix decidua*).

einem Kurztrieb befinden

sich 10 bis 60 Nadelblätter oder die Nadelblätter befinden sich einzeln an einjährigen Langtrieben. Die Borke ist an jungen Bäumen silber-grau bis grau-braun; sie wird später rötlich braun bis braun.

Die Europäische Lärche (*Larix decidua*) erreicht Wuchshöhen von etwa 40 Meter. Der größte Baum der Gattung ist eine Westamerikanische Lärche (*Larix occidentalis*), der „Seeley Lake Giant“ im Lolo National Forest in Montana, mit einer Wuchshöhe von 49,4 Meter, einem Stammdurchmesser (dbh) von 2,21 Meter und 83 m<sup>3</sup> [1].

Larix-Arten sind einhäusig getrenntgeschlechtlich (monözisch). Die einzeln stehenden männlichen Zapfen sind eiförmig bis zylindrisch, gelblich und meist kleiner als 1 cm. Die weiblichen Zapfen sind anfangs grün, rot oder purpurfarben. Sie benötigen von der Befruchtung bis zur Reife vier bis sieben Monate, bleiben aber auch nach dem Ausstreuen der Samen noch mehrere Jahre am Baum. Die eiförmigen bis kugeligen Zapfen stehen aufrecht endständig an Kurztrieben oder an einem kurzen, gebogenen, beblätterten Stiel am Zweig. Bei Reife sind sie hell bis dunkel braun. Die Samenschuppen sind meist etwas breiter als lang. Die Deckschuppen sind glatt und dünn. Die kleinen Samen sind weißlich und 4 bis 6 mm groß mit 6 bis 9 mm großen Flügeln.

Die Sämlinge besitzen vier bis acht Keimblätter (Kotyledonen).

## Systematik

Je nach Autor werden zwischen 10 und 20 *Larix*-Arten unterschieden. Dabei gibt es insbesondere unterschiedliche Auffassungen über viele oft unter *Larix gmelinii* aufgeführten Unterarten.

Früher wurde häufig die Deckschuppenlänge der Zapfen herangezogen, um die Gattung der Lärchen in zwei Sektionen (Sektion *Larix* mit kurzen, Sektion *Multiserialis* mit langen Deckschuppen) einzuteilen. Neuere genetische Analysen (siehe [2]) belegen dies allerdings nicht. Vielmehr weisen diese auf eine genetische Trennung zwischen den eurasischen und den amerikanischen Arten hin; demnach ist die Größe von Zapfen und Deckschuppen nur als eine Anpassung an klimatische Umweltbedingungen anzusehen.

In Eurasien

- Europäische Lärche (*Larix decidua* Mill.)
- Dahurische Lärche (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.):
  - *Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen. var. *gmelinii*
  - *Larix gmelinii* var. *japonica* (Regel) Pilger
  - *Larix gmelinii* var. *principis-rupprechtii* (Mayr) Pilger
  - *Larix gmelinii* var. *olgensis* (Henry) Ostenfeld & Syrach Larsen (Syn.: *Larix olgensis* Henry)
- Sikkim-Lärche (*Larix griffithiana* Hook. f.)
- Himalaya-Lärche (*Larix himalaica* W.C.Cheng & L.K.Fu)
- Japanische Lärche (*Larix kaempferi* (Lambert) Carrière)
- *Larix kongboensis*: Heimisch in China an Felshängen in Höhenlagen von 3200 bis 3500 Meter, im südöstlichen Teil der Provinz Xizang.
- *Larix mastersinia* Rehder & E.H.Wilson in Sargent: Heimisch in China im Gebirge in Höhenlagen von 2300 bis 3500 Meter in der Provinz Sichuan.



Lärchen-Mischwald im Herbst



Zwei männliche und ein weiblicher Zapfen während der Blütezeit.

- *Larix potaninii* Batalin: Heimisch in China im Gebirge und in Flusstälern, in Höhenlagen von 2500 bis 4300 (bis 4600) Meter, in den Provinzen: im südlichen Teil von Gansu, im südlichen Teil von Shaanxi, in Sichuan, im südöstlichen Teil von Xizang, im nördlichen Teil von Yunnan: Mit drei Varietäten:
  - *Larix potaninii* var. *australis* A.Henry ex Hand.-Mazz. (Syn.: *Larix potaninii* var. *macrocarpa* Y.W.Law)
  - Chinesische Lärche (*Larix potaninii* var. *chinensis* L.K.Fu & Nan Li, Syn.: *Larix chinensis* Beissner, not Miller: Im Gegensatz zu *Larix potaninii* var. *potaninii* hat sie gelbe Langtriebe und rote, spitz zulaufende Deckschuppen. Sie kommt nur im südlichen Teil von Shaanxi vor.
  - *Larix potaninii* Batalin var. *potaninii*
- Sibirische Lärche (*Larix sibirica* Ledeb.)
- *Larix speciosa*: Heimisch in China im Gebirge in Höhenlagen von 2600 bis 4000 Meter in den Provinzen: im südöstlichen Xizang und im nordwestlichen Yunnan.
- Ostamerikanische Lärche (*Larix laricina* (DuRoi) K.Koch)
- Felseingebirgslärche (*Larix lyallii* Parlatores)
- Westamerikanische Lärche (*Larix occidentalis* Nutt.)

## Nutzung

→ Hauptartikel: Lärchenholz

Lärchenholz wird vor allem als Bau- und Möbelholz genutzt, viel seltener dient es als Brennholz. Von wirtschaftlichem Interesse sind dabei vor allem die Europäischen Lärche, die Sibirische Lärche in Eurasien sowie in Nordamerika die Ostamerikanische und die Westamerikanische Lärche. Hinzu kommen mit geringerer bzw. regionaler Bedeutung weitere Arten, darunter die von der japanischen Insel Honshū stammende Japanische Lärche, die teilweise auch in Europa angebaut wird, sowie die aus der Europäischen und Japanischen Lärche gezüchtete Hybridlärche (*Larix eurolepis*).

Lärchenholz stellt unter den europäischen Nadelnutzhölzern das schwerste und härteste Holz dar und wird nur von der selten genutzten Eibe übertroffen. Es wird vor allem als Bauholz für Dachtragwerke, Wand- und Deckenkonstruktionen, im Innenausbau für nahezu alle Holzverwendungen genutzt, darunter Treppen, Geländer, Wandverkleidungen, Türen, Parkett- und Dielenböden sowie im Außenbereich für Haustüren, Garagentore, Fenster, Fassadenverkleidungen, Rahmen und Brüstungen sowie für großflächige Verkleidungen verwendet. Hinzu kommen viele Sonderverwendungen aufgrund der besonderen Eigenschaften des Lärchenholzes im Erd-, Wasser- und Brückenbau, im Bootsbau und für zahlreiche weitere Anwendungen.<sup>[3]</sup>

Die energetische Nutzung von Lärchenholz spielt eine vergleichsweise geringe Rolle. Lärchenholz hat einen Brennwert von 4,4 KWh/Kg bzw 1.700 KWh/rm und ist damit vergleichbar mit Kiefern- und Douglasienholz. Es wird, wie die meisten Holzarten, vor allem im privaten Hausbrand in Form von Scheitholz verwendet. Als Holzpellets werden Industrieabfälle (Holzspäne) u.a. auch aus der Lärchenholzproduktion in Form von Mischpellets angeboten.



Europäische Lärche (*Larix decidua*) nach der Holzwerbung im Wald.

## Quellen

- Michael P. Frankis: *Generic Inter-Relationships in Pinaceae*, in Notes Royal Botanical Garden Edinburgh, 1988, 45(3): 527-548. Online - Systematik und genaue Beschreibung mit Detailskizzen der Pflanzenteile der Gattungen. <sup>[4]</sup> (engl.)
- Christopher J. Earle: Informationen zur Gattung *Larix* bei The Gymnosperm Database, 2007. <sup>[5]</sup> (engl.)

## Weblinks

- D. S. Gernandt & A. Liston: *Internal transcribed spacer region evolution in Larix and Pseudotsgua (Pinaceae)*, in *Amer. J. Bot.* 86, 1999, pp. 711-723. <sup>[6]</sup> (engl.; PDF-Datei; 172 kB)

## Referenzen

- [1] Christopher J. Earle: Informationen zur Gattung *Larix* bei The Gymnosperm Database, 2007. (<http://www.conifers.org/pi/la/index.htm>) (engl.)
- [2] Gernandt & Liston 1999 (<http://www.amjbot.org/cgi/reprint/86/5/711.pdf>)
- [3] D. Grosser, W. Teetz: *Lärche*. In: *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung)*. Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond - Absatzförderungsfonds 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>).
- [4] <http://www.pinetum.org/noteRBGE.htm>
- [5] <http://www.conifers.org/pi/la/index.htm>
- [6] <http://www.amjbot.org/cgi/reprint/86/5/711.pdf>

# Lärchenholz

Lärchenholz	
	
Baumarten	Europäische Lärche
Herkunft	Eurasien, Nordamerika
Farbe	rötlich braun bis rotbraun
Materialeigenschaften	
Rohdichte Mittelwert	Europäische Lärche 550-590 kg/m <sup>3</sup>
Rohdichte Grenzwerte	Europäische Lärche 400–850 kg/m <sup>3</sup>

Axiales Schwindmaß	0,3 %
Radiales Schwindmaß	3,3 %
Tangenciales Schwindmaß	7,8 %
Biegefestigkeit	93 N/mm <sup>2</sup>
Druckfestigkeit	48 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit	105 N/mm <sup>2</sup>
Wärmeleitfähigkeit	0,13 W/Km
<b>Brennstoffeigenschaften</b>	
Brennwert	4,4 KW/hKg

Als **Lärchenholz** wird das Holz verschiedener Arten der Lärchen (Gattung *Larix*) bezeichnet, die als Nutzhölzer verwendet werden. Die Lärchen sind eine Gattung von sommergrüner Nadelbäume und Sträuchern, die in bis zu 20 Arten im nördlichen Eurasien und in Nordamerika verbreitet sind.

Lärchenholz wird vor allem als Bau- und Möbelholz genutzt, viel seltener dient es als Brennholz. Von wirtschaftlichem Interesse sind dabei vor allem die Europäischen Lärche (*Larix decidua*), die Sibirische Lärche (*Larix sibirica*) in Eurasien sowie in Nordamerika die Ostamerikanische (*Larix laricina*) und die Westamerikanische Lärche (*Larix occidentalis*). Hinzu kommen mit geringerer bzw. regionaler Bedeutung weitere Arten, darunter die von der japanischen Insel Honshū stammende Japanische Lärche (*Larix kaempferi*), die teilweise auch in Europa angebaut wird, sowie die aus der Europäischen und Japanischen Lärche gezüchtete Hybridlärche (*Larix eurolepis*).

Das Nutzungsalter der Europäischen Lärche beträgt zwischen 100 und 140 Jahre, wobei die Bäume in Hochlagen ungenutzt zwischen 200 und 400 Jahre alt werden.

## Bezeichnungen

Das Holz der Europäischen Lärche kann entsprechend seiner Herkunft und der Witterungsbedingungen seines Standorts stark unterschiedlich sein. Unterschieden wird bei den Holztypen vor allem in *Stein-* bzw. *Gebirgslärchen*, die aus Gebirgslagen stammen und ein gleichmäßiges und schmalringiges Holz aufweisen, und den *Rasen-* oder *Wiesendlärchen* aus Tieflagen mit einer breitringigen, schwammigen Struktur. Als *Tiefländlärchen* werden zudem häufig alle Lärchen bezeichnet, die außerhalb der Alpen künstlich angebaut werden. Hinzu kommen Bezeichnungen wie *Alpenlärche*, *Tatralärche*, *Sudetenlärche* und *Polenlärche*, die sich direkt auf die vier ursprünglichen Verbreitungsgebiete der Europäischen Lärche beziehen.

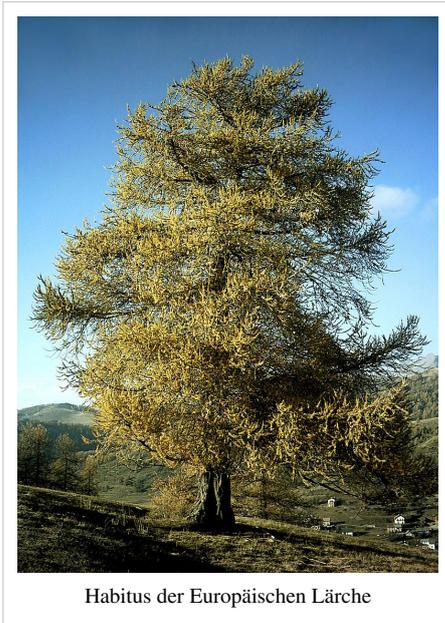
Lärchen mit sehr ausgeprägter Rotfärbung des Holzes werden zudem als *Joch-* oder *Blutlärchen* bezeichnet

## Eigenschaften

Die Lärche besitzt, ähnlich wie die Kiefer und die Douglasie einen ausgeprägten Unterschied zwischen Kernholzbereich und Splintholz. Letzteres ist hellgelb bis rötlich, das Kernholz deutlich dunkler leuchtend rot bis rotbraun. Zur Nutzung die der Stamm ausgekernt, das bedeutet, dass das Kernholz vom Splintholz getrennt wird; das Splintholz ist zum Nutzungszeitpunkt nur wenige Zentimeter dick und wird nicht als Bauholz genutzt.

Als Besonderheit besitzt das Kernholz zahlreiche bleistiftstarke und dunkle Äste, die früh angelegt und dann als trockene *Nageläste* in das Holz eingewachsen sind. Das helle Frühholz ist in den Jahresringen scharf und abrupt gegen das dunklere Spätholz abgesetzt. Der dichtere und schwere Spätholzanteil beträgt bei einem ein bis zwei Millimeter breitem Jahresring zwischen 1/3 und 1/4 der Jahresringbreite. Durch die scharfe Trennung sind entsprechend auch die einzelnen Jahresringe scharf gegeneinander abgegrenzt und bilden im Tangentialschnitt eine markante Fladerung und im Radialschnitt eine Streifung des Holzes. Die Harzkanäle sind als kleine helle Punkte

erkennbar und die Holzstrahlen sind sehr fein und kaum sichtbar.



Habitus der Europäischen Lärche



Stammquerschnitt der Europäischen Lärche

Lärchenholz stellt unter den europäischen Nadelnutzhölzern das schwerste und härteste Holz dar und wird nur von der selten genutzten Eibe übertroffen. Es hat eine mittlere Rohdichte von  $550\text{-}590\text{ kg/m}^3$  (abhängig von der Feuchte), wobei das schwerste Holz aufgrund des hohen Spätholzanteils bei Hölzern mit einer durchschnittlichen Jahrringbreite von einem bis zwei Millimeter erreicht wird. Entsprechend besitzt Lärchenholz im Vergleich zu anderen Nadelholzsorten sehr gute Festigkeitswerte, zugleich eine hohe Zähigkeit und ein geringes Quell- und Schwindverhalten. Andererseits neigt die Lärche im Vergleich zur Fichte und zur Kiefer allerdings häufig zu einem Drehwuchs, wodurch die Standeigenschaften beeinflusst werden. Das Kernholz ist zudem witterungsbeständig und vor allem unter Wasser in seiner Dauerhaftigkeit mit Eichenholz vergleichbar.

## Verwendung

### Stoffliche Nutzung

Lärchenholz wird vor allem im Möbelbau sowie als Bauholz im Innenausbau sowie im Außenbereich für Wohnbauten, Brücken und andere Gebäude verwendet. Es wird in Form von Rundholz, Schnittholz und auch als Messerfurnier angeboten und verarbeitet. Aufgrund seiner Eigenschaften kann es in fast allen Bereichen als Bau- und Möbelholz, in denen auch andere Nadelhölzer zum Einsatz kommen, sowie in zahlreichen Sondernutzungen verwendet werden.

Im Hausbau wird Lärchenkernholz unter anderem für Dachtragwerke, Wand- und Deckenkonstruktionen eingesetzt, zudem im Außenbereich für Haustüren, Garagentore, Fenster, Fassadenverkleidungen, Rahmen und Brüstungen sowie für großflächige Verkleidungen von Wänden, Giebeln, Balkonen oder Überständen. Auch als Dachschindeln wird Lärchenholz regional gern eingesetzt. Im Innenausbau wird das Splintholz aufgrund des dekorativen Kontrastes gemeinsam mit dem Kernholz für nahezu alle Holzverwendungen genutzt, darunter Treppen, Geländer, Wandverkleidungen, Türen, Parkett- und Dielenböden. Im Möbelbau kommt es als Furnier- und Vollholz zum Einsatz, vor allem für Küchenmöbel, Bauernmöbel und Möbel in alpenländischen Stil. Vor allem in den letzten Jahren wird es vermehrt im Innen- und Außenbau als Ersatz für Tropenhölzer eingesetzt.

Aufgrund seiner Beständigkeit gegen Witterung, Chemikalien und anderen Einflüssen kann es allerdings auch bei zahlreichen Außen- und Sonderanwendungen im Erd-, Brücken- und Wasserbau verwendet werden. Dabei wird es zudem für Lagerbehälter für Flüssigkeiten (Bottiche, Fässer), Kühltürme und Siloanlagen verwendet. Ein

historisches Sondereinsatzgebiet waren vor allem die Hauptbalken von Mühlenflügeln, für die das Holz aufgrund der Zähigkeit besonders geeignet war. Hinzu kommen Rammpfähle, Masten, Eisenbahnschwellen sowie Nutzungen im Eisenbahn-, Schiffs- und Bootsbau, Holzspielgeräte auf Spielplätzen, Bodenbeläge (Deckings, Holzpflaster), Zäune und Palisaden und viele weitere Anwendungen, in denen das Holz ohne Imprägnierung eingesetzt werden kann. Im Bergbau wird es zudem als Schachtholz und für Spurlatten eingesetzt, außerdem können Drechselwaren und Haushaltsgegenstände aus Lärchenholz gefertigt werden.

### Energetische Nutzung

Die energetische Nutzung von Lärchenholz spielt eine vergleichsweise geringe Rolle. Lärchenholz hat einen Brennwert von 4,4 KWh/Kg bzw. 1.700 KWh/rm und ist damit vergleichbar mit Kiefern- und Douglasienholz. Es wird, wie die meisten Holzarten, vor allem im privaten Hausbrand in Form von Scheitholz verwendet. Als Holzpellets werden Industrieabfälle (Holzspäne) u.a. auch aus der Lärchenholzproduktion in Form von Mischpellets angeboten.

### Literatur

- D. Grosser, W. Teetz: *Lärche*. In: *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung)*. Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond - Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn 1998, ISSN 0446-2114 [1].

### Referenzen

[1] <http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=0446-2114>

## Laubholz

Als **Laubholz** wird das Holz von Laubbäumen bezeichnet. Auch Laubbäume an sich werden gelegentlich als Laubholz bzw. Laubhölzer oder Laubgehölze bezeichnet.

Unterschieden wird zwischen Nadelholz, dem Holz von Nadelbäumen (Koniferen), die zu den Nacktsamern (Gymnospermae) gehören, und Laubholz, dem Holz der Laubbäume, die sämtlich der Klasse der Bedecktsamer (Angiospermae) angehören. Grund für diese Differenzierung ist zum einen diese unterschiedliche systematische Zuordnung der Baumarten zu verschiedenen Gruppen der Samenpflanzen. Zum anderen unterscheiden sich die beiden Klassen von Holzarten bedeutend in Zusammensetzung, Aufbau und Eigenschaften.<sup>[1]</sup>



Eichenholz (*Quercus robur*), mit Porenreihen (Querschnitt)

### Zusammensetzung und Aufbau

Zusammensetzung der Zellwand bei mitteleuropäischen Laub- und Nadelhölzern <sup>[2]</sup>		
Substanz	Nadelholz	Laubholz
Zellulose	42–49 %	42–51 %
Hemicellulose	24–30 %	27–40 %
Lignin	25–30 %	18–24 %
Extraktstoffe	2–9 %	1–10 %
Mineralien	0,2–0,8 %	

(siehe Hauptartikel Holz)

Die chemische Zusammensetzung von Laubholz ähnelt der von Nadelholz (siehe Tabelle). Den größten Anteil macht Cellulose mit 42 - 51 % aus, während Hemicellulose 27 - 40 % und Lignin 18 - 24 % ausmachen. Der Aufbau von Laubholz dagegen ist deutlich komplexer als der von Nadelholz. Es finden sich weiterlumige Gefäße für den Wasser- und Nährstofftransport von der Wurzel zur Krone, die Tracheen, während Nadelhölzer die engerlumigen Tracheiden besitzen. Die Wände dieser abgestorbenen Zellen übernehmen zudem wesentliche Festigungsfunktionen für den Baum. Laubholz besitzt mit den Libriformfasern und Fasertracheiden zusätzliche Arten von Festigungsgewebe.<sup>[1] [3] [4]</sup>

## Verwendung und Bedeutung

(siehe auch Artikel Holz)

Laubholz kann, wie Nadelholz, als Baustoff (Bauholz, Holzwerkstoff, etc.), Möbelholz, Rohstoff zur Papierherstellung oder als Energieträger (Brennholz, Energieholz) eingesetzt werden. Nadelhölzer wie z. B. Fichten werden wegen ihres schnellen Wuchses jedoch bevorzugt angepflanzt. Zudem haben sie meist einen geraderen Wuchs und sind dadurch einfacher und mit weniger Verschnitt zu Schnittholz zu verarbeiten.

In 2007 bzw. 2008 betrug der Anteil des Laubholzes in Deutschland 17,1 % (13,1 Mio. m<sup>3</sup>) bzw. 22,7 % (12,6 Mio. m<sup>3</sup>) am Gesamtschlag (76,7 bzw. 55,4 Mio. m<sup>3</sup>).<sup>[5]</sup> Der Anteil von Laubwäldern an der deutschen Waldfläche dagegen beträgt rund 41 %.<sup>[6]</sup> Der Anteil von Buchen liegt bei 14,8 %, Eichen bei 9,6 % und andere Laubbäume bei 15,7 %.<sup>[7]</sup>

## Literatur

- Nultsch, Wilhelm: *Allgemeine Botanik*, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 1996, 10. Auflage

## Weblinks

- [www.holzwurm-page.de](http://www.holzwurm-page.de)<sup>[8]</sup>, Informationen zu und Vergleiche von Laub- und Nadelholz, Abbildungen von Holzchnitten und mikroskopischem Aufbau
- [www.forst.tu-muenchen.de](http://www.forst.tu-muenchen.de) *Wichtige Merkmale der Laubhölzer*<sup>[9]</sup>, Informationen zum mikroskopischen Aufbau von Laubhölzern und weitere Informationen zu Holz

## Siehe auch

- Liste der Holzarten

## Referenzen

- [1] Nultsch, Wilhelm: *Allgemeine Botanik*, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 1996, 10. Auflage
- [2] (nach Holz-Lexikon)
- [3] [www.holzwurm-page.de: Mikroskopischer Zellaufbau](http://www.holzwurm-page.de/holz/zellaufbau/zellaufbau.htm) (<http://www.holzwurm-page.de/holz/zellaufbau/zellaufbau.htm>), Informationen zum Aufbau von Laub- und Nadelholz, inklusive Abbildungen, abgerufen am 2. April 2010
- [4] [www.forst.tu-muenchen.de: Wichtige Merkmale der Laubhölzer](http://www.forst.tu-muenchen.de/EXT/LST/BOTAN/INSTITUT/LANG/HOLZ/holzbe4.htm) (<http://www.forst.tu-muenchen.de/EXT/LST/BOTAN/INSTITUT/LANG/HOLZ/holzbe4.htm>), Informationen inklusive Abbildungen zum mikroskopischen Aufbau von Holz, abgerufen am 2. April 2010
- [5] *Forstwirtschaft - Holzeinschlag* (<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/LandForstwirtschaft/Forstwirtschaft/Tabellen/Content75/HolzeinschlagDeutschland,templateId=renderPrint.psm1>), abgerufen am 2. April 2010
- [6] [www.treffpunktwald.de: Waldverteilung in Deutschland: Baumartenverteilung - eine ökologische Vielfalt](http://www.treffpunktwald.de/Waldverteilung_in_Deutschland:_Baumartenverteilung_-_eine_ökologische_Vielfalt) (<http://www.treffpunktwald.de/wald-online/wald-in-deutschland/baumarten/>), abgerufen am 2. April 2010
- [7] [www.bundeswaldinventur.de: Flächen - Laubbaumanteil steigt](http://www.bundeswaldinventur.de/enid/f24f9681192612764f31b7561ffdaf0f,dedd0a305f7472636964092d09323130/4f.html) (<http://www.bundeswaldinventur.de/enid/f24f9681192612764f31b7561ffdaf0f,dedd0a305f7472636964092d09323130/4f.html>), Zweite Bundeswaldinventur im Jahre 2002 (BW12), *Das wichtigste in Kürze*, abgerufen am 2. April 2010
- [8] <http://www.holzwurm-page.de/holz/zellaufbau/laubholz.htm>
- [9] <http://www.forst.tu-muenchen.de/EXT/LST/BOTAN/INSTITUT/LANG/HOLZ/holzbe4.htm>

# Laurinöl

---

Als **Laurinöle** bzw. laurische Öle werden zusammenfassend die Pflanzenöle Kokosöl und Palmkernöl bezeichnet. Die Zusammenfassung erfolgt aufgrund des hohen Anteils an Laurinsäure, die in beiden Ölen vorhanden ist.

Laurinöl zählt zu den wichtigsten pflanzlichen Ölen und wird sowohl in der Nahrungsmittelindustrie als auch zur Gewinnung von Bioenergie und als Einsatzstoff in der chemischen Industrie genutzt. 2004 verbrauchte die chemische Industrie in Deutschland rund 400.000 Tonnen Laurinöl, das ist ein Drittel des gesamten Verbrauchs der chemischen Industrie an tierischen und pflanzlichen Fetten und Ölen.<sup>[1]</sup> Die Eigenschaften der Laurinsäure stellen dabei die Basis dar für die Produktion von Shampoo, Rasierseife, Seife und anderen Detergentien.

Statt des Begriffs Laurinöl werden meist die einzelnen Pflanzenöle (Kokosöl, Palmkernöl) direkt genannt.

## Referenzen

- [1] Matthias von Armansperg: Ergebnisse der Marktanalyse: Chemisch-technische Nutzung von Nawaro. Präsentation auf dem Symposium "Nachwachsende Rohstoffe: Welche Märkte haben Zukunft?" am 2007-05-24 in Berlin. (Präsentation als pdf ([http://www.bmelv.de/nm\\_1021300/SharedDocs/downloads/081-NaWaRo/StudieZukunftsmaerkte/Armansperg,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Armansperg.pdf](http://www.bmelv.de/nm_1021300/SharedDocs/downloads/081-NaWaRo/StudieZukunftsmaerkte/Armansperg,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Armansperg.pdf)))

# Lecithine

---

**Lecithine** (deutsch: Lezithine, altgriechisch: λέκιθος = Eidotter) ist der klassische Name für eine Gruppe chemischer Verbindungen, die so genannten **Phosphatidylcholine**. Dabei handelt es sich um Lipide, genauer Phospholipide, die sich aus Fettsäuren, Glycerin, Phosphorsäure und Cholin zusammensetzen. Lecithine sind Bestandteile der Zellmembranen tierischer und pflanzlicher Lebewesen. Sie sind Begleitstoffe in Fetten und fetten Ölen und besonders reich in Eidottern und pflanzlichen Samenzellen vorhanden.

Lecithine erlauben das Emulgieren (Vermischen) von Fetten und Wasser und sind somit wichtige natürliche Tenside (Emulgatoren) für Nahrungs- und Futtermittel. Lecithine sind in der EU als Lebensmittelzusatzstoff (E 322) für Lebensmittel allgemein (auch „Bio“-Produkte) zugelassen mit Höchstmengenbeschränkung ausschließlich bei Säuglingsnahrung. Auf Zutatenlisten werden sie als *Lecithin*, *Sojalecithin* oder eben *E 322* aufgeführt. In der Medizin und in der Kosmetik werden sie auch als Wirkstoff, in der Diätetik als Nahrungsergänzungsmittel genutzt.

Technisch gewonnene Lecithin-Produkte, wie Extrakte aus Sojabohnen oder Eiern, enthalten in Abhängigkeit von ihren Quellen neben Lecithinen zum guten Teil auch andere Phospholipide sowie Sphingomyeline und Glycolipide. Auch diese Stoffgruppen haben ähnliche physikalische Eigenschaften und sind Emulgatoren. Der Anteil der polaren Lipide (unlöslich in Aceton) muss entsprechend einer EU-Richtlinie mindestens 60 % in Lecithin-Produkten betragen.

## Entdeckung und Erforschung

1811 berichtete der französische Apotheker Louis Nicolas Vauquelin erstmals von fetthaltigen Präparaten aus Hirnmasse, die organisch gebundenen Phosphor enthielten und die bereits 1719 vom Chemiker Hensing gefunden wurden.

Nicolas-Theodore Gobley isolierte 1846/1847 aus dem Eigelb eine klebrige, orangefarbene Substanz, in der Ölsäure, Margarinsäure, Glycerinphosphorsäure sowie eine stickstoffhaltige organische Base vorhanden waren. Vergleichbare Stoffe fand er 1847–1858 in Hirnmasse, Karpfeneiern, Blut, Galle und anderen Organen. 1850 gab er seiner Entdeckung den Namen Lecithin nach dem griechischen Wort *lekithos* (Eigelb).

Felix Hoppe-Seyler, Begründer der Biochemie und Molekularbiologie, fand 1867 organisch gebundenen Phosphor in Pflanzensamen. 1899 isolierten die Chemiker E. Schulze und E. Steiger aus Pflanzensamen Phospholipide, die sie ebenfalls als Lecithin bezeichneten. Nach ihren Erkenntnissen hatten die Sojabohnen und Lupinen mit 1,5–2,5 % den höchsten Lecithin-Gehalt den von ihnen untersuchten Pflanzensamen.

Die Forscher Diakonow und Adolph Strecker (1822–1871) isolierten Lecithin, z. B. aus Eigelb, in größerer Reinheit und erkannten, dass der stickstoffhaltige Anteil des Lecithins Cholin war.

Johannes Ludwig Wilhelm Thudichum (1829–1901), der Begründer der Gehirnchemie, fand eine analoge Verbindung und nannte sie Kephalin nach dem griechischen Wort *kephalos* (Kopf) und konnte das Sphingomyelin separieren.

Von Anfang 1900 bis in die späten 30er-Jahre sind keine wesentlichen Fortschritte im Wissen um die Phospholipide zu erkennen. Ernst Klenk (1896–1971) und Sakat fanden 1939 im Sojalecithin Inosit und Inositphosphorsäure. 1944 extrahierte der amerikanische Chemiker Jon Pangborn aus dem Lipid des Rinderherzmuskels Cardiolipin und 1958 beschrieben Carter und seine Mitarbeiter die komplexen Phytoglykolipide, die nur in pflanzlichen Phospholipidmischungen vorkommen.

Als 1925 die Hansmühle Hamburg, heute ADM Ölmühle Hamburg AG, das Bollmannsche Extraktionsverfahren einfuhrte, konnten aus rohem Pflanzenöl wirtschaftlich Lecithin isoliert werden. Die industrielle Produktion begann. Hauptquelle für Lecithin wurde das Öl der Sojabohnen. Lecithin aus Eidotter hat in speziellen Anwendungen, z. B. in der Pharmazie und Kosmetik, weiterhin eine Bedeutung.

---

Einer der ersten Anwendungsforscher für Lecithin war um 1925 Bruno Rewald, der als einer der ersten Lecithin-Technologen das Lecithin als Emulgator und Dispersionsmittel empfahl.

Hamburg wurde der Ausgangspunkt und das Zentrum für die industrielle Sojabohnen- und Lecithin-Verarbeitung. Der Amerikaner Josef Eichberg war der erste, der 1930 den Wert der Lecithine für die USA erkannte und dort das ‚Hamburger Lecithin‘ der Hansmühle vermarktete. Ab 1935 wurde Lecithin – in guter Qualität – auch in Amerika hergestellt. Es waren die Firmen Pillsbury und Central Soya (beide USA), die sich dieser vielseitigen Substanz annahmen.

Ab 1948 verschrieb sich Lucas Meyer, Hamburg, der Anwendungstechnik und dem Verkauf von Lecithinen. Mit Rüdiger Ziegelitz und Volkmar Wywiol, die ab 1953 die Vermarktung und Weiterentwicklung des Lecithins vorantrieben, gelang der weltweite Durchbruch für Lecithin als Hilfs- und Wirkstoff. Die Anwendungsvielfalt der Lecithine in den Bereichen Lebensmittel, Futter und Technik wurde von ihnen auf eine breite Basis gestellt.

In der diätetischen Anwendung leistete der Arzt Dr. Buer Pionierarbeit und brachte 1935 mit dem Produkt ‚Buer-Lecithin‘ eines der ersten Lecithinpräparate auf den Markt. H. Eickermann, A. Nattermann & Cie (heute Sanofi-Aventis-Gruppe), konzentrierte sich auf die Wirksubstanz Phosphatidylcholin und entwickelte eine Reihe bedeutender pharmazeutische Präparate, die noch heute angeboten werden.

Dr. Herbert Rebmann entwickelte aus dem Eigelb Phospholipid-Spezialitäten als hochwertige Pharma-Emulgatoren für Fettnährstofflösungen.

Die Forschung und Anwendungstechnik ist längst noch nicht abgeschlossen. Derzeit sind beispielsweise Lecithine aus Meeresalgen, die Verwendung von Liposomen in der Nahrungsmittelindustrie und Phospholipide in der Aquakultur im Fokus der Wissenschaft.

## Vorkommen und Verfügbarkeit

### Vorkommen

Polare Lipide, besonders Phospholipide, sind wichtige Strukturbestandteile von biologischen Membranen und kommen in allen Lebewesen (Menschen, Tieren, Pflanzen und Algen) und in vielen Mikroorganismen vor. In der Leber und im Gehirn, in Lunge und Herz sowie im Muskelgewebe finden sich die höchsten Lecithin-Konzentrationen. Auch in manchen Körperflüssigkeiten sind Phospholipide – vor allem im Blutplasma der Wirbeltiere – vorhanden.

### Verfügbarkeit

Derzeit werden pro Jahr etwa 180.000 t Lecithin vorwiegend aus den Sojabohnen (2 % Lecithin-Gehalt), die in den USA, in Brasilien und Argentinien geerntet werden, hergestellt. Andere Soja-Produzenten, wie China, Indien, Paraguay oder Kanada, haben für die weltweite Lecithin-Gewinnung derzeit wenig Bedeutung. Der Anbau von Soja in Europa ist marginal. Ca. 60% der weltweiten Soja-Ernte stammt aus gentechnisch veränderten Soja-Pflanzen (Stand 2004).<sup>[1]</sup> Neben Soja zählen, wenn auch in geringerem Umfang, Raps und Sonnenblumen als Rohstoffquellen. Eigelb, mit seinem hohen Anteil an Lecithin (ca. 10 %), kann den Markt wegen der beschränkten Verfügbarkeit kaum versorgen. Die relativ niedrigen Mengen gehen vor allem in die Pharmazie, Medizin und Kosmetik.

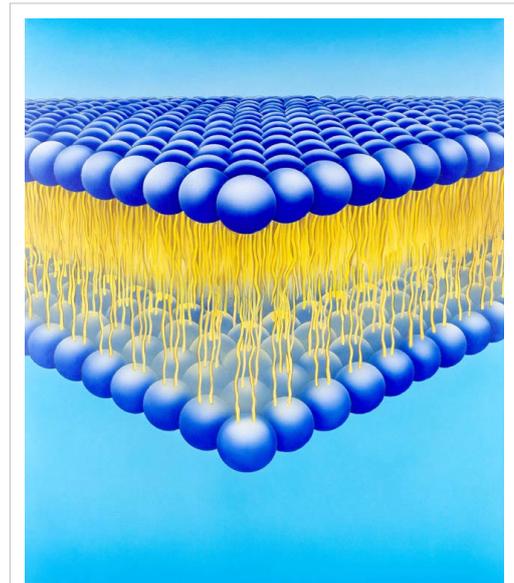
## Wirkung von Lecithin im Körper

Den Lecithinen werden neben ihren strukturbildenden Eigenschaften zahlreiche funktionelle Aufgaben zugeschrieben. Sie sind sowohl am anabolen Lipidstoffwechsel (Synthese und Verteilung von Lipiden) als auch am katabolen Fettstoffwechsel (Abbau und Umbau von Lipiden) aktiv beteiligt.

- Die Zellmembran fast aller Zellen besteht aus einer Lipid-Doppelschicht. Lecithin ist essentiell für die Bildung der Biomembranen.
- Da Fette nicht wasserlöslich sind, sind zur Fettverdauung verschiedene körpereigene Schritte notwendig, um die mit der Zerlegung von Fetttropfchen (Micellen) beginnende Verdauung durchführen zu können.
- Der Export von Fettsäuren aus der Leber ist insbesondere bei den landwirtschaftlichen Nutztieren wichtig.

Hühner nehmen mit der Nahrung vor allem Stärke auf, aus der in der Leber Fette für die Eibildung synthetisiert werden müssen;

Lecithin ist hier notwendig, um die gebildeten Fette aus der Leber zu exportieren (Very Low Density Lipoproteins, VLDL), sonst besteht die Gefahr, dass das Tier an einer Fettleber erkrankt. Bei Kühen besteht diese Gefahr auch teilweise, allerdings ist dies hier Folge eines anderen Vorganges: Kurz nach der Geburt des Kalbes beginnt die sehr energieaufwendige Milchbildung. Hierzu werden Körperfettreserven mobilisiert, die zunächst in die Leber transportiert werden und von hier wiederum als VLDL in das Blut. Soweit die Versorgung der Kuh mit Aminosäuren zu diesem Zeitpunkt nicht adäquat ist (insbesondere: Lysin und Methionin), kann es ebenfalls zu einer Fetteinlagerung in der Leber kommen, was letztlich wohl zu einer Leistungsdepression führen kann. Die Forschung auf diesem Gebiet dauert noch an.



Lipid-Doppelschicht

## Chemische Struktur und Eigenschaften

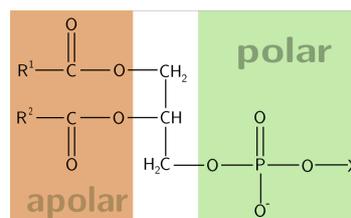


Abb. 1: Allgemeine Struktur von Phosphoglyceriden

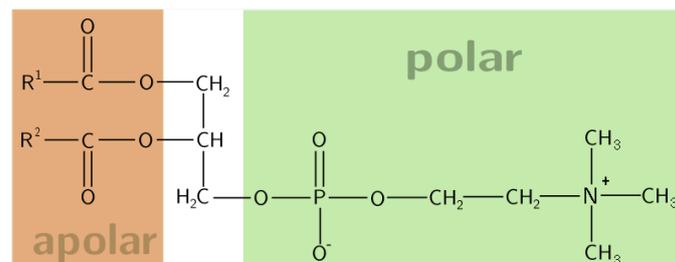


Abb. 2: Allgemeine Struktur von Phosphatidylcholinen

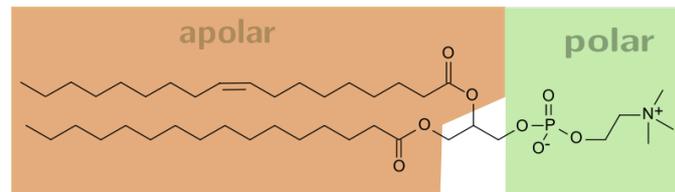


Abb. 3: Phosphatidylcholin mit Palmitinsäure  
und der ungesättigten Ölsäure  
(POPC = **P**almityl**o**lelyl**p**hosphatidyl**h**olin)

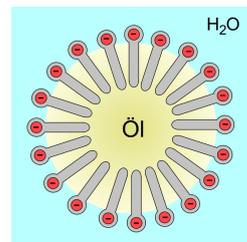


Abb. 4: Tensid-Öltröpfchen  
in Wasser

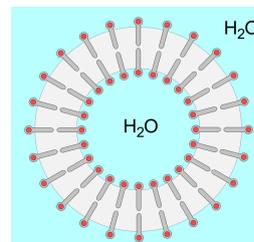


Abb.5: Ein Liposom  
in Wasser

*Lecithine* (Phosphatidylcholine) sind eine weit verbreitete Verbindungsgruppe, die zu der übergeordneten Gruppe der Phosphoglyceride zählt. Phosphoglyceride (Abb.1) sind Verbindungen, die mit Glycerin und zwei Fettsäuren einen Dicarbonsäureester bilden. Dieser Teil der Phosphoglyceride entspricht dem Aufbau von gewöhnlichen Fetten. Die dritte OH-Gruppe des Glycerins bildet jedoch mit einem Phosphat-Ion einen Di-Phosphorsäureester; einerseits mit Glycerin und andererseits mit einer weiteren, nicht näher definierten funktionellen Gruppe X. Die Gruppe X ist im Fall der Lecithine (Abb.2) Cholin. Cholin ist eine quartäre Ammoniumverbindung, trägt also eine positive Ladung und ist ein Kation. Die Phosphat-Gruppe liegt über einen breiten pH-Bereich als Anion vor, trägt also eine negative Ladung. Somit kann man Lecithine als Zwitterionen bzw. *Innere Salze* auffassen. Lecithine haben keinen charakteristischen Schmelzpunkt, da die Verbindungen unterschiedliche Fettsäurezusammensetzung haben. Abb. 3 zeigt ein konkretes Beispiel eines Lecithins mit Palmitinsäure und Ölsäure. Ungesättigte Fettsäuren wie Ölsäure oder Linolensäure sind bei Lecithinen recht häufig vertreten.

Der Aufbau dieser Verbindungen führt zu der Eigenschaft, als Tensid zu wirken: Ein Teil des Moleküls hat eine *polare* (hydrophile), ein anderer Teil eine *apolare* (hydrophobe) Eigenschaft. Sie sind somit amphiphil, können die Grenzflächenspannung zwischen unterschiedlichsten Substanzen (Phasen) herabsetzen und wirken als Emulgatoren oder Dispergiermittel. Sie erlauben daher das Mischen von eigentlich nicht mischbaren Flüssigkeiten wie Öl und Wasser und das Suspendieren von Partikeln in einer wässrigen Phase.

Analog können Lecithine Liposome bilden, die als Modellvorstellung für die Entwicklung von Zellen dienen und in der Medizin als Transporthilfe von Wirkstoffen helfen können. Lecithine sind auch in der Lage, lamellare flüssigkristalline Phasen zu bilden, was von besonderem Interesse für die kosmetische Anwendung ist. Die Abbildungen 4 und 5 stellen ein Öltröpfchen und ein Liposom dar. Die Lecithinmoleküle sind dort als graue Objekte mit einem roten Bereich dargestellt. Die rote Markierung auf diesen Symbolen soll den polaren Teil der Moleküle darstellen.

## Andere Phospholipide

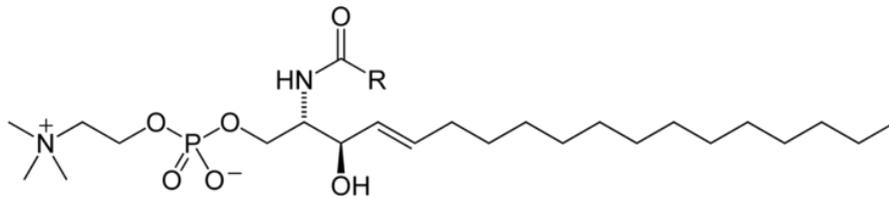
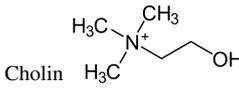
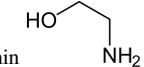
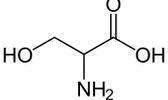
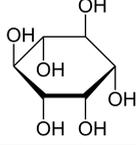
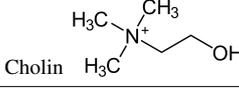


Abb.6: Sphingocholine

Lecithine, die aus natürlichen Quellen gewonnen werden, enthalten neben Lecithinen weitere Phosphoglyceride wie *Phosphatidylethanolamin* mit Ethanolamin, *Phosphatidylserin* mit Serin und *Phosphatidylinositol* mit Inosit als polare Gruppe X. Dazu liegen auch Sphingomyeline und Glycolipide vor, wobei letztere keine Phospholipide sind. Auch diese Verbindungsgruppen zeigen ähnliche physikalische Eigenschaften und wirken als Tenside. Natürliche Quellen für Lecithine sind z.B. Eier und Sojabohnen. Die Tabelle zeigt die ungefähre Zusammensetzung von Hühnerei- und Soja-Lecithin.

Zusammensetzung (in [%]) <sup>[2]</sup>			
Name	polare funktionelle Gruppe	Ei-Lecithin	Soja-Lecithin
Phosphatidylcholin	 Cholin	73	30
Phosphatidylethanolamin	 Ethanolamin	15	22
Phosphatidylserin	 Serin	-	3–4
Phosphatidylinositol	 Inosit	1	18
Sphingocholine	 Cholin	2–3	-
Glycolipide	Monosaccharide Oligosaccharide	-	13

## Physikalische Eigenschaften

Lecithine sind hygroskopisch. An der Luft bilden sie klebrige, wachsartige Massen. Bei längerer Erwärmung über 70 °C verfärben sich Lecithine dunkelbraun bis schwarz. Grundsätzlich sind Lecithine, die verwandten Phospholipide und deren modifizierten Abkömmlinge löslich in Fetten und Ölen und dispergierbar in Wasser. In organischen Lösemitteln wie Chloroform oder Hexan sind Lecithine gut löslich. In Aceton sind sie hingegen unlöslich. Die Löslichkeit in Ethanol ist abhängig von der Kettenlänge und dem Sättigungsgrad der Fettsäuren. Bei niedrigen Sättigungsgrad geht die Ethanollöslichkeit des Phosphatidylcholins zurück. Phosphatidylethanolamin und Phosphatidylinositol sind in Ethanol wenig bis unlöslich.

Lecithine sollten dicht verschlossen, vor Licht geschützt und nicht über 15°C gelagert werden. Da es zu Oxidation mit molekularem Sauerstoff neigt (Autooxidation), können zur Stabilisierung Antioxidantien zugegeben werden.

## Gewinnung von Soja-Lecithin

### Rohstoff: Sojabohne

Die Sojabohnen der Haupterzeugerländer stehen als nachwachsender Rohstoff ausreichend zur Verfügung (Ernte 2005: 214 Mio. t). Ausgereifte und sorgfältig gelagerte Bohnen sind für gute Lecithin-Qualitäten von großer Bedeutung. Die Bohnen müssen zunächst gereinigt, gebrochen und zu Plättchen gewalzt werden.

### Rohstoff: Rohes Sojaöl

Die Plättchen (2–5 mm) werden in einer Extraktionsanlage im Gegenstrom mit Hexan extrahiert. Das dabei entstehende Gemisch (Miscella) wird destilliert und eingedampft und schließlich im Vakuum durch Zuführen von direktem Dampf vom Lösemittel befreit.

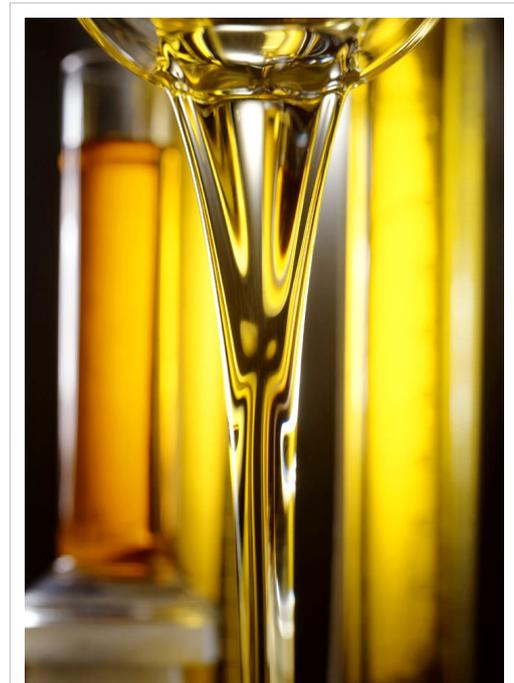
Das dabei entstandene Rohöl ist das Ausgangsprodukt für das Sojalecithin. Durch Dämpfung der Ölsaaten vor der Extraktion kann der Lecithingehalt des Rohöles um 50–100 % erhöht werden. Dabei sinkt dann der Anteil nicht hydratisierbarer Phospholipide im entschleimten Öl.

### Ergebnis: Lecithin

Das Rohöl, das als Begleitstoff etwa 2 % Lecithin enthält, wird in einem Quellbehälter auf 70–90 °C erwärmt und mit 1–4 % Wasser intensiv vermischt. Dabei quillt das Lecithin auf, fällt als gallertartige Masse aus und wird mit hochoptimierten Spezial-Separatoren vom Rohöl abgetrennt. Diesem Lecithin-Nass-Schlamm – mit etwa 12 % Öl, 33 % Phospholipiden und 55 % Wasser – wird in einem Dünnschichtverdampfer das Wasser entzogen. Es entsteht ein Rohlecithin, das 60–70 % polare Lipide und 27–37 % Sojaöl enthält. Der Wasseranteil beträgt jetzt nur noch 0,5–1,5 %.

Die Hauptbestandteile der durch die Entschleimung gewonnenen Rohlecithine sind: Phospholipide (auch als Phosphatide bezeichnet), Triglyceride, Glykolipide und Kohlenhydrate. Nebenbestandteile: Sterine, freie Fettsäuren, Farbstoffe und eine Reihe anderer Verbindungen.

Neben der Entschleimung durch das Quellverfahren mit Wasser gibt es die Entschleimung mit Säuren (Super Degumming) und ein Entschleimungsprozess mit dem Enzym Phospholipase A2. Hierbei werden besonders auch die sonst nicht oder nur schwer erfassbaren sogenannten nicht hydratisierbaren Phospholipide gefällt.



Flüssiges Lecithin – raffiniert

### Reinlecithin – Fraktionen – Modifikationen

Für viele Anwendungen kann Lecithin in seiner ursprünglichen Form genutzt werden. Vielfach ist es aber sinnvoll, natives (ursprüngliches) Lecithin zu entölen, zu fraktionieren oder zu modifizieren, um für besondere Anwendungen spezifische Lecithine zu erhalten:

- Die Entölung dient zur Herstellung pulverförmiger oder granulierter „Reinlecithine“, indem das Öl und die freien Fettsäuren aus dem nativen Lecithin entfernt werden. Sie sind geschmacksneutral, gut dosierbar, besitzen eine hohe Phospholipidkonzentration und haben verbesserte O/W-Emulgiereigenschaften.
- Fraktionierung bedeutet die Auftrennung des Lecithinkomplexes in eine alkohollösliche und eine alkoholl unlösliche Komponente. Aus der alkohollöslichen Fraktion kann durch ein chromatografisches Verfahren eine weitere Aufteilung in zwei Fraktionen mit spezifischen Eigenschaften erfolgen.
- Die Modifizierung beruht auf der Abtrennung eines Fettsäuremoleküls aus dem Phospholipidmolekül. Dies geschieht mit Hilfe der Phospholipase A2. Man nennt den Vorgang enzymatische Hydrolyse. Das dadurch entstandene „Lysolecithin“ ist besonders hydrophil, wodurch die O/W-Emulgiereigenschaften verstärkt werden und die Calciumionenverträglichkeit erhöht wird.
- Die Acetylierung, eine andere Form der Modifizierung, verändert das Phosphatidylethanolamin, indem an die Aminogruppe ein Essigsäuremolekül angelagert wird. Dadurch wird das entstandene Lysolecithin besonders hydrophil.
- Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Emulgieraktivität der Lecithine ist die Hydroxylierung der im Phospholipidmolekül gebundenen ein- und mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Diese erfolgt durch die Umsetzung mit Wasserstoffperoxid.



Lecithin-Varianten

### Eigenschaften

Rohe vegetabilische Lecithine sind braune bis gelbliche Substanzen von plastischer und flüssiger Konsistenz. Die Farbe ist abhängig von der Herkunft der Saat, den Ernte- und Lagerbedingungen sowie den Verarbeitungsverfahren und -anlagen. Die Konsistenz wird durch den Ölgehalt, durch die Menge an freien Fettsäuren und den Feuchtigkeitsanteil bestimmt. Entölte Lecithine sind pulvrig bzw. granuliert. Gut gereinigte (raffinierte) Lecithine haben einen charakteristischen (bohnenen) bis neutralen Geruch und Geschmack. Grundsätzlich sind Lecithine, deren modifizierte Abkömmlinge und die fraktionierten Phospholipide löslich in Ölen und Fetten.

## Anwendungen von Lecithin

Der Einsatz von Lecithin in der Nahrungs- und Futtermittelproduktion, in der Pharmazie und Medizin sowie in kosmetischen Erzeugnissen und im Nonfood-Bereich ist vielfältig. Nachstehend sind einige Verwendungsmöglichkeiten dargestellt.

### Lecithin in Lebensmitteln



Brot und Backwaren

Margarine

Schokolade und  
Schokoladenüberzug

Die größte Menge von industriell erzeugtem Lecithin, vorwiegend aus Sojabohnen, geht in die Lebensmittelwirtschaft. Zunächst war Pflanzen-Lecithin ein Ersatz für Ei-Lecithin. Längst gilt es aber als gleichwertig, teilweise sogar als überlegen. Einen festen Platz hat es als Emulgator und Dispersionsmittel, sowohl für hydrophile Stoffe in öligen und hydrophobe in wässrigen Medien als auch als Stabilisierungsmittel von Grenzflächen in gasförmig/wässrigen und gasförmig/festen Nahrungsmittelsystemen.

**Lecithin in Brot- und Backwaren:** Lecithine sind vor allem wichtige Hilfsstoffe bei Backprozessen. Sie erleichtern das Aufschlagen fetthaltiger Teige und ermöglichen die Verwendung kleberarmer Teige. Die höhere Volumenausbeute, feinere Porung und knusprigere Kruste, die erzielt werden können, kommt besonders der Brötchenherstellung zugute. Die Fähigkeit des Lecithins, das Altbackenwerden von Brot- und Backwaren zu verzögern, ist besonders bedeutsam.

**Lecithin bei der Herstellung von Margarine:** Anfangs hatte Margarine gegenüber der Butter den Nachteil des Spritzens beim Ausbraten sowie das feste Anhaften des Milchcaseins, das unter Geruchsbelästigung verbrannte. Um das zu verhindern, wurde zunächst Lecithin aus Eigelb als Emulgator eingesetzt. Die Probleme ließen sich aber erst mit geschmacksneutralem Sojalecithin wirtschaftlich lösen.

Neue Verfahrenstechniken und Rezepturen sorgten für eine wesentliche Qualitätssteigerung, die aber zur Abkehr vom nativen Sojalecithin hin zu speziellen Lecithinfraktionen führten. Damit konnte dann auch eine bessere Oxidationsbeständigkeit und Stabilisierung erzielt werden.

Eine gute Antispritzwirkung bei Halbfettmargarine (40 % Fett und 60 % Wasser) lässt sich mit Lecithin-Zusatz allein nicht erreichen. Dies gelingt nur in Verbindung mit grenzflächenaktiven Substanzen, wie Sojaproteinkonzentraten.

**Lecithin in Schokolade:** Wie fast überall hat auch hier Lecithin eine Doppelfunktion: eine Qualitätssteigerung der Schokolade und eine Reihe von Vorteilen bei der Herstellung. Um in der Schokoladenherstellung die richtige Konsistenz zu erzielen und das typische Aroma zu erreichen, bedarf es vielstündiger Mahloperationen in der sogenannten Conche. Durch den Einsatz von Lecithin wird dabei die Viskosität herabgesetzt, die Bearbeitungszeit verkürzt und Kakaobutter eingespart. Aber auch die Eigenschaften werden günstig beeinflusst. Die Schokolade wird widerstandsfähiger gegenüber erhöhten Temperaturen, die Haltbarkeit verlängert, der Glanz der Oberfläche erhöht und ein vorzeitiges Vergrauen vermindert.

Die Industrie verwendet fast ausschließlich Sojalecithine, aber auch Lecithine aus Raps- und Sonnenblumensaat werden eingesetzt. Synthetische Lecithine und Lecithin-Kombinationen können sich bei der Produktion als vorteilhaft erweisen. Das gleiche gilt beim Einsatz von Lecithinfraktionen, die eine bessere Verflüssigung der Schokolade beim Conchieren zulassen als native Lecithine.

**Lecithin in Instant-Lebensmitteln:** Pflanzenlecithine haben sich bei der Instantisierung von Kakao- und Kaffeepulver bewährt. Aber besonders effektiv lassen sie sich bei Voll- und Magermilchpulver einsetzen. Darüber hinaus dienen sie als Dispergiermittel in Sojaproteinerzeugnissen, Kartoffelstärke und Trockensuppen.

### **Lecithin in Futtermitteln**

**Kälber und Rinder:** In Futtermitteln für Rinder hat Lecithin vornehmlich eine technologische Bedeutung. Lecithin verhindert z. B. bei der Herstellung mehlförmiger Kraftfuttermischungen die Staubbildung. Gleichzeitig sinkt die Gefahr von Staubexplosionen bei der Produktion.

Es verzögert durch seine Emulgierfähigkeit das Aufräumen des Fettes und die Sedimentation unlöslicher Bestandteile in der Tränke. Bei den Jungtieren allerdings stehen die physiologischen Aspekte eher im Vordergrund. So werden bei Kälbermilchaustauschern, bei denen die Kuhmilch durch Magermilch ersetzt und mit milchfremden Fetten und Proteinen angereichert werden, sehr gute – der Kuhmilch mindestens vergleichbare – Fütterungsergebnisse erzielt.

**Schweine:** Bei künstlicher Sauenmilch, die häufig bei der Ferkelaufzucht notwendig wird, hat der Einsatz von Lecithin etwa die gleiche Bedeutung wie bei Kälbermilchaustauschern. Die Zugabe von Lecithin im Mastfutter bewirkt eine wesentlich bessere Fettverwertung, so dass sich die Mastzeit in der Regel verringern lässt.

**Hühner:** Ein schnelleres Wachstum und eine vermehrte Vitamin A-Speicherung in der Leber ließen sich bei Küken, wenn diese mit dem Futter Lecithin aufnahmen, nachweisen. Das Fettlebersyndrom, das seit 1956 in Deutschland beschrieben wird, wird durch die Zugabe von Lecithin – mit seinem hohen Anteil an Cholin und Inosit – im Legehennen-Futter günstig beeinflusst. Die Psoriasis trat ebenfalls nicht mehr auf. Ebenso kann die Legeleistung und das Ei-Gewicht von Hybriden erhöht werden.

**Aquakultur:** In der Zucht von Forellen und Salmoniden führt die Unverdaulichkeit von Fetten zu Problemen und zu einer erhöhten Todesrate. Auch Seetier-Öle bewirkten Leber- und Nierenschäden und Depigmentierungen, so dass Forellen lange Zeit fettfrei gefüttert wurden. Lecithine sowie Geflügelfett allerdings haben einen günstigen Einfluss auf die Gesundheit und das Wachstum der Fische. Die Linol- und Linolensäure und das Cholin des Lecithins fördern das Wachstum und erhöhen die Futtermittelverwertung. Nieren- und Darmblutungen sowie das Fettlebersyndrom lassen sich vermeiden.

Die Verwendung von Lecithin in der Aquakultur gewinnt zunehmend an Bedeutung, wie etwa bei der Zucht von Krusten- und Schalentieren und Meeresfrüchten.

**Pelztiere:** Zuerst vermutete man nur, dass die Verfütterung von Lecithin, z. B. bei Kaninchen und Nerzen, sinnvoll sein könnte, um Lebererkrankungen vorzubeugen – besonders während der Trächtigkeit. Spätere Fütterungsversuche bewiesen es. Das Wachstum ist zügiger, die Pelze der Jungnerze werden größer und von besserer Qualität. Die Fettleber ist bei Nerzen weit verbreitet. Das liegt einerseits an einer meist einseitigen Ernährung, aber auch an fehlenden Substanzen wie sie im Lecithin vorhanden sind und sich beim Leberstoffwechsel bewährt haben.

## Lecithin im Non-Food-Bereich

Heute werden in den unterschiedlichsten Industrien aus wirtschaftlichen Überlegungen statt reinem Öl wässrige Emulsionen aus Ölen, Fetten und Wachsen eingesetzt. Dabei spielt das Lecithin als Emulgator und Wirkstoff eine herausragende Rolle. Etwa 20 % des verwendeten Lecithins geht in die technische Industrie.

Wichtige Anwendungsbereiche sind die Bauindustrie, die Behandlung von Bauholz, der Einsatz bei Chemiefasern, Bekleidungs- und Handschuhleder, Lederpflegemittel, beim Schmälzen von Wolle, Färben oder Bedrucken von Geweben und im Kohletransport durch Rohrleitungen sowie in Farben und Lacken.

Lecithin in der Kosmetik

Phospholipide sind rückfettend. So verhindern sie bei normaler und besonders bei trockener Haut das Austrocknen nach dem Waschen. Diese Eigenschaft wird auch in Haarwaschmitteln genutzt. Sie regulieren den pH-Wert der Haut und unterstützen den natürlichen Schutzmantel gegen aggressive Umwelteinflüsse.

Ihr hoher Gehalt an Linol- und Linolensäure wirkt bei Hautkrankheiten positiv. Relativ jung ist die Anwendung der Phospholipide zur Herstellung kugelförmiger Vesikel, den Liposomen. Die Kugeln sind durch Lipiddoppelmanbranen aus Phospholipiden begrenzt. In ihrem Innern enthalten sie eine wässrige Phase, in der spezielle Wirkstoffe gelöst sind, die auf diese Weise leichter in die Haut eingeschleust werden können.

Phospholipide in Pflanzenschutzmittel

Pflanzenschutzmittel enthalten neben den Wirkstoffen, Lösungsmittel und Emulgatoren und eventuell noch andere Hilfsstoffe. Ist Lecithin der Emulgator, reduziert er den bioziden Wirkstoffanteil bei gleichzeitiger Erhöhung der Wirksamkeit des verbleibenden Wirkstoffgehaltes. Die wässrige Emulsion bleibt beständig und ermöglicht eine bessere Verteilung der Wirkstoffe.

## Literatur

- Hermann Pardun: *Pflanzenlecithine*. Gewinnung, Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung pflanzlicher Phosphatidpräparate. Ziolkowsky, Augsburg 1988. ISBN 3-87846-128-3
- Werner Schäfer, Volkmar Wywiol: *Lecithin – Der unvergleichliche Wirkstoff*. Strohte, Frankfurt 1986. ISBN 3-87795-031-0
- Rüdiger Ziegelitz: *Lecithine – Eigenschaften und Anwendungen*. Lucas Meyer, Hamburg 1989.
- Jean Pütz, Christine Niklas: *Schminken, Masken, schönes Haar – Die sanfte Kosmetik*. vgs Verlagsges., Köln 1987. ISBN 3-8025-6151-1
- D. D. Lasic: *Liposomes. From Physics to Applications*. Elsevier, Amsterdam 1993. ISBN 0-444-89548-5
- Dietrich Arndt, Iduna Fichtner: *Liposomen, Darstellung – Eigenschaften – Anwendung*. Akademie-Verlag, Berlin 1986. ISBN 3-05-500148-6
- Rüdiger Ziegelitz, Lutz Popper: *Lecithin – bewährte Funktionalität* <sup>[3]</sup>, in: *BMI- Aktuell*. Hrsg. v. Backmittelinstitut <sup>[4]</sup>. Bonn 2005,1 (Mai). (pdf)

## Weblinks

- Phytodoc: Lecithin in der Naturheilkunde <sup>[5]</sup>

## Referenzen

- [1] Lecithin (<http://www.transgen.de/lebensmittel/einkauf/26.doku.html>)  
 [2] *Fachlexikon ABC Chemie*. Bd 2. 3. Auflage. Harri Deutsch, Frankfurt 1987, S.855. ISBN 3-87144-899-0  
 [3] [http://www.wissensforum-backwaren.de/files/05\\_bmi-aktuell\\_01.pdf](http://www.wissensforum-backwaren.de/files/05_bmi-aktuell_01.pdf)  
 [4] <http://www.backmittelinstitut.de>  
 [5] [http://www.phytodoc.de/informationen/heilpflanze/lecithin\\_sojalecithin/](http://www.phytodoc.de/informationen/heilpflanze/lecithin_sojalecithin/)

## Leder

**Leder** ist eine durch Gerbung chemisch haltbar gemachte Tierhaut, deren natürliche Faserstruktur weitgehend erhalten ist. Es wird zwischen den Begriffen *Leder* und *Pelz* (Pelzfell) unterschieden. Leder wird meist aus der Lederhaut (anderer Name Dermis) genannten Hautschicht gewonnen. Diese gliedert sich ihrerseits in die nach außen liegende, der Lederaloberfläche ihr glattes Aussehen gebenden Papillarschicht und die darunter liegende, für die mechanische Festigkeit verantwortliche Retikularschicht. Während z. B. Spaltleder nur aus der Retikularschicht besteht, werden beispielsweise Skivers, das sind sehr dünne Schafleder, fast nur von der Papillarschicht gebildet.

Die Körperhülle von Rind, Ross, Büffel, Esel, also alles von größeren Tieren und auch die vom Schwein wird im rohen ungegerbten Zustand ebenso wie als Leder als Haut bezeichnet. Die Hülle von kleineren Tieren wie z. B. Kalb, Ziege, Schaf, etc. wird grundsätzlich Fell genannt. Sind nach der Gerbung die haarbildende Oberhaut oder Epidermis und Haare noch erhalten, spricht man von Pelz oder Pelzfellen.

Nach dem Enthäuten liegen die Häute und Felle meist flach vor. Bei kleinen Tieren, vor allem bei Pelzfellen, wird die Haut manchmal schlauchförmig als Balg abgezogen.

## Eigenschaften

Leder ist ein geschmeidiges, zähes, relativ festes, haltbares und vielseitig einsetzbares Material. Es ist relativ undurchlässig für Wasser, trotzdem ist es *atmungsaktiv*, d. h. ausreichend durchlässig für Luft und Wasserdampf.



Leder und moderne Lederbearbeitung



Ledergürtel mit Dornschnalle aus Metall

Für die technische Beschreibung und Qualitätsbeurteilung von Leder sind die Dichte (spezifisches Gewicht), die Zugfestigkeit, die Dehnbarkeit, die Bruchfestigkeit des Narbens, die Wasser- und Luftdurchlässigkeit, die Lichtbeständigkeit und die Schrumpfung entscheidend. Neben diesen physikalischen Werten werden auch chemische Werte wie Fettgehalt, Schrumpfungstemperatur im nassen Zustand, Gerbstoffgehalt, Waschbarkeit, Säuregehalt, etc. beurteilt. Für die chemischen und physikalischen Parameter gibt es für die meisten Lederarten entsprechende Richtwerte.

Schwer oder gar nicht messbar sind Eigenschaften wie Weichheit, Struktur und Griff und auch die Optik. In der Praxis sind diese Eigenschaften für eine Entscheidung ob, und welches Leder verwendet wird oft ebenso wichtig wie die technischen Parameter.

## Arten von Leder

- Boxcalf

Als Boxcalf wird das vom Kalb gewonnene Leder bezeichnet. Der größte Teil der hochwertigen Herrenschuhe wird aus ihm gefertigt. Boxcalfleder fühlt sich schmiegsam an und ist dabei trotzdem straff. Die Rechtsseite ist von einer Maserung außerordentlich feiner Narben geprägt, die ihm ein schönes Muster verleiht.

- Chevreau

Der Sammelbegriff für Leder von Ziegen ist Chevreau. Es handelt sich hierbei um ein chromgegerbtes und durchgefärbtes extrem feines Oberleder. Seine Oberfläche ist glatt, weich, geschmeidig und weist eine charakteristische Faltenbildung auf. Am besten ist es, wenn es von jungen Zicklein stammt. Ältere Exemplare weisen stärkere und gröbere Narben auf.

- Cordovan

Die Bezeichnung für Pferdeleder ist Cordovan, abgeleitet von der spanischen Stadt Córdoba, wo sich einst auf die Herstellung von Ziegenleder unter dem gleichen Namen spezialisiert wurde. Seine Stärke liegt zwischen 1,6 und 1,8 Millimetern, steht jedoch der Geschmeidigkeit von Boxcalfleder in nichts nach. Dennoch ist Cordovan im oberen Lederpreissegment anzufinden. Zum einen geht das Angebot an Rohware stetig zurück und zum anderen ist das von einem Ross gewonnene Leder recht minimal.

- Krokodilleder

Für die Herstellung von Krokodilleder wird vornehmlich die Haut von Babykrokodilen verwendet. Bei ausgewachsenen Exemplaren sind die Schuppen bereits zu groß und kräftig. Sie würden bei der Verarbeitung leicht brechen.

- Peccary/Porc

Geringer in der Qualität und von daher oft in Straßenschuhen des niedrigen Preissegments zu finden, kommt Schweinsleder nicht an die Sorten von Pferd, Ziege oder Rind heran. Trotzdem ist Schweinsleder durchaus strapazierfähig und formbeständig, was es für die Verarbeitung in gebrauchsfestem Schuhwerk geradezu prädestiniert. Meist ist das glänzende Leder an seinem charakteristischen und durch die Papillen bedingten Narbenbild zu erkennen.

- Rindbox

Wie der Name schon sagt, wird Rindbox aus Rinderhäuten gefertigt. Es ist das Ausgangsmaterial für festeres Gebrauchsschuhwerk, da es eine massive Struktur aufweist und dabei trotzdem biegsam bleibt. In Gerbart und Zurichtung entspricht es dem Boxcalf, unterscheidet sich jedoch in der Faserdicke deutlich und ebenso in seiner Fläche.

## Chemische Zusammensetzung

Leder setzt sich je nach Herstellungsverfahren verschieden zusammen. Die eigentliche Ledersubstanz kann prozentuell schwanken. Ein pflanzlich gegerbtes Leder hat einen höheren Gerbstoffgehalt und somit eine Ledersubstanz von 38 bis 46 Prozent, ein chromgegerbtes Leder dagegen kann bis zu 72 Prozent Ledersubstanz aufweisen. Die Alaun- und die sämischgegerbten Leder liegen dazwischen.

Daneben wird immer auch der Wassergehalt des Leders begutachtet. Leder ist hygroskopisch und daher ist der Wassergehalt immer auch abhängig von der umgebenden Luftfeuchte. Bei pflanzlich gegerbten Leder liegt er um 14 Prozent, bei mineralgegerbten Leder etwas höher um 18 Prozent. Steigt der Fettgehalt im Leder, so sinkt der Wassergehalt. Die Wassermenge im Leder bestimmt dessen Reißfestigkeit, Griff, Stand, Gewicht und Elastizität.

Der Fettgehalt des Leders hängt auch davon ab, von welchem Tier die Haut stammt. Normalerweise liegt der Naturfettgehalt der Haut bei ca. 1 Prozent; eine Ausnahme ist Schafleder, das bis zu 12 Prozent Naturfettgehalt aufweist. Während der Fettung im Herstellungsprozess kann ein Fettgehalt von bis zu 50 Prozent erreicht werden. Der Fettgehalt beeinflusst ebenso wie der Wassergehalt die Eigenschaften des Leders: Reißfestigkeit, Elastizität, Wasseraufnahmevermögen, etc.

Wichtig ist auch der Gehalt an gebundenem Gerbstoff. Darunter versteht man, den an die Proteine der Haut gebundenen Gerbstoff in Relation zur Hautsubstanz. Pflanzlich gegerbte Leder enthalten 24 bis 32 Prozent, mineralgegerbte Leder 4 bis 6 Prozent und fettgegerbte Leder 12 bis 18 Prozent gebundenen Gerbstoff.

Daneben findet man in Leder verschiedene Mineralien, die aus dem Herstellungsprozess (Äschern, Gerben) stammen. Normalerweise ist der Mineralstoffgehalt bei pflanzlich gegerbten Leder unter 2 Prozent, der der mineralisch gegerbten zwischen 7 und 9 Prozent.

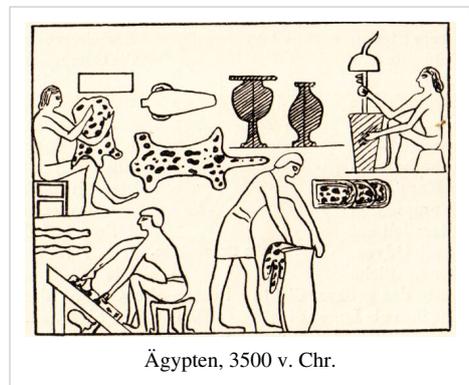
## Geschichte

### Frühgeschichte und Römisches Reich

Lange vor der Zeitenwende waren lederne Gegenstände in Ägypten, in Mesopotamien und bei den Israeliten in Gebrauch. Die pflanzliche Gerbung war schon im 4. Jahrtausend v. Chr. im alten Ägypten bekannt. Auf dem Sarkophag von Ti, einem reichen Ägypter, der etwa zwischen 2850 v. Chr. bis 2700 v. Chr. gestorben ist, kann man Szenen mit Gerbern erkennen.

In der Zeit des römischen Imperiums wurde viel Leder für die Herstellung der Ausrüstung der römischen Legionäre verwendet. Die Produktion wurde vor allem in Rom durch eine Zunft der Leder- und Hautverkäufer aus Ostia geregelt. Der Lederhandel war u. a. auch einer der Gründe für die punischen Kriege; Karthago war ein Zwischenhandelsplatz zwischen den Märkten Nordafrikas und denen des Mittelmeers und hatte dadurch das Monopol für den Lederhandel in Europa und im Mittelmeerraum.

Vom 3. Jahrhundert an war der Lederhandel unter römischer Aufsicht. Vermutlich waren Südfrankreich und Spanien die Produktionszentren dieser Zeit. Dieses bestätigen vor allem Funde in Botonita (Zaragoza); dort wurde größere Mengen Kalk, Schwefel und andere chemische Produkte gefunden, die vermutlich zum Gerben verwandt wurden. In den Ausgrabungen in Contrebia Belaisca wurden ebenfalls Beweise für die Existenz der Lederherstellung aus der Epoche zwischen dem 1. Jahrhundert v. Chr. und dem 3. Jahrhundert v. Chr. gefunden.



Ägypten, 3500 v. Chr.

## Mittelalter bis Barock

Später, nach dem Sturz des römischen Reichs im Jahr 476, übernimmt Karl der Große die Gesetzgebung hinsichtlich der Lederherstellung und deren Handel. Er belegt einige Produkte mit einer Steuer. In dieser Zeit war das Leder relativ grob verarbeitet und stammte meist aus einem nahen Einzugsgebiet, obwohl in Einzelfällen Leder auch importiert wurde.

Im Mittelalter war die Produktion von Leder in Vorderasien und Nordafrika sehr viel weiter fortgeschritten als in Europa, sowohl was die Quantität als auch was die Qualität anbetraf. Erst 1749 wurde die erste Saffianleder-Fabrik im Elsass errichtet. Für die Mode dieser Zeit wurde oft Leder aus Sibirien importiert.

Die Herstellung einzelner Lederarten war in Deutschland lange Zeit einzelnen Regionen oder Städten vorbehalten:

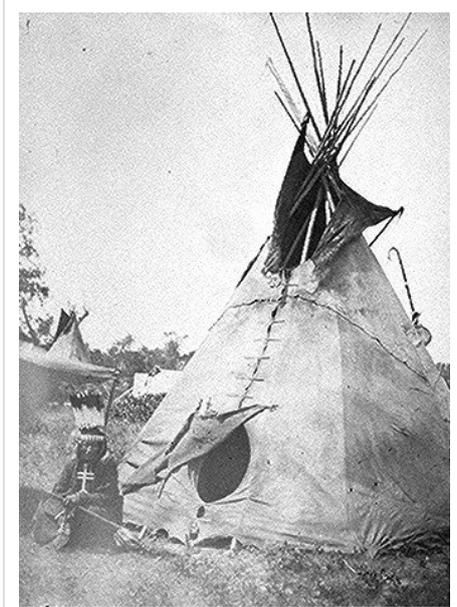
- Sohlleder in alter Grubengerbung im Rheinland, besonders in Trier, Malmedy (jetzt Belgien)
- Sohlleder in Schnellgerbung in Norddeutschland, besonders in Hamburg
- Rossleder in Holstein
- Lackleder, besonders Lackkalbleder in Worms und Mainz
- Lackleder für Wagenverdecke in Mülheim an der Ruhr
- Feine Wichskalbleder in Barr im Elsass
- Kipsoberleder in Backnang
- Farbige Leder in Offenbach am Main, wo heute noch die Lederwarenmesse stattfindet, und im Taunus
- Glacéleder in Berlin, Magdeburg, Altenburg und München

Die Geschichte der Lederwarenfertigung wird im Deutsche Ledermuseum in Offenbach dokumentiert.

## Moderne

Leder hat früh auch eine Bedeutung im Bereich der Bekleidung erreicht, wie es z. B. die Cowboys zeigen, die das Leder aufgrund seiner Resistenz gegen Wind und Wetter bevorzugten. Auch die ersten Piloten- und Motorradfahrerhelme waren aus diesem Material. Außerdem wurde die Lederbekleidung oft mit Heavy-Metal-Gruppen assoziiert.

Im 19. Jahrhundert findet man in der Literatur verschiedene Hinweise auf Leder, in denen vor allem auch seine Verwendung im Bezug auf die menschliche Fantasie eine Rolle spielt, einschließlich sexueller Ausrichtungen. So hat sich z. B. Leopold von Sacher-Masoch, von dessen Nachnamen sich der Masochismus ableitet, sehr von der *erotischen Seite* des Leders angezogen gefühlt. Dies beweist er in seinen Romanen *Venus im Pelz* und *Falsches Hermelin*. Im Bereich BDSM ist die Verwendung von Lederkleidung und -accessoires noch heute verbreitet.



Tipi aus Büffelleder (1869)



Lederarmband mit Metallapplikationen

## Ausgangsmaterial

Für die Herstellung von Leder kann jede tierische Haut verwendet werden. Das Ausgangsmaterial ist oft entscheidend für die Qualität des Leders. Von allen weltweit verarbeiteten Häuten stammen über 95 Prozent von Rindern, Kälbern, Schafen, Ziegen und Schweinen, sie sind ein Nebenprodukt der Lebensmittelindustrie. Insbesondere Rinderhäute lassen sich für die unterschiedlichsten Verwendungen einsetzen.

Daneben finden sich Leder aus Häuten exotischer Tiere und – eher selten – anderen Ursprungs. Vor allem die Schuh-, Handtaschenproduktion und auch andere Modebranchen haben exotische Quellen entdeckt. Dazu gehören Krokodile, Wild (Hirsch, Reh), Bison, Büffel, Känguru, Strauß, Fische (Aalleder) und Schlangen. Besonders Krokodilleder und Schlangenhäute waren eine Zeitlang sehr in Mode, was bei einzelnen Arten fast zur Ausrottung führte. In den 1970er Jahren wurden vor allem Strauße gezüchtet, deren Fleisch und Leder vielseitig eingesetzt werden konnte. Straußenleder gilt als sehr fein und sehr haltbar, es wird immer noch zu modischen Artikeln verarbeitet. Känguru-Leder wird oft für Motorradhandschuhe verwendet, für die es aufgrund seiner Stärke und Dehnungsfähigkeit eher geeignet ist als Kuh- oder Rindsleder.

Auch die Haut von Hunden und Katzen wurde zu Leder verarbeitet. Hundeleder wurde im Mittelalter bis zur Moderne im Bereich des Buchdrucks und anderer Drucktechniken angewendet, bei denen der Auftrag von Druckerschwärze auf den Druckstock mit einem *Ledertampon* erfolgte. Da der Hund ein porenfreies Leder hat – seine Haut ist nicht von Schweißdrüsen durchsetzt – wurde vor allem Hundeleder dafür benutzt. Noch Anfang des 20. Jahrhunderts war es für bestimmte Artikel, wie beispielsweise Handschuhe, sehr begehrt. In Brasilien werden Hundefelle, insbesondere die der Dackel, zum Bespannen einer bestimmten Reibetrommel, der *Cuíca*, verwandt.

Einige Fundstücke aus dem 11. Jahrhundert zeigen, dass Katzenfell von den Wikingern getragen und im Mittelalter in Europa bevorzugt gehandelt wurde. Zu dieser Zeit und noch vor etwa hundert Jahren schätzten insbesondere französische und englische Kürschner Katzenleder als besonders geschmeidiges Material für Handschuhe. Es gibt sogar einige - wenn auch wenige - Beispiele für die Verwendung menschlicher Haut für Bucheinbände (*Anthropodermic bibliopegy*).

## Herstellung

Bei der Gerberei wird aus verderblichen, den natürlichen Abbauprozessen ausgesetzten Häuten ein dauerhafteres Produkt geschaffen. Die Häute werden zunächst in Salz oder durch Trocknen konserviert. In verschiedenen Prozessen der Wasserwerkstatt wie der Weiche, dem Enthaaren (Äschern) und Entfleischen (mechanische Entfernung des Unterhautbindegewebes), dem Entkälken und der enzymatischen Beize, wird die Haut auf die eigentliche Gerbung vorbereitet. Die gewünschten Ledereigenschaften werden bei diesen Arbeitsschritten schon wesentlich beeinflusst. Bei der eigentlichen Gerbung erfolgt die Umwandlung der bis dahin rohen Haut in Leder. In der Gerberei können verschiedene Rohstoffe eingesetzt werden. Bei der pflanzlichen Gerberei (vegetabile Gerbung,



Häutemarkt nördlich der Altstadt von Fès/Marokko



Fisshäute, gegerbt und gefärbt

Lohgerberei) werden Gerbstoffe in Eichen- oder Fichtenrinden, Auszüge aus Quebracho-, Kastanien- oder Eichenholz, Mimosa-, Sumach- und andere Holz- bzw. Rindengerbstoffe verwendet. Bei der Mineralgerbung werden Chromsalze, Aluminiumsalze Alaun (Weißgerbung) und Zirkonsalze benutzt. Neben den mineralischen und pflanzlichen Gerbstoffen werden auch synthetisch hergestellte Gerbstoffe (Syntane), Aldehyde (Glutardialdehyd, Formaldehyd) und Fettgerbstoffe (Trane) zur Gerbung verwendet. Erfolgte das Gerben früher hauptsächlich in gemauerten Gruben mit wenig Bewegung, werden diese Prozesse heute in drehbaren Fässern aus Holz, Edelstahl oder Kunststoff durchgeführt. Der Aufbau ist ähnlich wie bei einer Waschmaschinentrommel, aber mit einem Fassungsvermögen von mehreren Kubikmetern.

Die gegerbte Haut hat nach dem Gerben eine raue und eine glattere Seite. Die raue wird als *Fleischseite* (Aasseite) bezeichnet, da sie ursprünglich dem Fleisch zugewandt war. Die glatte wird als *Narben* bezeichnet und weist die arttypische Oberflächenstruktur auf. Diese *Narbenseite* kann in verschiedenen Verfahren ihrem Verwendungszweck angepasst werden. Dabei kommen chemische und mechanische Prozesse in Frage.

Die Inuit (Eskimos) stellten ihr Leder auf eine besondere Weise her. Die Häute wurden gewalkt und dann mit den Zähnen gekaut, bis sie vollkommen geschmeidig und weich geworden sind.



Lederfelle

## Dicke des Leders

Leder kann vor und nach dem Gerben gespalten werden (Spaltleder). Der Narbenspalt ist allgemein der wertvollere Teil der Haut. Der Fleischspalt hat zwei raue Seiten und wird zu Veloursleder verarbeitet oder mit einer Beschichtung (Zurichtung, Zurichtmittel) als Ersatz für Narbenleder verwendet. Nicht gespaltenes Leder wird auch Vollleder genannt. Die genaue Dickenregulierung erfolgt nach der Gerbung durch „Falzen“. Dabei werden durch rotierende Messerwalzen Falzspäne vom Leder abgetragen.

## Nachgerbung, Färbung, Fettung

Grundlegende Ledereigenschaften wie Weichheit oder Fülle entstehen durch die Arbeiten der Wasserwerkstatt und durch die Gerbung. Die Nachbehandlung mit Gerbstoffen (Nachgerbung), Farbstoffen und Fettungsmitteln legt die Eigenschaften für den speziellen Verwendungszweck des fertigen Leders fest. Insbesondere bei der Mineralgerbung bestimmen diese Arbeitsschritte die späteren Ledereigenschaften, dies sind vor allem Weichheit, Dehnbarkeit, Fülle, Wasseraufnahme und Färbbarkeit.

Die natürliche Farbe des Leders hängt vom Gerbmittel ab. In der Lohgerberei erhält man rötliche-bräunliche Töne, in der Weißgerberei weißes, in der Chromgerbung blaugrünes und mit Fettgerbstoffen gelbliches Leder. Unter anderem deshalb wird Leder oft gefärbt.

Das Färben war bereits den Ägyptern bekannt, wo das Leder noch kostspielig mit Purpurschnecken gefärbt wurde. Bis etwa 1860 war der Färber auf Naturrohstoffe angewiesen, heute werden fast ausschließlich Anilinfarbstoffe verwendet. Es wird zwischen sauren, substantiven, basischen, Entwicklungs- und Schwefelfarbstoffen unterschieden. Die Färbung erfolgt hauptsächlich in der Flotte in Fässern, kann aber auch durch Spritzen, Bürsten oder auf Walzenauftragsmaschinen durchgeführt werden. Gefärbtes Leder wird entweder durchgefärbt oder oberflächengefärbt. Die verwendeten Farbstoffe gehen eine chemische Bindung mit dem Leder ein und beeinträchtigen nicht den natürlichen Oberflächencharakter. Erhalten diese Leder keine oder nur eine geringe Beschichtung (Trockenzurichtung), werden sie als Rein-Anilinleder bezeichnet. Komplett anilingefärbtes Leder hat auf der Ober- und der Unterseite die gleiche Farbe, Kratzer oder Abnutzung fallen dadurch weniger auf. Stärker

beschichtetes Leder wird als semianilin, oder wenn die Beschichtung mit deckenden Pigmenten versetzt ist, als gedecktes Leder bezeichnet.

## Oberflächenbehandlung

Durch die Oberflächenbehandlung der Narbenseite kann Leder bestimmte Effekte erhalten. Es kann glänzend oder matt werden. Auch die Widerstandsfähigkeit der Oberfläche kann wesentlich verbessert werden. Die Behandlung erfolgt heute hauptsächlich mit umweltfreundlichen, wasserverdünnbaren Bindemitteln, Pigmenten und Additiven. Der Auftrag erfolgt in mehreren Schichten durch Spritzen, Gießen oder über Walzenauftragsmaschinen (Rollercoater). Die Schichten werden durch Bügeln, Polieren oder Glanzstoßen geglättet und fest auf dem Leder verankert. Durch Krispeln, Prägen, Perforieren oder Chagrinieren kann dem Leder eine künstliche Oberflächenstruktur verliehen werden. Auch Lackleder, bei dem ein Öllack, ein Kaltlack oder ein Folienlack auf die Lederoberfläche aufgetragen wird, gehört mit zu den Veredelungen der Lederoberfläche. Wird die Fleischseite geschliffen und als sichtbare Oberfläche verwendet, erhält man ein Rauhleder. Bei Nubukleder wird die Narbenseite mit feinem Schleifpapier angeschliffen.

## Lederdekoration

Leder in seinen vielschichtigen Anwendungsbereichen, kann nach der Verarbeitung auch vielfältig dekoriert und geschmückt werden. Leder kann bemalt, neu eingefärbt werden. Mit heißen Stempeln kann man ein Muster im Blinddruck (Gaufrage) oder auch in Gold oder anderen Farben aufbringen. Bei den Ägyptern waren Verzierungstechniken wie Ausschneiden, Ritzen, Unterlegen, Flechten, Schneiden, Punzen, Sticken und andere Applikationen gebräuchlich. In der Buchbinderei kennt man auch die Technik des Lederschnitts. Leder kann auch durch Pressen und durch Druck reliefartig geformt werden.

## Verwendung

Leder und Pelz gehören zu den ältesten von der Menschheit verwendeten Materialien, zusammen mit Holz, Stein und Wolle. Neben Schuhen und Lederbekleidung werden Erzeugnisse aus Leder als Lederwaren oder Portefeuilles bezeichnet. Darüber hinaus hat Leder Bedeutung und Verwendung in der Fetischszene und im BDSM. In der Geschichte wurde Leder auch für Waffen und Geräte verwendet. Verschiedene Holzgegenstände wurden mit Leder überzogen, wie z. B. Truhen und kleinere Kästen. Auch Würfelbecher bestanden meist aus Leder, ebenso wie die ersten Eimer.

Pergament ist eine bearbeitete aber ungegerbte Tierhaut, die seit dem Altertum als Beschreibstoff verwendet worden ist. Es ist damit ein Vorläufer des Papiers. Die nordamerikanischen Indianer verwendeten Leder für die Bekleidung oder als Zelt (Tipi).

Leder wird nach der Fläche des *Fells* gehandelt. Dies geschieht noch heute in Quadratfuß. Ein Quadratfuß Leder sind 929 cm<sup>2</sup>.



## Schuhe, Bekleidung und Accessoires

Der überwiegende Teil des weltweit produzierten Leders wird für Schuhe verwendet. Für die Herstellung eines Schuhs sind verschiedene Lederarten mit gänzlich unterschiedlichen Eigenschaften erforderlich. Je nach Bauart des Schuhs z. B. sehr festes, verschleißfestes Sohlenleder, schweißbeständiges Brandsohlenleder, gut hautverträgliches Futterleder, festes aber prägbares Rahmenleder und natürlich Leder für das Schuhoberteil, das allgemein Oberleder bezeichnet wird und je nach Schuhart unterschiedliche Eigenschaften aufweist. Typische Lederarten für Oberleder sind: Kalbbox (Boxcalf), Rindbox, Chevrax (Ziegenleder), Hunting (Veloursleder aus Vollrind oder Kalb), Waterproof, Schuh- und Stiefelnappa.



Römische Militärstiefel Caligae

In der Bekleidungsindustrie wird Leder vor allem für Kleidungsstücke (z. B. Jacken, Hosen, Mäntel), Handschuhe, Schuhe oder Hüte verwendet. Daneben gibt es Schutz- und Funktionskleidung aus Leder, wie Fliegerjacken und Motorradkleidung, aber auch Schürzen oder Helme. Lederjacken und Lederhosen sind fester Bestandteil der Alltagskleidung, in den 1950er Jahren bekamen sie eine zeitlang den Status aufmüpfiger Jugendbekleidung. Vor allem in Bayern und Österreich ist die Lederhose ein wesentlicher traditioneller Bestandteil der Trachten.

Accessoires aus Leder können sein: Taschen, Handtaschen, Geldbörsen (siehe auch Geldkatze) oder Portemonnaies, Koffer, Kästen, Schmuckkästen, Futterale, Gürtel und Hüte. Es wird auch in Form von Lederschnüren als Schmuckkette mit Anhänger, als Lederarmreif angeboten oder auch als Haarschmuck angeboten.



Handschuhe aus Leder

## Sonstige Lederprodukte



Lederfußball

In der Möbelindustrie wird Leder vor allem als Bezug verwendet z. B. von Möbeln wie Ledersofas und Ledersesseln. Im weitesten Sinn können hier auch die Ledersitze und Cockpitverkleidungen in den Autos genannt werden. Im Sportbereich wird Leder vor allem für Überzüge von Bällen (z. B. Fußball, Handball, Medizinball) oder Sportgeräten (z. B. Böcke eingesetzt, zusätzlich für Sportgeräte wie den Boxsack, Boxhandschuhe, Knieschoner und Sportbekleidung, v.a. Sportschuhe).

Schon früh wurde Leder für Transmissionsriemen, Treibriemen und Ähnliches verwendet. Auch der Blasebalg wurde teilweise aus Leder hergestellt. In modernen Autos nimmt die Verwendung von Leder als Innenraum- oder Lenkradverkleidung sowie für Ledersitze zu (siehe dazu auch: Fahrzeugtuning). Vor der Verwendung von Kunststoffen wurde Leder auch zur Isolierung von elektrischen Kabeln eingesetzt.

Auch als Dichtung, als Putz-, Wasch- und Filtrierleder wird Leder verwendet. Ein historisches Beispiel für die Verwendung von Lederriemen ist das Bandalier.

In der Buchbinderei wurde seit ihren Anfängen Leder für Einbände und Einbandgestaltung verwendet. Der Buchbinder überzieht auch Kästen, Schubler, Etuirs und Futterale mit Leder. Leder wurde auch in Form von Tapeten (historisch auch *Goldledertapeten*) für die Wandgestaltung verwendet.



Lederhalfter einer Browning

Leder ist der überwiegende Bestandteil von Sätteln und Geschirren für Pferde und Ochsen in Reitsport und Landwirtschaft. Auch einige Peitschen (Martinet, Tawse) werden aus Lederschnüren hergestellt. Aber nicht nur für Arbeitstiere wurden Lederriemen verwendet, sondern auch für Hundehalsbänder oder Hundeleinen.

Die römischen Soldaten trugen teilweise unter dem Schienpanzer oder Kettenhemd eine Art Polsterweste aus Leder, die an Schultern und Unterkante mit Lederstreifen verziert war. Auch die Militärstiefel der römischen Armee waren aus Leder, genau wie die Hüllen, die während des Marsches über die Schilde gezogen wurden, um diese vor Feuchtigkeit und Beschädigungen zu schützen. Zudem wurde auch für die Pfeil-Köcher der Bogenschützen verwendet. Alternativ wurden auch Pistolen-Holster oder Scheiden für Messer aus Leder gefertigt. Auch Masken, vor allem auch im afrikanischen Raum, waren Symbol eines Kriegers.

## Materialbezogene Berufe

Es gibt zahlreiche lederverarbeitende Handwerksberufe, wie den Täschner oder österreichisch Taschner, Feintäschner, Gerber, Punzierer, Buchbinder, Kürschner, Rierner, Sattler, Schuster oder Schuhmacher. Im Mittelalter waren Lederberufe in Zünften organisiert, wie z. B. Lederer, sowie Weiß- und Rotgerber und Corduanmacher. Weitere eher historische Berufsbezeichnungen sind: Beutler, Futteralmacher und Pergamentler.

Ein relativ neuer Beruf, der sich auch mit Leder beschäftigt ist der Restaurator, insbesondere der Buchrestaurator und der Restaurator archäologischer Funde.



Reitsattel

## Lederbezeichnungen

### Nach Herstellung

- **Blankleder** ist ein pflanzlich gegerbtes, leicht gefettetes naturelles oder gefärbtes Rindleder für Sättel, Taschen und Reitzug.
- **Chromleder** wurde 1858 erfunden und wird mit dreiwertigen Chromsalzen gegerbt.
- **Glacéleder** besteht meist aus Lamm-, Zickel- oder Kalbleder. Es ist sehr weich und durch eine besondere Behandlung waschbar.
- **Pflanzlich gegerbtes Leder.** Diese Leder wurde mithilfe von pflanzliche Gerbstoffen (z. B. Rinden) gegerbt. (Geringe Schrumpfungstemperatur).
- **Rhabarberleder** durch Gerbung mit Extrakten der Rhabarberwurzel.

- **Sämischleder** ist eine Ledersorte, welche nur mittels Fett (ursp. Waltran) gegerbt wird. Als Rohmaterial wurden Häute von Gämsen, Rehen, Hirschen, Rentieren, Ziegen, Schafen, Kälbern und Rindern verwendet.
- **Spaltleder** wird durch spalten gewonnen. Es wird zwischen Narbenspalt und Fleischspalt unterschieden. Ersteres besteht aus Papillar- und Retikularschicht und hat eine glatte Oberfläche. Zweiteres besteht nur aus Retikularschicht. Die glatte Oberfläche wird bei Fleischspalten oft durch Beschichtungen mit Folien oder Polymeren nachgebildet.
- **Alaungegerbtes Leder** wurde mit Aluminiumsalzen gegerbt. (Weißgerberei).
- **Vollleder** sind die nach der Haarseite gelegenen oberen Teile der Haut, die durch Bearbeitung von der Fleischseite oder durch Spalten auf die erforderliche Stärke gebracht worden sind.
- **Waterproof** sind meist Rindsleder mit Chromgerbung, die durch eine spezielle Behandlung eine geringe Wasseraufnahme und eine gute Wasserdichtigkeit zeigen. Sie werden hauptsächlich für schwere Schuhe (Bergschuhe, Militärschuhe, Arbeitsschuhe) verwendet.
- **Juchtenleder** wurde früher mit Weidenrinden gegerbt und mit Birkenteeröl imprägniert. Es war sehr haltbares und gut wasserdichtes Leder - der Vorläufer von Waterproof.
- **Schrumpfleider** zeigt eine stark strukturierte Narbenschicht. Die Struktur entsteht durch eine spezielle Gerbung und ist wesentlich beständiger als bei geprägten Ledern. es wird für Schuhe, Taschen und Koffer verwendet.
- **Altgrubengerbung** wird für die Herstellung von hochwertigen Sohlenledern durchgeführt. Sie ist eine reine Vegetabilgerbung und es dürfen nur gemahlene Gerbmittel (Rinden, Blätter, Hölzer und Früchte) und keine Gerbextrakte verwendet werden. Die Gerbdauer beträgt bis zu 12 Monate.

### Nach Herkunft der Haut

- Fischleder (von Hai, Rochen, Dorsch, Aal)
- Känguruleder
- Krokodilleder
- Lammleder
- Rindsleder, Kalbsleder
- Hirschleder
- Pferdeleder
- Schlangenleder
- Schweinsleder
- Seehundleder
- Straußenleder
- Yakleder
- Ziegenleder, Zickelleder (vom Zicklein)



Beschlagnahmte Handtaschen aus Krokodil- und Schlangenleder

### Nach Oberflächenbehandlung

- Anilinleder hat eine dünne Zurichtschicht, die natürliche Struktur des Leders ist hierbei gut zu erkennen.
- Farbleder
- Hühnerleder stammt nicht von Hühnern sondern bezeichnet ein feines Schaf- oder Ziegenleder.
- Lackleder ist mit einer dicken Lackschicht bedecktes Leder.
- Nubukleder entsteht, wenn die Oberfläche von Rinds- oder Kalbleder angeschliffen wird, so dass eine feine, samtartig aufgeraute Struktur entsteht.
- Rauhleder ist ein Sammelbegriff für Ledersorten mit aufgerauter Oberfläche, die auf der Fleisch- oder der Narbenseite geschliffen werden.
- Schleifbox ist nicht, wie oft vermutet wird, ein Artikel der Firma Boxmark - diese sollen angeblich gar keine Schleifmaschinen besitzen - sondern ein Rindleder, dessen fehlerhafter Narben angeschliffen wird und bei dem

durch eine relativ dicke Zurichtung ein künstlicher Narben nachgebildet wird. Schleifbox wird hauptsächlich für Schuhe und Taschen verwendet.

- Veloursleder hat eine rauhe, samtige Oberfläche. Sie wird von der Retikularschicht gebildet, die mehr oder weniger fein geschliffen wird. Veloursleder wird hauptsächlich aus Schweins- oder Rindshäuten, Schaf-, Ziegen- oder Kalbfellen hergestellt. Werden Flieschspalte von Rindern oder Kälbern verwendet, spricht man von Spaltvelours.

### Nach Verwendungszweck

- Sattler- und Täschnerleder
  - Geschirrleder. Geschwärztes oder naturelles, stärker gefettetes Blankleder.
  - Feinleder. Sammelbezeichnung für die in der Feintäschnerlei verarbeiteten Lederarten.
- Schuhunter- und Schuhoberleder
  - Sohlleder. Dickes, wenig biegsames Leder pflanzlicher Gerbung, meist Rindsleder
- Möbelleder und Autoleder
- Bekleidungs- und Handschuhleder
- Buchbinderleder
- Futterleder
- Technische Leder

### Sonderbezeichnungen

- Boxcalfleder wird vor allem für Schuhe verwendet. Dieses Kalbleder ist geschmeidig und hat eine hohe Reißfestigkeit.
- Chagrin – Leder vom Pferd. Chagrin ist ein relativ grobes Leder mit grüner Färbung und mit viel Narben. Früher wurde es aus dem Leder des Pferde- oder Eselrückens, heute kann es auch aus Hai- oder Rochenhaut gewonnen werden. Meistens handelt es sich aber um ein chromgegerbtes Rind- oder Mastkalbleder mit Pressnarben und Deckfarbenzurichtung.
- Chamoisleder ist ein fettgegerbtes Gämsenleder mit gutem Saugvermögen.
- Chevreauleder. Ursprünglich wurde mit diesem Begriff ein feines Glacéleder französischer Herkunft bezeichnet. Heute versteht man unter Chevreau ein Ziegenleder, chromzweibad oder kombiniert gegerbt. Für eine Imitation dieses Leders wird oft Schafleder verwendet (sogenannte *Chevretten*)
- Cordovan – Leder nur aus der Kruppe des Pferdes
- Ecraséleder werden aus Kapziegen- oder Kalbhäuten hergestellt. Es zeichnet sich nach der Färbung durch kleine, helle „Äderchen“ aus.
- Goldchrom ist ein aus Häuten junger Rinder hergestelltes Chromleder, das gelb gefärbt wird. Es wird vorwiegend zu Sportbällen verarbeitet.
- Juchtenleder ist russischen Ursprungs. Mit *jufte* „Paar“ wurde die Herstellungstechnik beschrieben. Für die Gerbung wurden immer zwei Häute des sibirischen Steppenrinds zusammengeheftet und mit Weidenrinde gegerbt. Auch heute werden Rinderhäute mit Birkenrindenteeer und Weidenrinde gefärbt; danach erhält es eine starke Fettung. Juchtenleder ist rötlich, wasserdicht und geschmeidig.
- Knautschlack ist ein Leder, das mit einer wasserunlöslichen Lackschicht bedeckt ist.



Fensterleder oder Chamoisleder

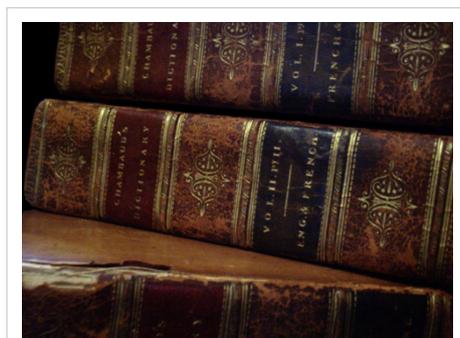
- „Kühlendes Leder“. Im Gegensatz zu herkömmlichem Leder soll es sich in der Sonne nicht aufheizen, weil hier Farbpigmente das Sonnenlicht reflektieren.
- Maroquin oder Marokkoleder ist ein geschwärztes Saffianleder. In der Buchbinderei versteht man darunter aber sumachgegerbtes, grobnarbiges, sehr haltbares Ziegenleder aus den Häuten der afrikanischen Kapziege.
- Mastboxleder ist ein Boxcalfleder aus den Häuten von Mastkälbern.
- Mochaleder oder Mochetto sind auf der Narbenseite geschliffene tuchartig zugerichtete Lamm- und Zickelfelle oder Kalbfelle. Mit das teuerste und haltbarste Handschuhleder, an Weichheit nicht zu übertreffen.
- Nappaleder ist sehr weich und flexibel und wird für Geldbörsen, und andere Lederwaren verwendet. Es wird aus Lamm-, Zickel- oder Kalbleder hergestellt. Nappaleder hat noch die natürliche Oberfläche, auf der einstmals die Haare gesessen haben. Diese Oberfläche ist nicht abgeschliffen.
- Oasenziege ist ein Buchbinderleder, hergestellt aus den Häuten der Sudanziege in Zentralafrika
- Saffianleder. Echtes Saffianleder wird aus den Fellen ostindischer Ziegen hergestellt und mit Sumach gegerbt. Die Bezeichnung wird von der Stadt Safi in Marokko hergeleitet. Für eine Imitation dieses Leder werden Schafsfelle verwendet, die auch unter der Bezeichnung *Mouton* verkauft werden.
- Skivers sind sehr dünne Narbenspalte von Schafleder. Sie fallen teilweise bei der Produktion von Schaf- oder Lammvelour an und bestehen oft nur aus der Papillarschicht. Dadurch haben sie auch meist sehr schlechte mechanische Eigenschaften und werden bei der Verarbeitung auf Trägermaterialien aufkaschiert. Verwendet werden sie zB. als Futterleder für Kleinlederwaren.
- Vacheleder. Sohlleder, aus Kuhhäuten hergestellt.
- **Vachetta Leder** oder **Vachetten** wurde für Koffer und Handtaschen verwendet und bekannt durch Louis Vuitton. Das Leder dunkelt und verändert sich bei Berührung mit Wasser und anderen Flüssigkeiten. Es wird aus großflächigen, vor der Gerbung gespaltenen Rinderhäuten hergestellt. Man unterscheidet zwischen den stark gefetteten und geschwärzten *Schmiervachetten*, *Koffer-* und *Taschenvachetten* und *Lack-* und *Autovachetten*.
- Walknappaleder ist wie Nappaleder sehr weich aber glänzt auf Grund seiner Behandlung weniger.
- Waschleder ist meist ein Lammlleder, das sehr dünn ausgeschliffen wird. Es ist voll waschbar.
- **Wildleder** wird heute noch gelegentlich als Bezeichnung für angeraute Leder benutzt, richtiger und mittlerweile gebräuchlicher ist *Veloursleder*. Tatsächliches „Wild“leder stammt von Gämsen, Rehen, Hirschen, ostindischen Ziegen, Antilopen, Gazellen oder Rentieren.

## Lederkonservierung

### Schäden

Leder kann - wie jedes Material - durch eine konstante Nutzung geschädigt werden. Dazu gehören Schäden wie Einrisse, Abrieb, Flecken, Wasserränder, usw. Oft findet man bei Ledern auch Risse in der Oberfläche, die durch eine zu hohe Trockenheit oder auch einen zu hohen Fettgehalt im Leder ausgelöst worden sein können.

Schuhe können, abgesehen durch die tägliche Beanspruchung – auch durch den Fußschweiß geschädigt werden. Um dieses zu vermeiden wird heute Leder verwendet, das schweißbeständiger ist. Kleidungsstücke wie Jacken und Hosen sind ebenso jeder Witterung, d.h. Regen, Schnee, Sonne und Wind ausgesetzt, die auf Dauer auch schädigend auf das Leder einwirken können.



Buchrücken von Lederbänden mit Brüchen im Falz

Das gegerbte Leder kann im Laufe der Zeit *übersäuern*. Die entstehende Säure baut das Leder ab. Dieser Prozess wurde vor allem während der Gasbeleuchtung vorangetrieben, bei der schwefelhaltige Substanzen durch die Luft auch auf das Leder einwirkten. Dieses war vor allem in den Bibliotheken der Fall, so dass dieses Phänomen eine

eigene Bezeichnung erhielt: Im Englischen wird es als **red rot**, im Deutschen auch als **Roter Zerfall** bezeichnet. Das Leder wird dadurch komplett zerstört, die Oberfläche pulvert ab. Dieser Prozess resultiert bei gleichzeitiger geringer Luftfeuchte (kleiner als 40 Prozent) über einen längeren Zeitraum in einem trockenen, irreversiblen Schaden der Faserstruktur des Leders. Es werden verschiedene Hausmittel empfohlen, besser ist es doch, einen fachkundigen Restaurator zu konsultieren.

## Lederpflege

Leder sollte einen Wassergehalt von 14 bis 18 Prozent haben. Mit zunehmenden Fettgehalt nimmt der Wassergehalt des Leders ab. Durch den Wassergehalt des Leders werden Reißfestigkeit, Griff, Stand, Gewicht und Elastizität stark verändert. Der Naturfettgehalt der Haut liegt bei 1 Prozent. Nur Schaffelle weisen bis zu 12 Prozent Naturfettgehalt auf. Wie der Wassergehalt, so beeinflusst auch der Fettgehalt die Eigenschaften des Fertigladers, wie Elastizität, Reißfestigkeit, Wasseraufnahmevermögen, etc. sehr stark. Daher muss bei wertvollen Objekten mit Lederpflegemitteln vorsichtig umgegangen werden – im Zweifelsfall sollte man auf jeden Fall einen Fachmann (z. B. Lederrestaurator) zu Rate ziehen.

## Schuhe

Schuhe unterliegen vergleichsweise sehr hohen Belastungen durch äußere Einflüsse wie Schmutz (= schmirgelnde Reibung), Nässe (= Gefahr des Auswaschens von Fettungs- und Farbstoffen), Reibung und Stößen der Oberfläche (= mechanische Beschädigung), wie sie im Alltagsgebrauch nicht zu vermeiden sind. Zusätzlich wird das Leder durch Fußschweiß, Zug, Druck und Walkbewegungen ständig beansprucht. Oft kommen noch chemisch Einflüsse aus den Strumpfmaterien oder Waschmittelreste hinzu. Deshalb erfordern Lederschuhe eine regelmäßige Pflege.

Die Pflege von Glattlederschäften besteht darin, dass nach einer gründlichen Reinigung der Oberfläche eine Schuhcreme dünn aufgetragen wird und abschließend poliert wird. Dadurch entsteht ein weitgehend geschlossener Schutzfilm, der besonders bei Verwendung einer Hartwachscreme (Dosencreme) das Oberleder optimal schützt, glänzt und eine Neuanschmutzung erschwert. Bei sehr stark beanspruchten Schuhschäften (Arbeitsstiefel, Bergschuhe usw.) ist der für chromgegerbte Schäfte normaler Alltagsschuhe ausreichende Schutz durch Hartwachscreme nicht zufriedenstellend. Hierfür gibt es deshalb spezielle Pflegemittel, wie Fettwachs, Lederfette und andere.

Schuhe aus Rauhleder (Velours und Nubuk) haben sehr offenporige Schäfte und erfordern deshalb regelmäßiges gründliches Ausbürsten um den eingedrungenen Staub zu entfernen. Gelegentliches Imprägnieren mit Imprägnierflüssigkeiten oder -sprays verhindert ein vorzeitiges Neuanschmutzen und sorgt in einem gewissen Grad für einen Wasser abstoßenden Effekt.

Ledersohlen können durch spezielle Ledersohlenöle gepflegt werden. Damit wird der Abrieb verringert und es entsteht eine zusätzliche Hydrophobierung.

Werden durchnässte Schuhe durch Wärme (Strahlung oder warme Luft) beschleunigt getrocknet, besteht die Gefahr eines irreversiblen chemischen Umbaus der Lederfaser. In der Folge verhärtet das Leder, wird spröde und reißt oder bricht leicht. Das gilt sowohl für Lederschäfte (besonders gefährdet: vegetabil gegerbte Leder) wie auch für Ledersohlen. Deshalb werden durchnässte Schuhe nur mit Zeitungspapier ausgestopft, das die Feuchte aufsaugt und regelmäßig ausgetauscht wird. Dabei ist der Schuh am besten von allen Seiten von Luft umspült (beim Vorhandensein von Ledersohlen gar durch Aufhängen an eine Wäscheleine). Um den Verlust der Passform zu vermeiden, wird gegen Ende der Trocknungsphase in den noch leicht feuchten Schuh ein passender Schuhspanner eingelegt.

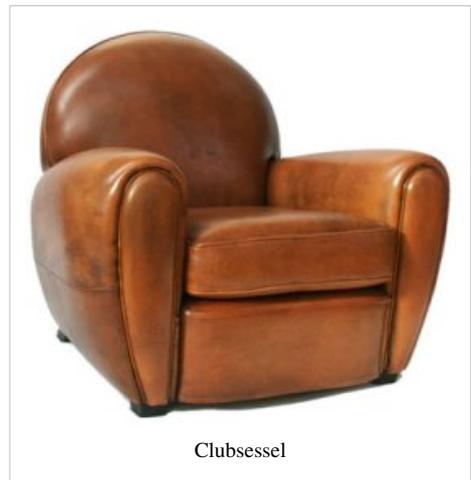
### **Bekleidung und Accessoires**

Die Reinigung der Bekleidung gehört in die Hände eines Fachmanns, wo sie meist mit organischen Lösungsmitteln durchgeführt wird. Nappaleder ist, da es eine in sich geschlossenere Oberfläche hat, besser gegen Schmutz, Wasser und Staub geschützt.

Handschuhe aus Glacéleder können mit Waschbenzin gereinigt werden. Handschuhe aus Nappaleder, Schweinsleder und Wildleder können mit weichen Waschmitteln oder Spezialwaschmitteln gewaschen werden. Sie werden dann im angezogenen Zustand gewaschen, danach werden sie aufgeblasen und langsam getrocknet. Durch Glattziehen erhält der fast trockene Handschuh seine ursprüngliche Form wieder, durch Knautschen und Dehnen kann man ihn wieder so weich wie vorher bekommen.

### **Ledermöbel**

Ledermöbel können mit Hilfe eines weichen, ggf. leicht feuchten Lappens gereinigt werden. Die Verwendung von Lederpflegemitteln ist als problematisch einzustufen. Es sollte in jedem Fall ein Fachmann aufgesucht werden, der sich auf die Reinigung und Restaurierung mit original Gerbereiprodukten spezialisiert hat.



Clubsessel

### **Lederaufbewahrung**

Wertvolle Lederobjekte sollten sorgfältig aufbewahrt werden. Dazu gehört ein Schutz vor der energiereichen Sonnenbestrahlung, vor Staub, Schmutz und Nässe. Leder wird im Museum bei einer mittleren, möglichst konstanten Temperatur und einer Luftfeuchtigkeit von 45 bis 55 Prozent r. F. konserviert. Bei einer höheren Feuchte fördert man die Schimmelbildung. Dabei sollte ein angemessener Luftaustausch gewährleistet sein.

Ist das Lederobjekt bereits geschädigt, brüchig, eingerissen, abgerieben, verzogen, mit Schimmel überzogen, sollte ein ausgebildeter Restaurator hinzugezogen werden.

### **Metaphern und Redewendungen**

Leder wird oft mit Wildheit und Ungezügeltheit in Verbindung gebracht. Vermutlich ist das darauf zurückzuführen, dass zur Gewinnung von Leder ein Tier sterben muss und der Träger deshalb ein potentieller Jäger sein muss. In dieser Funktion diente Leder lange Zeit zur absichtlichen Abgrenzung Jugendlicher von der bürgerlichen Gesellschaft (Jugendkultur). Leder haftete deshalb lange ein Hauch von Abenteuerlust und harter Männlichkeit an.

Leder kann aber auch ein Ausdruck für Konvention, Brauchtum und Tradition sein. Es wird schon sehr lange von Menschen verwendet. Daher ist es auch ein Ausdruck einer Verbundenheit mit der Vergangenheit und der Verbindung zu Natur. Bekannte Beispiele sind Trachtenjacken und die berühmte bayerische Lederhose.

In Redewendungen findet man Leder oft als Synonym für die menschliche Haut. In diesem Sinn bedeutet *jemandem das Leder gerben*, ihn zu verprügeln und *jemandem ans Leder wollen*, ihn angreifen zu wollen.

### **Alternativen zum Leder**

Aufgrund der aufwändigen und daher teuren Herstellung werden anstelle von echtem Leder oft Lederimitate, sogenanntes Kunstleder, eingesetzt. Kunstleder kann positive Eigenschaften von echtem Leder in Teilbereichen ersetzen oder sogar übertreffen (z. B. in der Reißfestigkeit - Treibriemen, im Abrieb - Schuhsohlen, in der Wasserundurchlässigkeit - Schuhe, für Schutzkleidung, im optischen Eindruck). Werden aber viele der Eigenschaften gleichzeitig gefordert, ist Leder noch immer überlegen (z. B. in der mechanischen Festigkeit und

Atmungsaktivität, Zähigkeit, Haptik, Feuchtigkeitsaufnahme, Trageverhalten bei Bekleidung). Zudem ist Leder im weiteren Sinn ein nachwachsender Rohstoff, der in fast allen Kulturen als Nebenprodukt der Nahrungsgewinnung anfällt.

## Literatur

- Rainer Atzbach: Leder und Pelz am Ende des Mittelalters und zu Beginn der Neuzeit. Die Funde aus den Gebäudehöhlräumen des Mühlberg-Ensembles in Kempten (Allgäu). Bamberger Schriften zur Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit 2.=Mühlbergforschungen 1, Bonn 2005.
- Hans Herfeld (Hrsg.): *Bibliothek des Leders*. 10 Bände. Umschau Verlag, Frankfurt am Main 1990, ISBN 3-524-82004-2. - Sehr ausführliche Quelle für Leder!!
- Gerhard E. Moog: *Der Gerber*, Eugen Ulmer KG, Stuttgart 2005, ISBN 3-8001-1228-0
- Hans Hegenauer: *Fachkunde für Leder verarbeitende Berufe*. Verlag Ernst Heyer, Essen 2001, 8. Auflage, ISBN 978-3-920454-23-8
- Werner Schmitzer: *Lederrestaurierung. Tips für Sammler*. Deutsches Ledermuseum/ Deutsches Schuhmuseum, 4. Aufl., 1991.
- Farren, Mick, *Black Power-Der Kult der schwarzen Lederjacke*, Verlag Heyne, München 1985, ISBN 3-453-35086-3

## Weblinks

- Deutsches Ledermuseum in Offenbach am Main <sup>[1]</sup>
- Geschichte des Leders im Netzauftritt des Verbandes schweizerischer Gerbereien <sup>[2]</sup>
- Lederpedia.de, umfangreiches fachspezifisches Wiki <sup>[3]</sup>

## Referenzen

[1] <http://www.ledermuseum.de/>

[2] <http://www.leder-gerbereien.ch/leder.html>

[3] <http://www.lederpedia.de/>

# Leim

---

**Leime** sind die wässrige Lösung eines Klebstoffs. Nach einer neueren Definition (DIN 16921) kann es sich um eine Lösung von tierischen, pflanzlichen oder synthetischen Grundstoffen in Wasser handeln.

Früher wurden Leime als Klebstoffe auf der Basis organischer Stoffe bezeichnet, dazu zählen die aus Häuten und Knochen gewonnenen Glutinleime (z. B. Knochenleim, Hautleim) und die aus Milcheiweiß hergestellten Kaseinleime (z. B. Quarkleim). Nun wurde durch die Normierung der ursprüngliche Begriff von Leim als Klebstoff auf Basis tierischer Eiweiße auf pflanzliche (Kleister) und synthetische Klebstoffe erweitert.

## Verwendung

Ihrem Verwendungszweck entsprechend werden Leime weiter in Holzleim, Papierleim, Tapetenkleister usw. unterteilt.

- Im Mittelalter war es das Handwerk des Vogelstellers (Vogelfängers), mit Leimruten kleine Vögel zu fangen (Vogelleim). Etwa 20 bis 30 cm lange Äste wurden mit starkem Leim (meist wasserfestem „wazzerlîm“) bestrichen. Die Vögel wurden mit Beeren und Früchten angelockt und verfangen sich in den klebrigen Ästen.
- Leimringe werden noch heute um Obstbäume gebunden, um so den Stamm hinaufkriechende Insekten zu fangen.

## Siehe auch

- Kleister
  - Klebstoff
  - Bindemittel
-

# Leindotter

Saat-Leindotter	
	
Saat-Leindotter ( <i>Camelina sativa</i> )	
Systematik	
<i>Klasse:</i>	Dreifurchenpollen- Zweikeimblättrige (Rosopsida)
<i>Unterklasse:</i>	Rosenähnliche (Rosidae)
<i>Ordnung:</i>	Kreuzblütlerartige (Brassicales)
<i>Familie:</i>	Kreuzblütengewächse (Brassicaceae)
<i>Gattung:</i>	Leindotter ( <i>Camelina</i> )
<i>Art:</i>	Saat-Leindotter
Wissenschaftlicher Name	
<i>Camelina sativa</i>	
(L.) Crantz	

Der **Saat-Leindotter** (*Camelina sativa*), auch einfach **Leindotter** oder **Dotterlein** genannt, ist eine Pflanzenart aus der Familie der Kreuzblütengewächse (Brassicaceae). Der Name „Leindotter“ stammt daher, dass andere Leindotter-Arten, wie etwa der Gezähnte Leindotter (*Camelina alyssum*), als „Unkraut“ bevorzugt in Lein-Äckern auftreten.

## Beschreibung

Der Saat-Leindotter ist eine einjährige krautige Pflanze, die Wuchshöhen von 30 bis 120 cm erreicht. Der Stängel verzweigt sich im oberen Drittel im spitzen Winkel mit aufrecht stehenden Seitentrieben. Die wechselständigen und spiralg am Stängel angeordneten Laubblätter sind lanzettlich. Die Wurzel ist dünn und spindelförmig.

Der Saat-Leindotter bildet von Mai bis Juli traubige Blütenstände. Auf 4 bis 8 mm langen Stielen sitzen zwittrige, vierzählige Blüten. Die vier Kronblätter sind meist hell- bis dunkelgelb. Durch eine besondere Anatomie der sechs Staubgefäße und der Narbe erfolgt beim Leindotter meist Selbstbefruchtung.

Acht bis 16 gelbliche bis rötliche, 1 bis 2 mm große, tonnenförmigen Samen entwickeln sich in jedem birnenförmigen, spitzen Schötchen, das beim Reifen nicht aufplatzt. Die Samen sind meist 1,7 bis 2,0 mm lang und haben ein Tausendkorngewicht (TKG) von 1 bis 1,5 g.

## Verbreitung

Leindotter ist als Kultur- und Wildpflanze in Südostasien sowie in Süd- und Mitteleuropa beheimatet.

## Nutzung

### Anbau und Nutzungsgeschichte

Leindotter stellt eine sehr alte Nutzpflanze dar, deren Nutzungsgeschichte bis in die neolithische Zeit zurückgeht. Vor allem aus der Bronze- und der frühen Eisenzeit liegen zahlreiche Funde aus dem östlichen und südlichen Europa vor, die auf die Nutzung dieser Pflanze deuten. Bis etwa 500 nach Christus war der Anbau und die Nutzung in Reinkultur weitverbreitet, ging danach jedoch stark zurück und spielt heute nur noch in Osteuropa eine gewisse Rolle.

Wie beim Raps gibt es beim Leindotter sowohl Winter- als auch Sommerzuchtformen. Er wird wie Öllein extensiv bewirtschaftet. Die in Mitteleuropa übliche Sommerform wird im März bis April ausgesät und im Juli geerntet. Sie ist tolerant gegenüber Trockenheit und Frosteinbrüchen und ist in der Bodenwahl sehr anspruchslos. Sowohl auf Sand- wie auf stark kalkhaltigen Böden ist ein Anbau möglich, der Nährstoffbedarf liegt bei etwa 100 kg Stickstoff pro Hektar. Die Erträge liegen bei 20 bis 35 dt/ha (2,0 bis 3,5 t/ha).

Mit einer Vegetationsphase von nur 120 Tagen kann Leindotter auch als Zwischenfrucht verwendet werden. In den letzten Jahren wurden zudem Untersuchungen mit Leindotter in Mischkultur mit Getreide durchgeführt. Als extensive Kulturpflanze und durch seine Eignung zum Anbau in Artenmischungen ist Leindotter für den ökologischen Landbau interessant.

## Verwendung

### Zusammensetzung von Leindotteröl<sup>[1]</sup>

Fettsäure	Anteil	in Prozent
Linolensäure		40
Linolsäure		20
Eicosensäure		20
Andere Fettsäuren		20

Die Samen wurden traditionell vor allem im Ernährungsbereich genutzt. Sie dienten gemeinsam mit Leinsamen und Weizen als wichtige Zutaten für Brot und Getreidebrei. Die Stängel werden bis heute in geringen Mengen zur Papierproduktion verwendet.

Die Samen enthalten 28 bis 42 Prozent Öl mit einem sehr hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren. Das Öl wird durch Schneckenpressen aus den reifen Samen gewonnen und hat eine, nach dem Absetzen der dunklen Farbpartikel, gelbe Farbe. Es ähnelt in Farbe und Geschmack dem Rapsöl. Für die Ernährung ist das Öl vor allem aufgrund des hohen Anteils an  $\alpha$ -Linolensäure wertvoll, während der Anteil an Erucasäure unter 4 Prozent liegt. Im südösterreichischen Raum wird das Öl (Sprachgebrauch: „Dotteröl“) häufig als wirksames Hausmittel genutzt. Oral eingenommen soll es die Immunabwehr stärken, eingerieben fördert es die Wundheilung und soll arthrotische Beschwerden lindern.

Auch in der pharmazeutischen und technischen Industrie ist Leindotteröl interessant. Aufgrund seiner schnell trocknenden Eigenschaften ist es für die Herstellung von Lacken, Farben und Firnis (zusammen mit Leinöl) sowie bei der Herstellung von ölbasierten Polymeren nutzbar. In der pharmazeutischen Industrie und im Bereich der Kosmetikerstellung (Kosmetische Öle, Cremes, Lotionen, Seife) wird wie bei der Ernährung vor allem der hohe  $\alpha$ -Linolensäureanteil geschätzt. Dieser Anteil soll durch weitere Züchtungen noch erhöht werden. Auch bei der Herstellung von Lampenölen kann Leindotteröl verwendet werden.

Leindotteröl ist zudem als Pflanzenöl-Kraftstoff einsetzbar und hat bei niedrigeren Temperaturen bessere Eigenschaften im Startverhalten als etwa Rapsöl. Die Nutzung ist allerdings nicht etabliert und entsprechende Aussagen sind nicht empirisch zu stützen. In Form von Plantanol DX 52 wird Leindotteröl auch als Additiv in Dieselmotoren verwendet. In einem aktuellen Forschungsprojekt der Universität Rostock werden derzeit die Eigenschaften einer 30:70-Mischung aus kaltgepresstem Leindotter- und Rapsöl beim Einsatz als Treibstoff für moderne Schlepper getestet.

Wie Rapskuchen kann auch der Presskuchen des Leindotters nach der Auspressung des Öles genutzt werden. Er ist aktuell nicht als Futtermittel zugelassen, weil in den vergangenen Jahren regelmäßige Kontaminierungen in importiertem Presskuchen festgestellt wurden. Eine Neubewertung und Zulassung wird jedoch in Kürze erwartet. Die Presskuchen enthalten einen Restölanteil zwischen 8,5 und 16,5 Prozent, wobei die Zusammensetzung des Öles dem extrahierten Pflanzenöl entspricht. Senfölglykoside (Glucosinolate), Phytinsäure, Tannine und Sinapin als ungünstige Verbindungen für die Tierernährung wurden in ihren Anteilen untersucht. Der Anteil an Glucosinolaten liegt sehr niedrig. Er entspricht dem von 00-Raps und ist dementsprechend unbedenklich für die Verfütterung. Der Sinapin- und der Tanningehalt ist niedriger als der in Rapskuchen, während der Anteil an Phytinsäure und dessen Abbauprodukt Inositolpentaphosphat etwas höher liegt. Methionin-, Cystin- und Threoninegehalte sind vergleichbar mit Soja-Eiweiß.

## Varietäten

- Eigentlicher Saat-Leindotter (*Camelina sativa* var. *sativa*)
- Behaarter Leindotter (*Camelina sativa* var. *zingeri*)

## Literatur

- Petra Becker: *Leindotter - Eigenschaften und Potenziale einer alten Kulturpflanze*. Pflanzenöl 3/2008; Seiten 20-21.
- Ralf Pude, Barbara Wenig: *Pflanzen für die Industrie. Pflanzen, Rohstoffe, Produkte*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow 2005; Seite 11. (PDF-Download <sup>[2]</sup>)

## Weblinks

- *Leindotter*.<sup>[3]</sup> In: *FloraWeb.de*<sup>[4]</sup>.
- Steckbrief<sup>[5]</sup>
- Über den Anbau von Leindotter als Mischfrucht.<sup>[6]</sup>
- Eintrag bei Plants for a Future.<sup>[7]</sup> (engl.)

## Referenzen

- [1] nach Pude & Wenig 2006  
 [2] [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_197industriepfl2005.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_197industriepfl2005.pdf)  
 [3] <http://www.floraweb.de/pflanzenarten/artenhome.xsql?suchnr=1023&>  
 [4] <http://www.floraweb.de>  
 [5] <http://www.inaro.de/Deutsch/KULTURPF/Leindott/Leindott.htm>  
 [6] <http://www.mischfruchtanbau.de>  
 [7] <http://www.pfaf.org/database/plants.php?Camelina+sativa>

# Leindotteröl

Leindotteröl	
Rohstoffpflanze(n)	Leindotter ( <i>Camelina sativa</i> )
Herkunft	Samen
Farbe	sattgelb bis rotgelb
Inhaltsstoffe	
Ölsäure	13,4% <sup>[1]</sup>
Linolsäure	14,8% <sup>[1]</sup>
Linolensäure	37,8%
Weitere Fettsäuren	15,4% Eicosensäure, 2,76% Erucasäure, 5,33% Palmitinsäure
Eigenschaften	
Dichte	0,919-0,926 kg/l bei 15 °C
Schmelzpunkt	-11 bis -18 °C <sup>[1]</sup>
Iodzahl	124-153
Herstellung & Verbrauch	
Verwendung	Lebensmittel, Pharmazie, Bioenergie

**Leindotteröl** wird durch das Pressen aus den Samen des Leindotters in gewonnen. Die Samen enthalten 28 bis 42 Prozent Öl mit einem sehr hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren.

## Eigenschaften

Das Öl wird in aus den reifen Samen gewonnen und hat nach dem Absetzen der dunklen Farbpartikel eine satte gelbe bis gelbrote Farbe. Es ähnelt in Farbe dem Rapsöl. Bei Raumtemperatur ist es flüssig und trocknet recht schnell, die Erstarrungtemperatur liegt bei -11 bis -18°C. Der Geruch wird als krautig oder „wie geschnittene Wiese“ beschrieben, der Geschmack ist leicht scharf und erinnert an Senföl. Neben einem reichen Fettsäurespektrum enthält das Öl sehr viele flüchtige Substanzen (verschiedene Alkohole, organische Säuren u.a.), Sterole und Tocopherole.

## Nutzung

Für die Ernährung ist das Öl vor allem aufgrund des hohen Anteils an  $\alpha$ -Linolensäure wertvoll, während der Anteil an Erucasäure unter 4 Prozent liegt. Im südösterreichischen Raum wird das Öl (Sprachgebrauch: "Dotteröl") häufig als Hausmittel genutzt. Oral eingenommen soll es die Immunabwehr stärken, eingerieben fördert es die Wundheilung und lindert arthrotische Beschwerden. In verschiedenen Studien an Hausschweinen und Menschen wurde zudem eine Cholesterinspiegel-senkende Eigenschaft des Leindotteröls festgestellt, die der von Raps- und Olivenöl vergleichbar ist. In der pharmazeutischen Industrie und im Bereich der Kosmetikherstellung wird wie bei der Ernährung vor allem der  $\alpha$ -Linolensäure geschätzt.

Auch in der technischen Industrie ist Leindotteröl interessant. Aufgrund seiner schnell trocknenden Eigenschaften ist es ähnlich wie Leinöl in der Oleochemie für die Herstellung von Lacken, Farben und von ölbasierten Polymeren nutzbar. Durch Veresterung lassen sich aus dem Öl zudem langkettige und sehr langkettige Wachsester in hohen Ausbeuten von etwa 90% gewinnen, die als Grundstoffe in der Pharmazie, Kosmetikherstellung und Spezial-Schmiermittel Verwendung finden können.

Leindotteröl ist zudem als Pflanzenöl-Kraftstoff einsetzbar und hat bei niedrigeren Temperaturen bessere Eigenschaften im Startverhalten als etwa Rapsöl, die Nutzung ist allerdings nicht etabliert und entsprechende Aussagen nicht empirisch zu stützen. In Form von Plantanol DX 52 wird Leindotteröl auch als Additiv in Dieselmotoren verwendet. In einem Forschungsprojekt der Universität Rostock wurden die Eigenschaften von Leindotteröl beim Einsatz als Treibstoff für moderne Schlepper getestet. Dabei ergab sich, dass eine 30:70-Mischung aus kaltgepresstem Leindotter- und Rapsöl in pflanzenölauglichen Motoren ohne größere Probleme eingesetzt werden kann, aufgrund einer größeren Verkokung der Düsen (Kokstrompetenbildung an den Injektoren) aber nicht angeraten wird.<sup>[2]</sup>

## Literatur

- Petra Becker: *Leindotter - Eigenschaften und Potenziale einer alten Kulturpflanze*. Pflanzenöl 3/2008; Seiten 20-21.
- Ralf Pude, Barbara Wenig: *Pflanzen für die Industrie. Pflanzen, Rohstoffe, Produkte*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow 2005; Seite 11. (PDF-Download <sup>[2]</sup>)
- S. Krist, G. Buchbauer und C. Klausberger, 2008: *Lexikon der pflanzlichen Fette und Öle*. Springer Verlag, Wien. S. 434-441. ISBN 978-3-211-75606-5

## Weblinks

- Leindotteröl - ein altes Pflanzenöl mit neuer Zukunft? <sup>[3]</sup>

## Referenzen

[1] Krist et al.

[2] *Nutzung von Leindotteröl in Mischungen mit anderen Pflanzenölen als Sonderkraftstoff*. ([http://www.nachwachsenderohstoffe.de/index.php?id=911&tabelle=fnr\\_projekte &alles=1&status=Inhalt&fkz=22009507&suche=Stichwort eingeben!&suchefkz=22009507&sucheadresse=Namen eingeben!&von=01.04.1992&bis=19.01.2010&zeitraum=formular&minz=0&maxz=1&anzahl=10&zurueck=1](http://www.nachwachsenderohstoffe.de/index.php?id=911&tabelle=fnr_projekte &alles=1&status=Inhalt&fkz=22009507&suche=Stichwort eingeben!&suchefkz=22009507&sucheadresse=Namen eingeben!&von=01.04.1992&bis=19.01.2010&zeitraum=formular&minz=0&maxz=1&anzahl=10&zurueck=1))  
Projektdatenbank der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, FKZ 22009507.

[3] [http://www.ernaehrungs-umschau.de/themen/wissenschaft\\_aktuell/?id=1434](http://www.ernaehrungs-umschau.de/themen/wissenschaft_aktuell/?id=1434)

# Leinöl

Leinöl	
Rohstoffpflanze(n)	Gemeiner Lein ( <i>Linum usitatissimum</i> )
Farbe	grünlich
Inhaltsstoffe	
Ölsäure	10–22 % <sup>[1]</sup>
Linolsäure	12–18 % <sup>[1]</sup>
Linolensäure	56–71 % <sup>[1]</sup>
Weitere Fettsäuren	4–6 % Palmitinsäure, 2–3 % Stearinsäure <sup>[1]</sup>
Eigenschaften	
Dichte	0,93 kg/l bei 15°C <sup>[2]</sup>
Viskosität	51,2 mm <sup>2</sup> /s (bei 20°C) <sup>[2]</sup>
Oxidationsstabilität	0,3 h <sup>[3]</sup>
Iodzahl	169–192 <sup>[2]</sup>
Brennwert	37,0 MJ/kg <sup>[2]</sup>
Cetanzahl	52 <sup>[2]</sup>
Herstellung & Verbrauch	
Produktion weltweit	ca. 0,8 Mio. t (Stand: 1992) <sup>[4]</sup>
Wichtigste Produktionsländer	China, Indien, Kanada <sup>[4]</sup>
Verwendung	Ernährung, Industrie (u.a. Farben, Bodenbeläge)

**Leinöl** (Leinsamenöl) ist ein Pflanzenöl, das aus Leinsamen, den reifen Samen von Flachs (*Linum usitatissimum*), gewonnen wird. Als Rohleinöl (rohes Leinöl) bezeichnet man Leinöl, dem keine anderen Öle oder sonstigen Stoffe zugesetzt sind. Neben dem Flachs werden auch andere Lein-Arten (Gattung *Linum*) zur Ölgewinnung verwendet.

## Eigenschaften

Kaltgepresstes Leinöl ist gold-gelb, warm gepresstes Öl gelblich braun. Raffiniertes Leinöl hat eine hell- bis goldgelbe Farbe. Das Öl riecht würzig nach Heu, wird als krautig bis dumpf und leicht röstig beschrieben und kann eine fischige Note aufweisen.

Frisch schmeckt das Produkt leicht nussig und heuartig, nach Lagerung eher bitter und kratzig.

## Trocknung

Aufgrund des hohen Gehalts an einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren trocknen Leinöle gut, weshalb sie z. B. als Bindemittel in Ölfarben geeignet sind. Die Trocknung ist ein oxidativer Polymerisationsprozess, der sich in Abhängigkeit von Sauerstoff, Licht, Temperatur, Luftfeuchte und Zuschlagstoffen mit katalytischen Eigenschaften (Sikkative) über Jahre bis Jahrzehnte hinziehen kann. Dabei lagert sich an die Doppelbindung der ungesättigten Säuren Luftsauerstoff an und es kommt im Weiteren zu einem komplexen Ablauf chemischer Reaktionen, der die Vernetzung der einzelnen Moleküle zur Folge hat. Das polymere Endprodukt heißt Linoxyn und ist das

Ausgangsprodukt des Linoleums. Das Volumen von Ölfarbe nimmt durch Oxidation (Aufnahme von Sauerstoff) zu, ein Verhalten, das bei der sachgerechten Anwendung von Ölfarben von Bedeutung ist (siehe unter Leinöl#Farb- und Anstrichmittel).

### **Selbstentzündung**

Leinöl neigt bei einem überaus hohen Zerstäubungsgrad zu Selbstentzündung bei Raumtemperatur. Eine unsachgemäße Handhabung von mit Leinöl getränkten Lappen und Pinseln verursacht in Schreinereien und Malerwerkstätten häufig Brände.<sup>[5]</sup>

Die Selbstentzündung geschieht wahrscheinlich durch Autooxidation von Doppelbindungen bei großer Oberfläche und somit hoher Verfügbarkeit von Luftsauerstoff. Mit einem Flammpunkt von ca. 315 °C (Marcusson) und einem Siedepunkt oberhalb von 350 °C ist Leinöl ansonsten eher schwer entzündlich.

**Vorsichtsmaßnahmen:** Mit Leinöl getränkte Textilien unbedingt auf nicht brennbarer Fläche flach zum Trocknen auslegen oder in Wasser tränken oder in einem luftdichten Behälter (Schraubglas, Metalldose) aufbewahren bzw. kontrolliert verbrennen. Pinsel mit Leinölseife auswaschen oder bis zur nächsten Benutzung in rohes Leinöl hängen.

### **Inhaltsstoffe**

Leinöl enthält größtenteils (zu 90 % und mehr) ungesättigte Fettsäuren und hat insbesondere einen hohen Anteil an der Omega-3-Fettsäure alpha-Linolensäure von 45 bis 71 %. (etwa 17 bis 23,5 % Ölsäure, 12 bis 24 % Linolsäure und 45 bis 71 % Linolensäuren)

### **Herstellung und Lagerung**

Leinöl zur Ernährung und für pharmazeutische Zwecke wird mit Schneckenpressen kalt gepresst. Heißpressung mit anschließender Extraktion mit Lösemitteln und Raffination wird bei der Gewinnung von Leinöl für technische Zwecke angewandt.

Leinöl ist sehr luftempfindlich, es schmeckt deshalb bereits nach kurzer Zeit bitter, während frisches Leinöl einen weniger ausgeprägten Geschmack besitzt. Es sollte nach dem Öffnen kühl aufbewahrt werden. Selbst bei Aufbewahrung im Kühlschrank (um 4 °C) entsteht nach einigen Tagen ein bitterer Geschmack. Auf Grund seines niedrigen Schmelzpunktes von etwa -16 bis -20 °C kann Leinöl je nach Temperatur auch im Tiefkühlfach aufbewahrt werden, ohne fest zu werden. Es ist dort über mehrere Wochen ohne Geschmackseinbußen haltbar.

## Pressung

**Heiß gepresstes Leinöl** wird ähnlich wie Kürbiskernöl hergestellt. Die getrockneten Leinsamen werden zu Mehl gewalzt, mit heißem Wasser vermengt und in einer Knetmaschine solange bearbeitet, bis eine feste, bröselige Masse entsteht, die unter Rühren geröstet wird. Anschließend wird das Öl in einer hydraulischen Presse von den Feststoffen separiert. Aus vier Kilogramm Leinsamen kann ein Liter Öl gewonnen werden. Diese Art Leinöl enthält einen hohen Anteil an Schleim- und Schwebstoffen und muss für die handwerkliche Anwendung meist mit Lösemitteln wie Terpentin verdünnt werden.

**Kalt gepresstes Leinöl** wird durch Pressung des Leinsamens durch eine Schneckenpresse gewonnen: Hierbei wird die Leinsaat mit Hilfe einer Schneckenwalze bei geringem Druck durch einen Presszylinder gedrückt. Verschiedene Düsen am Ende des Auslaufs wie auch eine Veränderung der Pressgeschwindigkeit haben Einfluss auf den Ölertrag. Bei der Kaltpressung werden Öltemperaturen von maximal 40 °C erreicht. Vor der Verwendung werden Schwebstoffe entfernt. Dies kann durch Absetzen der Schwebstoffe bei ausreichend langer Lagerung und Dekantieren des Reinöls erreicht werden.

Bei der Pressung fällt neben dem Leinöl als Koppelprodukt der feste Pressrückstand als Presskuchen an. Dieser Pressrückstand wird als hochwertiges Futtermittel vor allem für Pferde eingesetzt.

## Sonneneingedicktes und geblasenes Leinöl

Für spezielle Einsatzzwecke wird sonneneingedicktes Leinöl erzeugt. Es wird der Sonne über mehrere Monate ausgesetzt und dabei immer wieder umgerührt, damit sich kein Film bildet. Um für die Oxidation eine große Oberfläche zu haben, werden flache Wannen benutzt. Bei geblasenem Leinöl wird ein Belüfter eingesetzt, wie er für Aquarien Verwendung findet, der durch das ständige Umwälzen auch die Filmbildung verhindert.

Diese Behandlungen haben vier Ziele: Erstens wird die Konsistenz dadurch zähflüssiger, zweitens wird das Leinöl dabei gebleicht (also heller), drittens die Trockenzeit verkürzt und viertens die Volumenzunahme beim Trocknen verringert, was die Gefahr der Runzel- und Rissbildung vermindert. Verwendung findet das sonneneingedickte Leinöl in erster Linie im Geigenbau und in der Malerei, besonders der flämischen Barock-Malerei. Beim Geigenbau wird das Leinöl so stark eingedickt, dass die Masse zur Homogenisierung durch einen Fleischwolf gedreht werden muss.

Als Holzschutz ist solches Dicköl nicht geeignet, da es zu schnell trocknet und deshalb nicht tief genug eindringt. Hingegen ist schwach geblasenes Leinöl mit geringer Viskosität in Eindringvermögen und Trocknungsverhalten in etwa gekochtem Leinöl gleichzusetzen.



Leinöl-Handpresse, in der historischen Holländerwindmühle Straupitz ausgestellt



Futtermittel Leinpresskuchen aus einer Schneckenpresse

## Verwendung

### Nahrungsmittel

Inbesondere in der Lausitz und in Schlesien wird Leinöl in milchhaltigen Speisen wie Quark mit Kartoffeln oder Pellkartoffeln, Gurkensalat oder sauren Hering in Sahnesauce verwendet. Durch die Ölschicht auf den Milchspeisen werden diese nicht so schnell sauer, ein Umstand, der früher im Sommer intensiv genutzt wurde.

*Lausitzer Leinöl* ist eine geschützte geographische Herkunftsbezeichnung.



Brötchen in Leinöl und Zucker dippem/ditschen

### Heilpflanze in der Kosmetik

Leinöl, das Öl der Heilpflanze des Jahres 2005, ist reich an omega 3 und omega 6 Fettsäuren und unterstützt auf natürlichem Wege die Revitalisierung der Haut. Hochwertiges Leinöl wird im Spreewald für die Herstellung von Naturseifen verwendet. Unter Verwendung von Nelkenöl und Lemongrasöl wirkt Leinölseife stimulierend und erfrischend.

### Farb- und Anstrichmittel

Leinöl war und ist das wichtigste Bindemittel für Ölfarben, noch vor anderen trocknenden Ölen (z. B. Mohnöl, Walnussöl). Die ersten bekannten Erwähnungen des Gebrauchs von ölgebundenen Farben für die Kunstmalerei finden sich in Herstellungsrezepten aus dem 8. Jahrhundert<sup>[6]</sup>; die Farben bestehen heute vorzugsweise aus gekochtem Leinöl und Pigmenten und enthalten je nach beabsichtigter Anwendungstechnik auch Verdickungsmittel wie Aluminiumstearate zur Erhöhung der Filmdicke, Seifenbildner (um Wasserlöslichkeit zu erreichen) und Sikkative (»Trocknungs-« bzw. Abbinde-Beschleuniger).

Das Volumen von Ölfarbe nimmt durch Oxidation (Aufnahme von Sauerstoff) zu, im Gegensatz zum Volumen von Acrylfarbe, das beim Trocknen abnimmt. Deshalb können bindemittelreiche Ölfarbschichten darüber liegende, bindemittelarme Farbschichten sprengen, was zur ölfarben-typischen Rissbildung führt: Sie ist daran zu erkennen, dass nur jeweils die obere Farbschicht gerissen und die darunterliegende unversehrt zu sehen ist. Diese Art von Rissen wird als *Schwundriss* bezeichnet, zur Unterscheidung von den *Altersrissen*, die bis zum Malgrund (Holzplatten oder Leinwand) hinabreichen. Oft verursacht zu hoher Bindemittelanteil »Speckigwerden«: Dabei wirft die Malschicht durch ihre Ausdehnung Falten, sie bildet also Runzeln, die meist in den dunkleren Partien von Bildern zu beobachten sind, weil die gebräuchlichen dunklen Farbpigmente (braune Erden, Ruß oder Kohle) eine relativ geringe Teilchengröße (um 1 µm) aufweisen und dadurch mehr Bindemittel bedürfen als gröbere Pigmentteilchen.

Der Bindemittelbedarf eines Pigments wird durch die Ölzahl ausgedrückt, einer international genormten Kennziffer (ISO 787 Teil 5), die beschreibt, wie viel Gramm Lackleinöl benötigt werden, um 100 Gramm eines Pigments zu einer zusammenhaltenden, kittartigen Substanz anzuteigen.

### Konservierungsmittel

Leinöl ist ein natürlicher Holzschutz und wird seit Jahrhunderten für die Imprägnierung von Holz (z. B. Fachwerk, Fenster, Türen, Holzfassaden), Putz, Stuck, Mauerwerk und Terracotta verwendet. Es ist wasserabweisend, jedoch dampfdiffusionsoffen und dringt im Gegensatz zu anderen Bindemitteln (Acrylaten) tief ins Holz ein und polymerisiert im Innern des Holzes zu einer sehr stabilen Verbindung. Die Eindringtiefe und damit die konservierende Wirkung steigt mit der Fließfähigkeit des Öls und wird daher durch Erwärmung oder die

Verwendung sauberer und damit dünnflüssigerer Ölqualitäten verbessert. Leinöl ist auch im Außenbereich bei starker Wetterbelastung als Holzschutz geeignet.

Runzel- und Rissbildung werden bei Bau und Handwerk durch mehrmaliges dünnes Aufbringen von Anstrichen und etwa zweitägiges Durchtrocknen jedes einzelnen Anstrichs vermieden. Jeweils einige Stunden nach dem Anstrich wird noch nicht eingezogenes Öl mit einem Lappen oder Pinsel abgenommen bzw. verteilt. Besonders tief dringt reines, kalt gepresstes, rohes (nicht gekochtes) Leinöl ein, es eignet sich daher am besten zum Grundieren. Gekochtes Leinöl hingegen eignet sich am besten für den Schlussanstrich und zur Farbenherstellung, da es schneller trocknet und stärker glänzt.

Um den Trockenvorgang (das heißt die Polymerisation) zu beschleunigen, wird Leinöl unter Luftabschluss verkocht. Dadurch entsteht eine anpolymerisierte Form des Öls, das sogenannte Hartöl. Werden diesem zusätzlich Trocknungsstoffe beigesetzt, erhält man Leinölfirnis. Eine solche Firnis dringt nicht so tief ins Holz ein und muss daher mit Lösemitteln (Terpenen) verdünnt werden. Der Holzschutz ist folglich weniger wirksam als bei Verwendung von unverdünntem, kaltgepresstem, rohem Leinöl.

Zur Konservierung kann Leinöl mit oder ohne Pigmentbeimischung verwendet werden. Bei hohem Pigmentanteil sind auch helle Farbtöne ein guter UV-Schutz. Hochpigmentierte Leinölfarben können mit bis zu 10 Volumenprozenten kaltgepresstem gekochtem Leinöl verdünnt werden.

Leinöl ist ein Bestandteil des Anstrichmittels Labsal, eines Schutzanstrichs aus Wurzelteer, Leinöl und einem Sikkativ (Trocknungsbeschleuniger). Dieser wurde in der Schifffahrt zur Konservierung von Naturfasertauwerk und umwickelten Stahltrossen, teilweise auch von Holz, eingesetzt.

Im Mittelalter wurde Leinöl als Korrosionsschutzmittel für Rüstungen und Waffen verwendet (Brünieren). Man verwendete es früher auch im Fahrzeugbau. Heute kehrt man in Oldtimerkreisen, in der Denkmalpflege und beim gesunden Bauen wieder zu dieser ungiftigen Art der Konservierung zurück. Das Öl bildet eine wasserunlösliche Verbindung mit  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen im Rost. Zusätzlich bildet das Öl nach dem Abbinden einen rissfreien Überzug.

Durch den Zusatz von Blei(II,IV)-oxid ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) zu Leinöl entsteht Mennige (Bleimennige), ein klassisches und hoch wirksames, aber giftiges Korrosions- und Holzschutzmittel, das schon von den Phöniziern um 700 v. Chr. zur Konservierung von Schiffen sowohl innen als auch außen angewendet wurde. Dabei wirkte das Blei giftig und bewuchshemmend in der Außenschicht und als Fungizid im Innenbereich. Die Verwendung des Bleioxids ist jedoch nur noch mit Ausnahmegenehmigung – z. B. für Restauratoren – zulässig. Deshalb wird bei modernem Holz- und Rostschutz mit Leinölfarbe statt des giftigen Bleioxids heute Eisen(III)-oxid verwendet. Diese rote Eisenmennige ist ungiftig. Die schimmel- und pilzhemmende Wirkung wird durch die Beigabe von Zinkweiß erreicht.

## Biokraftstoff

Leinöl hat durch seinen niedrigen Stockpunkt<sup>[7]</sup> bessere Kaltstarteigenschaften als Rapsöl. Allerdings führt die hohe Iodzahl zu einem sehr schnellen Antrocknen an Luft (durch den Luftsauerstoff), was die Verwendung im Treibstoffsystem erheblich erschwert.<sup>[8]</sup> Für die Erzeugung von Biokraftstoffen hat Leinöl derzeit keine praktische Bedeutung.

## Weitere Verwendungen

Leinöl oder Leinöl-Firnis wird zur Herstellung von Fensterkitt verwendet.

## Literatur

- S. Krist, G. Buchbauer und C. Klausberger, 2008: Lexikon der pflanzlichen Fette und Öle. Springer Verlag, Wien. S. 246–250. ISBN 978-3-211-75606-5

## Weblinks

- Thomas Seilnacht: Leinöl <sup>[9]</sup>
- Verarbeitung von Leinöl und Ölfarbe, PDF <sup>[10]</sup>
- Brandschutz Tipp: Vorsicht beim Umgang mit Leinöl zur Holzpflege <sup>[11]</sup>

## Referenzen

- [1] Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaft: Fettsäurezusammensetzung wichtiger pflanzlicher und tierischer Speisefette und -öle (<http://www.dgfett.de/material/fszus.htm>) (PDF)
- [2] FNR: Biokraftstoffe Basisdaten Deutschland. Oktober 2008. ([http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_174-basisdaten\\_biokraftstoff-freigabe.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174-basisdaten_biokraftstoff-freigabe.pdf)) (pdf)
- [3] Bertrand Matthäus: Welches Fett und Öl zu welchem Zweck? Merkmale und Spezifikationen von Ölen und Fetten. ([http://www.dgfett.de/material/welches\\_fett.pdf](http://www.dgfett.de/material/welches_fett.pdf)) (PDF)
- [4] Axel Diederichsen: Lein (*Linum usitatissimum* L.) – der Allernützlichste, seine Abstammung und heutige Bedeutung. ([http://www.genres.de/infos/pdfs/bd01/01\\_08.pdf](http://www.genres.de/infos/pdfs/bd01/01_08.pdf)) (PDF), S. 4–5.
- [5] Vorsicht beim Umgang mit Leinöl zur Holzpflege ([http://www.feuerwehr-reutlingen.de/archiv/2007/a\\_berichte/april/leinoel.html](http://www.feuerwehr-reutlingen.de/archiv/2007/a_berichte/april/leinoel.html))
- [6] Wolfgang Boesner (Hrsg.): *Katalog Fa. Boesner Künstlerbedarf*. Witten 2009/2010, S. 332.
- [7] inaro.de zu den Kaltstarteigenschaften (<http://www.inaro.de/Deutsch/ROHSTOFF/ENERGIE/Oele/kennoele.htm>)
- [8] Waren-Informationen zum Leinöl beim TIS – Transport-Informationen-Service (<http://www.tis-gdv.de/tis/ware/oele/leinoel/leinoel.htm>)
- [9] <http://www.seilnacht.com/Lexikon/Leinoel.htm>
- [10] <http://www.leinoelpro.de/8.0.html>
- [11] <http://www.feuerwehr-vellberg.de/tip.htm>

# Leinölfirnis

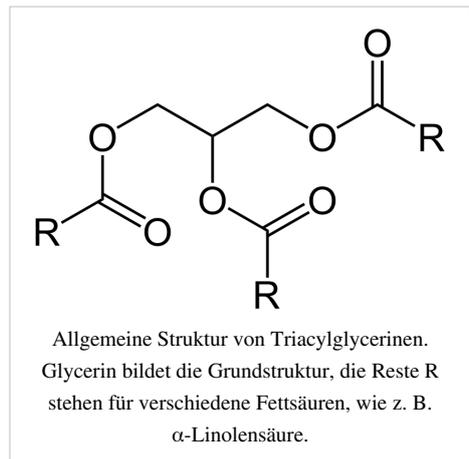
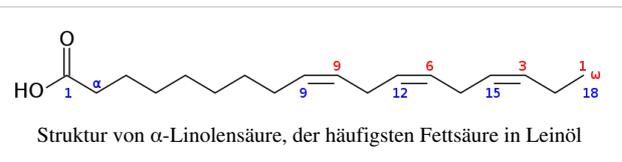
Die **Leinölfirnis** ist ein Anstrichmittel, das nach dem Aushärten eine klare, wasserabweisende Schutzschicht (*Firnis*) aus Linoxin bildet. Es wird vor allem für Holz im Innen- und Außenbereich, aber auch für andere Materialien verwendet. In der Ölmalerei werden Ölfarben häufig aus Leinöl und verschiedenen Zusätzen erzeugt, die auf der Leinwand zur Ausbildung einer Firnis führen.

Die Leinölfirnis wird aus Leinöl und weiteren Zusätzen, wie beispielsweise Sikkativen (Trocknungsmittel), hergestellt und ist honiggelb und leicht dickflüssig.

## Zusammensetzung

(siehe auch Artikel Leinöl und Linoxin)

Leinölfirnis besteht im Wesentlichen aus gekochtem Leinöl. Dieses kann auch ohne Zusätze verwendet werden, um eine Firnis zu erhalten. Der auch als Trocknung bezeichnete Aushärtungsprozess dauert jedoch deutlich länger. Durch Trocknungsmitteln (*Sikkative*: verschiedene Schwermetallsalze organischer Säuren) wird er deutlich beschleunigt. Durch Kochen der Leinölfirnis findet bereits eine teilweise Aushärtung statt, so dass eine schnellere Verarbeitung bzw. Trocknung möglich ist. Nachteilig ist das schlechtere Eindringen in das zu versiegelnde Material. Ein Verdünnen mit Lösungsmitteln, wie z. B. Terpentinöl oder Testbenzin zu sogenanntem Halböl (1:1-Mischung) ist jedoch möglich.<sup>[1]</sup>



## Trocknung

Leinöl härtet durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft. Dabei werden pro Sauerstoffatom zwei Doppelbindungen an Fettsäureresten aufgebrochen und an dieser Stelle Sauerstoffbrücken zwischen diesen Fettsäureresten gebildet. Diese chemische Reaktion vernetzt die Ölmoleküle (Triacylglycerine) miteinander. Da die Triacylglycerine jeweils drei Fettsäurereste enthalten, sind zahlreiche Verknüpfungsmöglichkeiten gegeben. Bisher ist der Prozess noch nicht vollständig verstanden.<sup>[2]</sup> Bei reinem Leinöl kann das Trocknen, je nach Schichtdicke und Untergrund, mehrere Tage dauern. Leinölfirnis härtet durch die als Katalysator fungierenden Sikkative wesentlich schneller (etwa 24 h bei 20 °C).<sup>[1]</sup>

## Anwendungsbereich

### Korrosionsschutz

Leinölfirnis kann zur Behandlung von Holz, Metall und anderen Materialien verwendet werden. Nach dem Aushärten bildet Leinölfirnis eine zäh-elastische, wasser- und witterungsbeständige dünne Schicht. Diese dient als Schutz vor Korrosion und ist ein Holzschutz für den Innen- und Außenbereich. Aufgrund dieser Eigenschaften wird Leinölfirnis vor allem im Bootsbau sowie auch zur Behandlung von Möbeln (Tisch- und Küchenarbeitsplatten) verwendet. Da Leinölfirnis mit beliebigen Lacken überstrichen werden kann, ist es auch als Grundierung verwendbar.

## Herstellung von Ölfarben

(siehe Artikel Ölfarbe)

Zur Herstellung von Ölfarbe werden Farbpigmente mit Leinölfirnis zu einem Brei vermischt und fein verrieben. Diese Mischung kann mit etwas Terpentinöl oder Terpentinersatz auf Streichfähigkeit verdünnt werden. Industriell gefertigte Ölfarben enthalten in der Regel noch weitere Hilfsstoffe.

## Weitere Anwendungen

Bei der Herstellung von Linoleum ist Leinölfirnis ein Zwischenprodukt.

In früheren Zeiten wurde Firnis auch benutzt, um Gasballons luftdicht zu vernähen. Dänische Polarforscher versuchten, damit den Nordpol zu erreichen.

Außerdem kann Leinölfirnis auch bei Oldtimern verwendet werden, um noch rostfreien, aber leicht blättrigen Originallack zu binden; nach dem Aushärten bildet er hier eine dichte und feste Schutzschicht.

Beim Firnisbrand wird Leinöl oder Leinölfirnis zur Verzierung von Metall verwendet.

## Verarbeitung

Leinölfirnis wird auf den gereinigten Untergrund aufgetragen. Holz sollte man vorher fein anschleifen. Die Verarbeitungstemperatur sollte nicht unter 15 °C liegen. Besser sind 20 °C oder mehr, da die Firnis dann leichter einzieht und schneller aushärtet. Wenn möglich sollte man die Firnis in einem Wasserbad auf 35-40° C erhitzen.<sup>[3]</sup>

Auf Holz wird die Firnis satt, nass in nass aufgetragen. Es erfolgen mehrere Aufstriche, bis das Holz keine Firnis mehr aufnimmt. Auf nichtsaugenden Untergründen hingegen sollte sie so dünn wie möglich aufgetragen werden.

Überstände müssen nach einer Einzugszeit von typisch 30 Minuten bis 1 Stunde vollständig mit einem Tuch abgenommen werden. Sie würden sonst eine klebrige Oberflächenschicht hinterlassen.

Einige Holzarten (z.B. Thuja) enthalten Hemmstoffe, die die oxidative Härtung erheblich verzögern können.

Ein Liter Firnis reicht, je nach Saugfähigkeit des Untergrundes, für 5 bis 10 m<sup>2</sup>. Bei Verwendung als Grundierung kann Leinölfirnis auch mit Terpentinöl verdünnt verarbeitet werden. Dazu werden sie im Verhältnis 1:1 zum sogenannten Halböl gemischt.

Mit Leinölfirnis benetzte Tücher, Papier oder Staub sollten gewässert werden, da sonst die Gefahr von Selbstentzündung besteht. Große Gefahr besteht vor allem bei zusammengeknüllten Lappen, weil hier die Reaktionswärme schlecht abgeführt werden kann.

## Ökobilanz

Stiftung Warentest bewertet die ökologischen Eigenschaften von Leinölfirnis sehr positiv:<sup>[3]</sup>

- Energieverbrauch = gering
- Ressourcenverbrauch = gering
- Umweltbelastung durch Schadstoffe = gering
- Haltbarkeit = gering
- Ausbesserungsfähigkeit = sehr gut
- Entsorgung = gut
- Gesundheit = gut

Der einzige Kritikpunkt ist also die geringe Haltbarkeit.

## Weblinks

- *Leinöl und Leinölfirnis* <sup>[4]</sup>, Leinölfirnis selber herstellen und anwenden, private Internetseite mit Abbildungen
- Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau (IRB): *Leinöl mit Trocknungsprozess und Empfindlichkeiten sowie komplexe Firnisse* <sup>[5]</sup>, Informationen zur Chemie von Leinölfirnis und der Reaktion zu Linoxid, inklusive Abbildungen

## Siehe auch

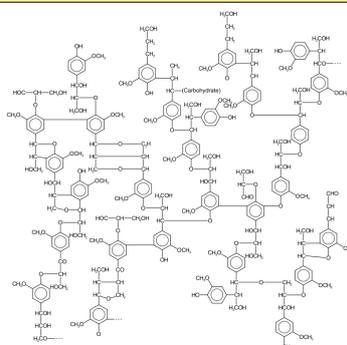
- Kitt – traditioneller Fensterkitt enthält u. a. Leinölfirnis
- Labsal – wird aus Leinölfirnis und Teer hergestellt

## Referenzen

- [1] *Leinöl und Leinölfirnis* (<http://rolfrost.de/firnis.html>), private Internetseite zur Herstellung und Anwendung von Leinöl und Leinölfirnis, abgerufen am 8. März 2010
- [2] Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau (IRB): *Leinöl mit Trocknungsprozess und Empfindlichkeiten sowie komplexe Firnisse* (<http://www.baufachinformation.de/denkmalpflege.jsp?md=2003067116060>), abgerufen am 8. März 2010
- [3] Armin Radünz, Andreas Lohse: *Renovieren*; Stiftung Warentest und Verbraucherzentrale Nordrheinwestfalen, 2006, ISBN 978-3-937880-24-2; insbesondere S. 23, 52
- [4] <http://rolfrost.de/firnis.html>
- [5] <http://www.baufachinformation.de/denkmalpflege.jsp?md=2003067116060>

# Lignin

### Strukturformel



Beispiel einer Ligninstruktur

### Allgemeines

Name	Lignin
CAS-Nummer	9005-53-2
Art des Polymers	Biopolymer, Copolymer
Kurzbeschreibung	hell- bis dunkelbraun gefärbt
<b>Monomer</b>	
Monomer	Cumarylalkohol, Coniferylalkohol, Sinapylalkohol
Summenformel	$C_9H_{10}O_2$ , $C_{10}H_{12}O_3$ , $C_{11}H_{14}O_4$
Molare Masse	$150,18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , $180,20 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , $210,12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
<b>Eigenschaften</b>	
Aggregatzustand	fest

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

**Lignine** (aus dem lateinischen *lignum*, Holz) bilden eine Gruppe von phenolischen Makromolekülen, die sich aus verschiedenen Monomerbausteinen zusammensetzen. Es handelt sich um feste Stoffe, die in die pflanzliche Zellwand eingelagert werden und dadurch die Verholzung der Zelle bewirken (Lignifizierung). Etwa 20 % bis 30 % der Trockenmasse verholzter Pflanzen bestehen aus Ligninen, damit sind sie neben der Cellulose und dem Chitin die häufigsten organischen Verbindungen der Erde. Die Gesamtproduktion der Lignine wird auf etwa 20 Milliarden Tonnen pro Jahr geschätzt.<sup>[1]</sup>

Da Lignine wesentlich für die Festigkeit von pflanzlichen Geweben sind, ist die Evolution der landlebenden Pflanzen und vor allem der Bäume sehr eng mit der Bildung von Lignin verknüpft. Nur mit Lignin können Pflanzen Festigungselemente ausbilden, welche die Stabilität größerer Pflanzenkörper außerhalb des Wassers gewährleisten – im Wasser sorgt der Auftrieb für die nötige Stabilität.<sup>[2]</sup>

## Funktion

Lignin hat als Stützmaterial und verhärtetes Polymer eine Reihe von wichtigen Aufgaben für die Pflanze. Lignine sind wesentlich für die Festigkeit von pflanzlichen Geweben, wobei sie vor allem für die Druckfestigkeit von zentraler Bedeutung sind, während die eingelagerten Cellulosefasern die Zugfestigkeit gewährleisten. Es handelt sich also um eine Durchdringung von reißfesten, biegsamen Fasern (Cellulose) mit einem dichten und starren Polymer als Füllmaterial (Lignin).<sup>[3]</sup> Als Analogien sind auch technische Materialien wie Stahlbeton oder naturfaserverstärkter Kunststoff entsprechend aufgebaut.

Pflanzen ohne Lignin können durch die Cellulose zwar beträchtlichen Zugkräften standhalten, gegenüber Druck sind sie dagegen empfindlich. Ohne Lignin können keine Festigungselemente ausgebildet werden, die bei fehlendem Auftrieb durch das Wasser die Stabilität größerer Pflanzenkörper gewährleisten und entsprechende Tragestrukturen entgegen der Druckwirkung durch die Gravitationskraft aufbauen. Auch die Ausbildung von Verzweigungen und Astsystemen zur Schaffung großer photosynthetisch wirksamer Flächen kann nur durch eine Stabilisierung der Äste erfolgen.<sup>[4]</sup>

Außerdem dient Lignin als Kittmaterial für den Zellverbund über die Mittellamelle. Es bietet Schutz gegen Eindringen von Wasser in das Zellwandmaterial und hält dieses somit in den Leitgefäßen (Xylem und Phloem) sowie im Innern der Zellen. Weitere Schutzwirkung besteht gegenüber UV-Licht sowie mechanischer Beschädigung und dem Eindringen von Schädlingen. Schließlich kann Lignin nur schwer von Bakterien bzw. Pilzen abgebaut werden und hemmt infolgedessen das Wachstum pathogener Mikroorganismen passiv<sup>[5]</sup> sowie aktiv durch den Aufbau von Wundlignin in Bereichen mit mechanischer Beschädigung.<sup>[4]</sup> Eine ähnliche Struktur mit einem analogen Aufbau stellt das Suberin dar, das vor allem in den Zellwänden des Phellems (Kork) vorkommt.

Die Evolution der landlebenden Pflanzen und vor allem der Bäume ist sehr eng mit der Ligninbiosynthese verknüpft. Das Lignin ist entsprechend erst mit dem Auftreten dieser Pflanzen als echtes Lignin anzutreffen während in ursprünglicheren Pflanzen wie Grünalgen nur die Bausteine oder lignin-ähnliche Polymere vorhanden sind.<sup>[6]</sup> Die aktuelle Annahme ist, dass Lignin eine Neuentwicklung und damit ein gruppenbegründendes Merkmal (Autapomorphie) der Gefäßpflanzen darstellt.<sup>[7]</sup> Wahrscheinlich konnte es sich zuerst als Abwehrstoff gegenüber



Höhenwachstum kann bei Pflanzen nur durch die Druckfestigkeit des Lignins entstehen

Pilzinfektionen in Form von Wundlignin etablieren und nahm darauf aufbauend die zentrale Funktion als Stabilisationsmaterial ein.<sup>[4]</sup> 2009 konnte allerdings auch in Rotalgen der Art *Calliarthron cheilosporioides* Lignin nachgewiesen werden.<sup>[8]</sup> Dies wirft die Frage auf, ob es entweder konvergent sowohl bei den höheren Pflanzen als auch bei den Rotalgen entstanden ist, oder vielleicht bereits früh in der Entwicklung der Eukaryoten auftauchte und bei anderen Organismen wieder verschwunden ist.

## Eigenschaften

Lignin ist sehr fest bis spröde und hell- bis dunkelbraun gefärbt. Es ist optisch isotrop, UV-Licht wird von dem Material fast vollständig absorbiert, sichtbares Licht zum Teil.

Lignin stellt allerdings keine einheitliche Substanz dar, sondern eine Gruppe von phenolischen Makromolekülen, die sich aus verschiedenen Monomerbausteinen zusammensetzen. Dabei wird durch die Kombination ähnlicher Grundmoleküle eine dicht vernetzte, amorphe Masse aufgebaut. Die Struktur besitzt im Vergleich zu Polysacchariden wesentlich weniger polare Gruppen, wodurch Lignine hydrophob und damit in Wasser und vielen anderen Lösungsmitteln nicht löslich sind. Aus diesem Grund sind sie biologisch wie chemisch sehr schwer abbaubar.

## Struktur und Zusammensetzung des Lignins

Lignine sind dreidimensionale und amorphe Netzwerke (Polymere) aus aromatischen Grundbausteinen, die in vielfältiger Form miteinander verknüpft sind. Neben aromatischen Bindungen enthalten sie viele weitere Kohlenstoff-Kohlenstoff-Einfach- und Doppelbindungen, zudem kommen viele phenolische Gruppen vor.

Es handelt sich um höhermolekulare (relative Molekülmasse etwa 5000–10000) Abkömmlinge der Phenylpropanoide. Da die Makromoleküle allerdings in alle Raumrichtungen wachsen, wobei besonders die Mittellamellen eine starke Ausdehnung ermöglichen, und auch sekundär miteinander verkettet sind, entspricht die Ligninmasse bei einem ausgewachsenen Baum zuletzt wahrscheinlich einem einzigen Lignin-Polymermolekül, dessen Masse dann mehrere Tonnen beträgt.<sup>[3]</sup>

Abhängig von der Holzart setzt es sich aus Strukturen zusammen, welche auf die Basisbausteine p-Cumarylalkohol, Coniferylalkohol und Sinapylalkohol (Monolignole) zurückzuführen sind (siehe Biosynthese). Da das Lignin in einem radikalischen Prozess entsteht, bei dem die Radikalbildung, aber nicht deren Weiterreaktion, enzymatisch erfolgt, sind die Zusammensetzung und die Anteile der einzelnen Alkohole stark variabel; eine gerichtete Verknüpfung nach einem immer gleichen Schema existiert nicht.<sup>[1]</sup> Neben der Variabilität jedes einzelnen Ligninmoleküls unterscheidet sich zudem das Lignin verschiedener Holz- bzw. Pflanzenarten durch die prozentualen Anteile der Alkohole: Nadelholz enthält überwiegend Coniferyl-Einheiten, Laubholz mehr Sinapyl-Elemente und das Lignin der teilweise verholzten Gräser und anderen Einkeimblättriger zeichnet sich durch einen hohen Cumaryl-Anteil aus. In geringen Mengen werden zudem Zimtsäuren und Zimtaldehyde (die Ausgangsstoffe der Basis-Alkohole) in die Matrix integriert.<sup>[9]</sup>

In der Analytik sind verschiedene Nachweisreaktionen für Lignin bekannt, die auf dem Aufbau des Stoffes beruhen. Zur Feststellung der Anwesenheit von Lignin kommt es zu einer Rotfärbung durch salzsaure Phloroglucinlösung. Diese Reaktion geht auf die in die Ligninmatrix eingebetteten Zimtaldehyde zurück.<sup>[9]</sup> Durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Lignine in Nadelhölzern und Laubhölzern kann durch die unterschiedliche Färbung, die mit diesem Nachweis erreicht wird, zwischen den beiden Holztypen unterschieden werden. Nadelhölzer färben sich hierbei kirschrot, Laubhölzer rotviolett. Außerdem ist eine Gelbfärbung mit Anilin/Schwefelsäure und eine Violettfärbung mit Schiffschem Reagenz möglich. Zur qualitativen Analyse wird vor allem die Gaschromatographie eingesetzt.

## Ligninanteile

### Zusammensetzung von pflanzlicher Biomasse<sup>[10]</sup> Angaben in Prozent

	Hexosen (Cellulose)	Pentosen (Hemicellulosen)	Lignine
Nadelholz	57–60	7–11	27–32
Birkenholz	45–47	21–27	19–20
Buchenholz	50–54	19–24	22–23
Weizenstroh	35–39	22–24	18–25
Maisspindeln	37–44	32–35	15–19
Bagasse	42–50	29–42	16–21 <sup>[11]</sup>

Die nebenstehende Tabelle stellt die Anteile von Lignin, Cellulose und Hemicellulosen bei verschiedenen Biomasserohstoffen dar. Dabei handelt es sich vor allem um kommerziell relevante Hölzer und lignocellulosehaltige Reststoffe.

### Lignin als Zellwandverstärkung

Pflanzliche Zellwände bestehen aus Cellulosefibrillen, die in eine Matrix aus Pektinen, Hemicellulosen, Proteinen und Lignin eingebunden sind. Dabei lagern sich die Cellulosemoleküle aus jeweils etwa 100 Einzelmolekülen parallel zu so genannten Elementarfibrillen bzw. Micellarsträngen zusammen, die durch Wasserstoffbrücken stabilisiert werden. Jeweils 20 dieser Micellarstränge bilden gemeinsam eine Mikrofibrille mit einem Durchmesser von etwa 20 bis 30 nm. Die Mikrofibrillen wiederum können sich zu Makrofibrillen mit einem Durchmesser von etwa 400 nm zusammenlegen, dabei entstehen Zwischenräume von etwa 10 nm, die als interfibrilläre Räume bestehen bleiben. Die interfibrillären Räume dienen unter anderem dem Wassertransport in der Zellwand, außerdem werden in diese Zwischenräume größere Moleküle wie Hemicellulosen, Pektine und Lignin zur Festigung der Cellulosestruktur eingelagert (Inkrustierung).<sup>[12]</sup>

Bei den meisten pflanzlichen Geweben beträgt der Ligninanteil nur etwa 1 %, bei aufgrund von Druckbelastungen verholzten Pflanzenteilen kann er über 30 % der Gesamtmasse betragen; man spricht in diesen Fällen von Lignocellulose. Neben Lignin können auch verschiedene mineralische Substanzen für die Inkrustierung zuständig sein, darunter etwa Silikate bei Gräsern, Riedgräsern und Schachtelhalmen oder Calciumcarbonat bei Kalkalgen.<sup>[3]</sup>

Bei einer Verholzung wird die ursprüngliche Zellwandmatrix durch das Ligninpolymer mit den eingelagerten Cellulosefasern ersetzt. Die Cellulosefasern sind dabei so dicht in das Polymer eingepackt, dass sie sich nicht mehr gegeneinander verschieben können und auch ihre Quellfähigkeit verlieren.<sup>[3]</sup> Eine besondere Form der Verholzung findet im sogenannten Reaktionsholz statt: Holzbereiche, die besonders starken Belastungen ausgesetzt sind, verstärken sich kontinuierlich. Diese Reaktion fällt allerdings unterschiedlich aus, bei waagrecht wachsenden Ästen der Nadelbäume kommt es beispielsweise aufgrund der Druckbelastung verstärkt zu einer Verholzung der Astunterseite durch ligninreiches Druckholz. Laubbäume hingegen verstärken bei der gleichen Beanspruchung vor allem die Astoberseite mit cellulosereichem Zugholz ohne Ligninanteile.<sup>[3]</sup>

## Xylemverholzung

Druckbeanspruchung entsteht nicht nur bei Konstruktionselementen, sondern auch in den Bereichen der Pflanze, die einem hohen Innendruck standhalten müssen. Dies ist vor allem in den Leitbahnen für den Wassertransport im Stamm und in den Wurzeln gegeben, da hier das Wasser entgegen der Schwerkraft transportiert wird und Druck auf die umliegenden Gewebe ausübt. Entsprechend bilden sich auch hier Verholzungen, die zu Zellwandröhren mit hohem Ligninanteil führen. Der wasserabweisende (hydrophobe) Charakter ist bei dieser Funktion eine wesentliche Eigenschaft, da er ein Austreten des Wassers aus den Leitbahnen in das umgebende Zellgewebe verhindert und somit den Wassertransport über weite Strecken zulässt.



Teilweise verholztes Leitbündel beim Gartenkürbis

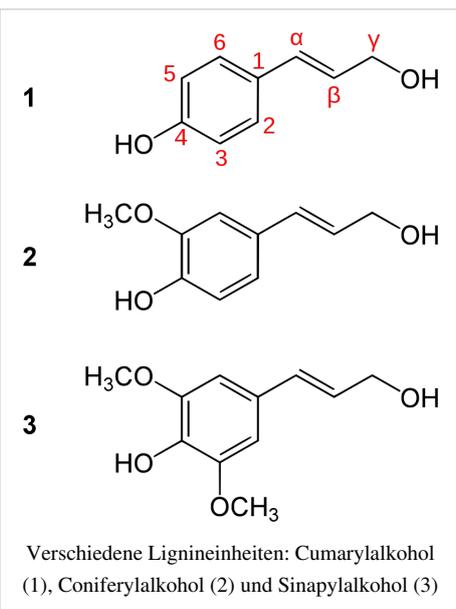
Diese wasserleitenden Elemente des Xylem, die aufgrund ihrer Größe und ihres Aufbaus in Tracheen und Tracheiden unterschieden werden, können bei Landpflanzen gemeinsam mit dem xylemverstärkenden Sklerenchym zu den wichtigsten tragenden Strukturen werden.<sup>[3]</sup>

## Biosynthese

### Biosynthese der Ligninvorstufen

Das Lignin ist ein Abkömmling der Phenylpropanoide, die sich selbst wiederum vom L-Phenylalanin ableiten. Durch Abspaltung von Ammoniak durch eine Phenylalanin-Ammoniak-Lyase (PAL) (EC 4.3.1.5<sup>[13]</sup>) entsteht aus dem Phenylalanin eine Zimtsäure. Diese wird durch weitere Enzyme zu *p*-Coumaryl-Coenzym A umgesetzt. Diese Verbindung ist das Ausgangsprodukt für weitere Modifikationen, beispielsweise Hydroxylierungen am Aromatenring und nachfolgenden Methylierungen.<sup>[14]</sup> Im letzten Schritt werden die an Coenzym A gebundenen Zwischenprodukte durch eine zinkhaltige Cinnamalkohol-Dehydrogenase (CAD) (EC 1.1.1.195<sup>[15]</sup>) zu den Monolignolen reduziert, wobei immer NADPH als Reduktionsmittel verwendet wird.<sup>[1]</sup> Diese zur Biosynthese von Lignin führenden Alkohole sind *p*-Cumarylalkohol (H-Einheit), Coniferylalkohol (G-Einheit) und Sinapylalkohol (S-Einheit).<sup>[16]</sup>

Die Zusammensetzung der Lignine hängt vor allem vom Mengenverhältnis der einzelnen Monolignole und den Reaktionsbedingungen ab.<sup>[16]</sup> In Bedecktsamigen Pflanzen ist das Lignin insbesondere aus Sinapyl- und Coniferylalkohol aufgebaut, in Nacktsamigen Pflanzen dominiert Coniferylalkohol und Gräser verwenden alle drei Monolignole. Eine Schlüsselfunktion kommt dabei der CAD zu, die durch ihre unterschiedliche Substratspezifität wahrscheinlich für die unterschiedlichen Anteile der Alkohole in den verschiedenen Pflanzengruppen verantwortlich ist: CAD aus Bedecktsamigen Pflanzen und Gräsern reduziert alle drei Zimtaldehyde während für das CAD aus Nacktsamigen Pflanzen Sinapylaldehyd nur ein schlechtes Substrat darstellt und entsprechend weniger stark umgesetzt wird.<sup>[1]</sup>

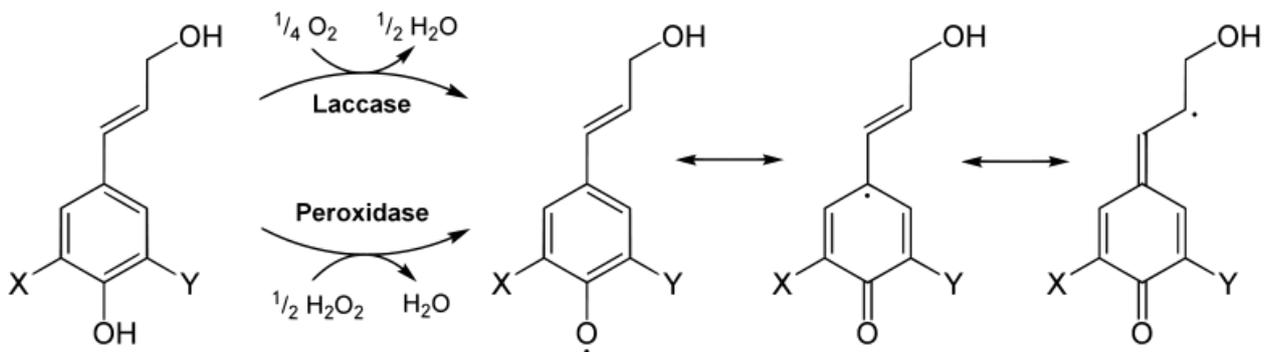


## Ligninsynthese

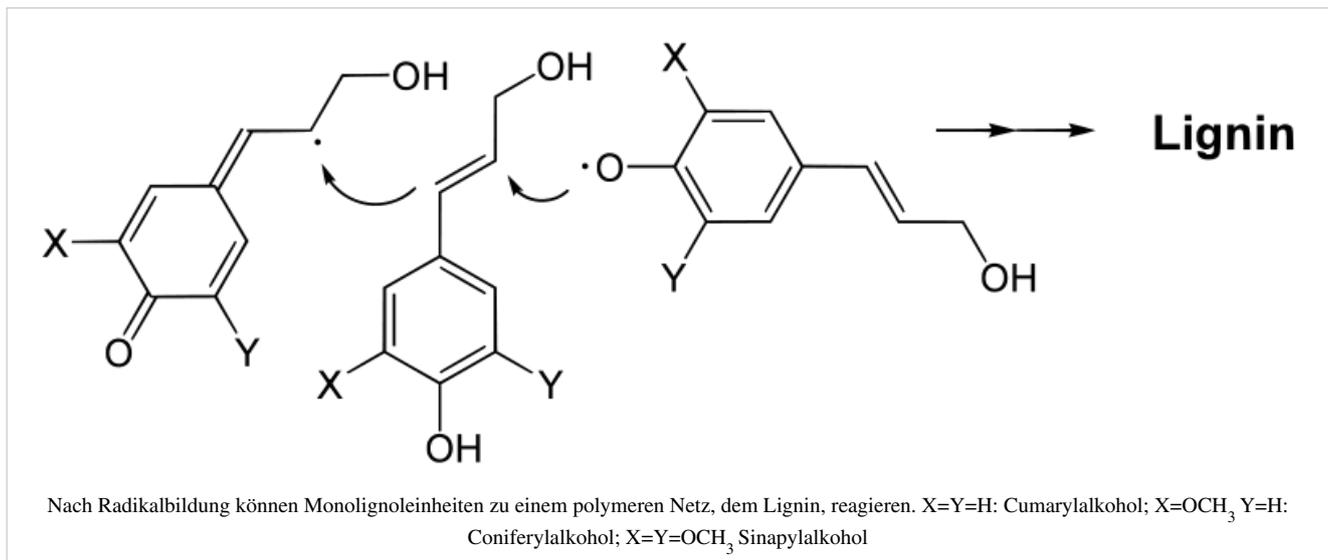
Aufgrund der Zusammensetzung aus den einzelnen Bausteinen und den vielfältigen Polymerisierungsmöglichkeiten können Lignine unterschiedlichste Aufbauten besitzen und bilden entsprechend eine ganze Klasse von Verbindungen.<sup>[12]</sup> Sie werden erst in den interfibrillären Räumen aus den als Vorstufen dienenden Alkoholen aufgebaut. Wie aber die Monolignole aus der Zelle exportiert werden, ist noch nicht ganz geklärt. Wahrscheinlich werden diese als Glucoside – Glucocumarylalkohol, Coniferin und Syringin – nach außen transportiert.<sup>[5]</sup> Hierbei werden die Alkohole über ihre phenolische OH-Gruppe  $\beta$ -glycosidisch an Zucker (Glucose) gebunden und sind in dieser Form in Wasser besser löslich. So können die Moleküle durch das Plasmalemma und den Apoplast der Zelle transportiert werden und in die Cellulose-Zwischenräume infiltrieren. Schließlich werden durch  $\beta$ -Glycosidasen der Zellwand die Zuckermoleküle abgespalten. Solche  $\beta$ -Glycosidasen wurden bereits in manchen Pflanzen identifiziert.<sup>[14]</sup> Ob die Monolignole passiv durch die Zellwand diffundieren oder durch Transportsystem nach außen gelangen, ist noch Gegenstand der Forschung.

Die exportierten Monolignole werden dann über eine enzymatische Oxidations-Polymerisations-Reaktion spontan zu einer amorphen dreidimensionalen Struktur verknüpft.<sup>[17]</sup> Hierbei beginnt die Lignifikation an Ecken und der Mittellamelle von Xylemzellen. Den Polymerisationsprozess katalysieren extrazelluläre Peroxidasen aus Wasserstoffperoxid bzw. Laccasen aus Sauerstoff, dabei werden Phenoxyradikale gebildet. Woher indessen das Wasserstoffperoxid stammt, ist noch unklar.<sup>[5]</sup> Das einzelne Elektron ist über das gesamte Molekül delocalisiert und stabilisiert.<sup>[17]</sup> Dies ermöglicht verschiedene Knüpfungspunkte für die Bildung des netzartigen Lignins. Lignin enthält chirale Zentren, mit herkömmlichen Methoden kann jedoch keine optische Aktivität nachgewiesen werden.<sup>[18]</sup>

Ob die Vernetzung gesteuert werden kann, ist noch Gegenstand der Forschung. Möglicherweise können extrazelluläre Glykoproteine, die *Dirigenten-Proteine*<sup>[19]</sup>, eine gewisse Spezifität bei der Vernetzung bewirken.<sup>[5]</sup>  
[20] [21]



Verschiedene Monolignole werden enzymatisch zu Radikalen umgesetzt. Das Radikal ist hierbei mesomeriestabilisiert und ist über das Molekül verteilt. X=Y=H: Cumarylalkohol; X=OCH<sub>3</sub> Y=H: Coniferylalkohol; X=Y=OCH<sub>3</sub> Sinapylalkohol



Die Lignineinlagerung verläuft in drei Phasen. In der ersten Phase lagert sich das Makromolekül in die Zellecken und die Mittellamelle, nachdem die Pektineinlagerung in die Primärwand abgeschlossen ist. Anschließend erfolgt eine fortschreitende Verholzung der S2-Schicht der Sekundärzellwand. Die Hauptlignifizierung erfolgt nach der Ausbildung der Cellulose-Mikrofibrillen in der S3-Schicht. Innerhalb der drei Phasen und damit auch in den unterschiedlichen Schichten variiert die Zusammensetzung der Lignine.<sup>[1]</sup>

### Gentechnische Veränderung der Lignin-Biosynthese

Da die Entfernung des Lignins aus dem Holz für die Zellstoffproduktion und perspektivisch vor allem für die Herstellung von Biokraftstoffen (Cellulose-Ethanol)<sup>[22]</sup> zu den aufwändigsten Produktionsschritten gehört, gibt es verschiedene Bemühungen, die Ligninmenge bereits im Holz durch grüne Gentechnik zu reduzieren. Dies geschieht vor allem durch Eingriffe in die für die Synthese der Monomere notwendigen Gene, unter anderem durch „Ausschalten“ der Cinnamylalcohol-Dehydrogenase (CAD) und der Kaffeesäure-O-Methyltransferase (COMT) durch Antisense-RNA.<sup>[23]</sup>

Die entsprechenden Techniken befinden sich aktuell vor allem an Pappeln und Weiden noch in der Erforschung für den Anbau in Kurzumtriebsplantagen und wurden für die technische Umsetzung noch nicht realisiert, eine effektivere Delignifizierung im Zellstoffprozess konnte jedoch bereits nachgewiesen werden.<sup>[23]</sup> Allerdings wurde auch festgestellt, dass der Effekt der Ligninreduktion nicht gleichmäßig ist, und Umwelteinflüsse wahrscheinlich einen größeren Einfluss auf die Ligninproduktion haben als die Genveränderung.<sup>[24]</sup>

### Ligninabbau

Lignin kann sowohl biologisch als auch durch verschiedene chemisch-technische Verfahren abgebaut werden. Der biologische Ligninabbau stellt dabei einen Prozess der Zersetzung von Holz durch Bakterien und vor allem Pilze (Destruenten) dar. Der technische Lignin-Aufschluss ist dagegen Teil von Prozessen mit dem Ziel, Lignin und Cellulose im Holz zu trennen und unterschiedlichen Verwertungen zukommen zu lassen. Er spielt entsprechend vor allem bei der Zellstoffherstellung, der Holzverzuckerung und perspektivisch bei der Nutzung von Lignocellulose in der Bioraffinerie eine große Rolle. Die gängigen thermochemischen Methoden des technischen Ligninabbaus sind sehr energieaufwändig, belasten die Umwelt und erzeugen Toxine.

Ist verarbeitetes und unbeschichtetes Holz über einen langen Zeitraum Ultraviolettstrahlung ausgesetzt, so wird es oberflächlich geschädigt, wobei vor allem das Lignin denaturiert wird. Im Falle direkter Bewitterung wird es nachfolgend vom Regenwasser ausgewaschen. Die Oberfläche wirkt dann schmutzig grau. Unterbleibt die Einwirkung von Regenwasser, erhält das Holz infolge der UV-Wirkung eine silbrig-weiße Farbe.

## Biologischer Ligninabbau

Lignin ist durch seine komplexe Vernetzung ein persistenter Naturstoff und kann von Destruenten nur sehr langsam zersetzt werden. Die Humusbildung des Bodens wird dabei größtenteils durch den Ligninabbau gefördert.<sup>[25]</sup> Der Holzabbau erfolgt dabei in zwei teilweise parallel ablaufenden Fraktionen: Der Abbau der Cellulose erfolgt in Form der Braunfäule, bei der sich das Holz infolge des zurückbleibenden Lignins braun verfärbt, während der Abbau des Lignin in Form der Weißfäule stattfindet, bei der sich das Holz entsprechend hell verfärbt.

Beim biologischen Ligninabbau unterscheidet man zwischen dem Verwerten bereits gelöster Ligninfragmente und dem eigentlichen Abbau des Naturstoffes. Erstere können bereits von vielen Bakterien verwertet werden, insbesondere Actinomyceten und Streptomycceten. Weißfäulepilze wie etwa der Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*), der Feuerschwamm (*Phellinus igniarius*), die Schmetterlingstramete (*Trametes versicolor*) und *Phanerochaete chrysosporium*<sup>[26]</sup> zerstören hingegen enzymatisch den Ligninanteil des Holzes, um ihr eigentliches Substrat, Cellulose bzw. Hemicellulosen, zu verwerten. Entsprechend verfärbt sich bei der Weißfäule das Holz weiß und wird faserig. Die meisten dieser Pilze bauen gleichzeitig das Lignin und die Kohlenhydrate ab (Simultanfäule), die Abbauraten sind ebenfalls ähnlich hoch. Andere Pilze bauen den Ligninanteil anfänglich schneller ab und es kommt zu einer Celluloseanreicherung (Sukzessive Weißfäule). Dies findet man beispielsweise beim Mosaik-Schichtpilz (*Xylobolus frustulatus*) oder beim Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum*), der die Rotfäule bei Fichten bedingt.<sup>[27]</sup>

Der Ligninabbau findet dabei immer unter aeroben Bedingungen statt und ist sehr energieintensiv. Er kann entsprechend nicht als alleinige Kohlenstoff- und Energiequelle dienen.<sup>[28]</sup> Daher handelt es sich bei Weißfäulepilzen immer um einen Cometabolismus in Verbindung mit anderen Kohlenstoffquellen. Für den Abbau bilden die Pilze fadenförmige Hyphen aus, die das Lignin durchdringen. Für den Ligninabbau werden verschiedene Enzyme eingesetzt, die vom Pilz durch Exozytose in das Medium abgegeben werden und in das Lignin diffundieren.<sup>[25]</sup> Der Abbau des Lignins ist *de facto* eine Depolymerisierung und erfordert Peroxidasen und Laccasen, die sich in ihrer Wirkung synergetisch verhalten. Darüber hinaus werden Sauerstoff, Coenzyme, Metalle und Komplexbildner benötigt.<sup>[29]</sup>

Die Pilze setzen zunächst Glyoxal frei, das durch Sauerstoff durch eine Glyoxaloxidase zu Oxalsäure und Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) oxidiert wird.  $H_2O_2$  wird dann von einer Mangan-Peroxidase (MnP) (EC 1.11.1.13<sup>[30]</sup>) zu Wasser reduziert, während Mangan(II) ( $Mn^{2+}$ ) zu  $Mn^{3+}$  oxidiert wird.  $Mn^{3+}$  wird chelatisiert und dringt als kleines aktives Oxidans leicht in das Lignin ein.  $Mn^{3+}$  kann dort den phenolischen Bestandteilen des Lignins einzelne Elektronen entreißen, so dass ein Radikalkation gebildet wird. Dieses wird in mehrere Bruchstücke gespalten<sup>[28]</sup>, häufig in Benzaldehydderivate.<sup>[31]</sup>

Das Radikal-Kation kann auch durch eine Lignin-Peroxidase (LiP) (EC 1.11.1.14<sup>[32]</sup>) gebildet werden. LiPs sind Häm-enthaltende Enzyme, die substituierte Aromaten, den Hauptbestandteil im Lignin, direkt oxidieren können. Nicht alle Weißfäulepilze kodieren jedoch für LiPs.<sup>[31]</sup> Die Peroxidase verbraucht Wasserstoffperoxid als Oxidationsmittel.



Baupilze wie die Schmetterlingstramete sind in der Lage, Lignin enzymatisch abzubauen (Weißfäule).



Braunfäule oben verfärbt das Holz braun, da sie das Lignin nicht angreift, während Weißfäule durch den Abbau des Lignins eine weiße Verfärbung bedingt.

Mittlerweile hat man auch sogenannte Hybridenzyme in *Pleurotus*, *Bjerkandera* und anderen Pilzen entdeckt, die man als „versatile peroxidases“ (VP) (EC 1.11.1.16 [33]) bezeichnet. [31] Diese verfügen sowohl über eine Mangan-Peroxidase- als auch über eine Lignin-Peroxidase-Aktivität.

Laccasen (EC 1.10.3.2 [34]) schließlich oxidieren hauptsächlich niedermolekulare Bruchstücke des Lignins. [28] Sie können zwar generell phenolische Komponenten des Lignins enzymatisch angreifen. Da aber jene Komponenten nur 10 % des Lignins ausmachen, wird das Makromolekül primär von den oben genannten Peroxidasen verwertet. [35]

Beim Ligninabbau sind darüber hinaus noch viele weitere Enzyme (Oxidasen, Reduktasen, Dehydrogenasen) beteiligt. [35]

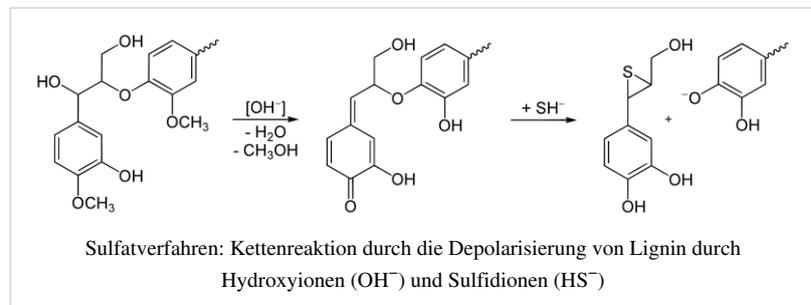
## Technischer Ligninabbau

### Papierherstellung: Sulfat- und Sulfitprozess

→ Hauptartikel: Sulfatverfahren, Sulfitverfahren

Der technische Ligninabbau spielt vor allem bei der Papier- und Zellstoffherstellung eine wichtige Rolle. Zur Produktion von Papier und Zellstoff muss das Lignin aus der Lignocellulose gelöst und aus dem Prozess entfernt werden. Dabei existieren unterschiedliche Verfahren für den Celluloseaufschluss sowie für die nachfolgende Papierbleiche.

In etwa 80 Prozent aller Zellstoffanlagen erfolgt der Aufschluss über das so genannte Sulfatverfahren, auch bekannt als Kraft-Prozess. Dabei erfolgt der Ligninabbau durch Hydrogensulfidionen ( $\text{HS}^-$ ) in basischem Milieu bei etwa pH 13 durch den Einsatz von Natriumsulfid ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) und Natriumhydroxid ( $\text{NaOH}$ )



bzw. Natronlauge. Der Prozess dauert etwa zwei Stunden bei Temperaturen von etwa  $170^\circ\text{C}$ , allerdings greifen die Ionen auch die Cellulose und die Hemicellulosen an, wodurch nur ein Teilaufschluss möglich ist. Die Ablauge dieses Verfahrens enthält in ihrer Festsubstanz bei der Verwendung von Nadelhölzern etwa 45 % und bei Laubhölzern etwa 38 % des so genannten Kraft-Lignins.

Eine Alternative stellt der Celluloseaufschluss im Sulfitverfahren dar, bei dem der Ligninabbau durch eine Sulfonierung erfolgt. Als chemisch nicht exakt definiertes Umsetzungsprodukt des Lignins mit Schwefliger Säure entsteht Ligninsulfonsäure. Calciumsalze der Ligninsulfonsäure entstehen beim Aufschluss des Holzes mit Calciumhydrogensulfid-Lösungen. Hier enthält die Ablauge in ihrer Festsubstanz bei der Verwendung von Nadelhölzern etwa 55 % und bei Laubhölzern etwa 42 % in Form von Lignosulfonsäure.

Lignin ist auch für das Vergilben von Papier verantwortlich, das daher auch mit ligninabbauenden Enzymen wie der Laccase gebleicht werden kann. Die Bleiche erfolgt technisch allerdings vor allem über eine Chlorbleiche oder eine Bleiche mit Wasserstoffperoxid bzw. Ozon. In beiden Fällen werden das Restlignin sowie vorhandene Farbstoffe im Zellstoff oxidativ abgebaut. Dies ist vor allem bei so genanntem „holzhaltigem“ Papier relevant, weniger bei „holzfreiem“ Papier. Die Begriffe *holzhaltig* und *holzfrei* sind zwar im Handel und umgangssprachlich üblich, technisch jedoch unsinnig, da Papier aus dem Rohstoff Holz in jedem Fall Holzbestandteile enthält. Bei holzfreiem Papier sind dies eben nur die Cellulose und die Hemicellulosen, bei holzhaltigem Papier der ligninhaltige Holzstoff. Korrekt sind daher die Begriffe ligninhaltig und ligninfrei.

## Holzverzuckerung

Zur Transformation von Holz zu verwertbaren Zuckern (Holzverzuckerung) werden eine Reihe von unterschiedlichen Prozessen angewandt, die das Lignin aus dem Holz entfernen und dadurch die Cellulose verfügbar machen. Dabei handelt es sich um eine Reihe von chemischen, hydrothermischen und enzymatischen Prozessen.

Historisch bedeutsam sind vor allem technische Anwendungen unter Einsatz von Säuren, vor allem von Salzsäure (HCl) oder verdünnter Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), in denen das zerkleinerte Holz gekocht wird. Bei dem Prozess lagern sich Wassermoleküle an die Cellulose und bilden Oligosaccharide, vor allem Di- oder Trisaccharide, unter anderem mit Glucoseanteil, aufgrund der im Holz neben der Cellulose vorhandenen Hemicellulose und des Lignins entstehen Nebenprodukte bzw. Verunreinigungen, die das Ergebnis fast ausschließlich zur Vergärung zu Alkohol oder als Nährsubstrat für die Fermentation von Hefe verwendbar machen. Für die Verwendung in der Chemischen Industrie muss die Lösung aufwendig gereinigt und entsalzt werden.

## Ligninlösung für die Bioraffinerie

Im Kontext der Diskussion um die Entwicklung der Bioraffinerie soll die Verzuckerung über spezielle Enzyme, die Cellulasen, auf biotechnologischem Weg stattfinden. Als Ergebnis erhofft man sich möglichst reine Fraktionen der Cellulose zur weiteren Verzuckerung, der Hemicellulosen und des Lignins, um alle drei Bestandteile des Holzes einer weiteren Verwertung zuführen zu können.

Um die einzelnen Fraktionen möglichst rein und unbeschadet aus dem Holz zu bekommen, bedarf es einer speziellen Vorbehandlung. Diese erfolgt je nach technischem Weg unterschiedlich und kann beispielsweise auf der Behandlung mit Lösemitteln wie Ethanol (Organosolv-Verfahren) oder Ionischen Flüssigkeiten, der Nutzung von Enzymen oder der Dampfbehandlung (Aquasolv-Verfahren) basieren.

## Verwendung

Lignin wird – sieht man von der Verwendung in Form von Holz ab – vor allem als Nebenprodukt der Papier- und Zellstoffindustrie genutzt. Weltweit werden jährlich aktuell etwa 50 Millionen Tonnen Lignin auf diese Weise produziert.<sup>[36]</sup> Die anfallenden Mengen an Kraft-Lignin und Ligninsulfonsäuren liegen dabei in gelöster Form in den jeweiligen Ablaugen vor und können aus diesen extrahiert werden. Die Hauptverwendung für beide Lignintypen besteht derzeit aus der energetischen Nutzung, weitere Verwendungen liegen vor allem für Lignosulfonate aus dem Sulfitverfahren vor.



Probe der Schwarzlauge im Erlenmeyerkolben

Grundsätzlich unterscheiden sich die verschiedenen technischen Lignine in mehreren Eigenschaften, die ihre Nutzung beeinflussen können. Der wesentliche Unterschied liegt in der Molekülgröße: Kraft-Lignin hat eine molare Masse von 2000 bis 3000 g/mol, während Lignosulfonate molare Massen von 20.000 bis 50.000 g/mol erreichen. Organosolv-Lignin liegt bei 1000 bis 2000 g/mol. Lignosulfonate enthalten zudem einen Schwefelanteil von 4 % bis 8 % und wenige phenolische Hydroxygruppen (-OH) gegenüber 1 % bis 1,5 % Schwefelanteil und vielen phenolischen Hydroxygruppen beim Kraft-Lignin und vielen phenolischen Hydroxidionen (OH<sup>-</sup>) ohne Schwefelanteil beim Organosolv-Lignin.<sup>[37]</sup>

Intensiv werden die Eigenschaften des durch oxidative Ammonolyse modifizierten Lignins als Humusersatzstoff untersucht.<sup>[38]</sup> Die stickstoffhaltigen Lignine ähneln in ihrer Struktur den Huminstoffen und eignen sich als Depotdünger. Die N-Lignine eignen sich auch für die Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften.<sup>[39]</sup>

Die direkte Verwendung von technischen Ligninen als Rohprodukte ist sehr eingeschränkt, da es eine Reihe von Nachteilen gibt, die dieser entgegenstehen. So ist Lignin aufgrund seiner sehr komplexen Struktur und der damit verbundenen Inhomogenität nur sehr begrenzt für Anwendungen einsetzbar, da in der Regel genauer definiertere

Eigenschaften des Rohmaterials erforderlich sind. Hinzu kommt der hohe Grad an Verunreinigungen in den Ablaugen sowie der hohe Schwefelanteil in den Lignintypen, die komplexe Reinigungsschritte erforderlich machen. Die dadurch sehr aufwändige Gewinnung aus den Ablaugen führt dazu, dass ungereinigtes technisches Lignin bis jetzt im Wesentlichen nur für geringerwertige Anwendungen wie die energetische Nutzung oder als unspezifische Klebstoffkomponente und Dispergiermittel verwendet wird. Stoffliche Verwendungen, die darüber hinausgehen, liegen entweder in der direkten Verwendung von Ligninsulfonaten oder in der chemischen Modifikation durch die Anwendung von Pyrolyse, Hydrolyse oder Hydrogenolyse zur Herstellung verschiedener Chemikalien. Diese Wege sind ebenfalls aufwändig und kommen entsprechend nur vergleichsweise selten zum Einsatz.<sup>[37]</sup>

### Lignin in der energetischen Nutzung

Das bei der Papierherstellung vor allem im Sulfatverfahren in großen Mengen als Reststoff anfallende Lignin wird als Schwarzlauge vor allem als Brennstoff direkt in den Zellstofffabriken genutzt. Es hat einen Heizwert von 23,4 MJ/kg und dient neben der Energiegewinnung für die Fabriken selbst mit einer Deckung von 80 % bis 100 % des Energiebedarfs<sup>[36]</sup> auch zur Gewinnoptimierung durch den Verkauf von Wärme und Elektrizität.

In der Herstellung von Holzpellets als Energieträger bildet das holzeigene Lignin das Bindemittel. Fein gemahlene Holzpartikel werden beim Pressvorgang erhitzt, das Lignin verflüssigt sich und bindet die Holzpartikel beim Abkühlen zusammen. Frische Pellets riechen deshalb noch stark nach Lignin.

### Einsatz von Ligninsulfonaten

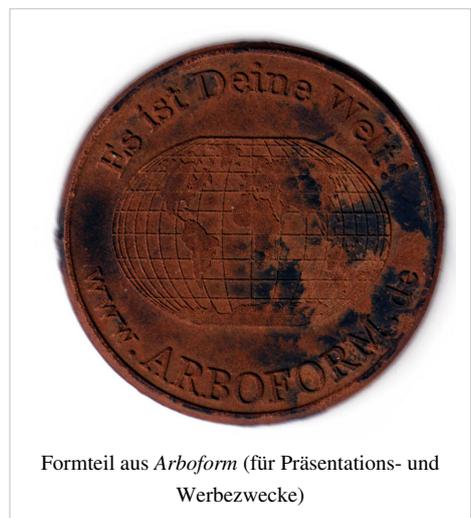
Große Mengen an Ligninsulfonaten werden in einem breiten Spektrum von Anwendungen eingesetzt, in denen man vor allem ihre Eigenschaften als Polyelektrolyt, ihre Adsorptionswirkung, die geringe Viskosität und die dunkle Farbe nutzt. Sie sind physiologisch und für die Umwelt relativ unbedenklich, wodurch sie auch in sensiblen Bereichen Verwendung finden. Der Hauptanteil der Produktion von etwa 1.000.000 Tonnen pro Jahr (*jato*)<sup>[40]</sup> findet Verwendung als Dispergiermittel in Beton und Zement (ca. 100.000 *jato*), als Zusatz zu Bohrflüssigkeiten (ca. 100.000 *jato*) sowie als Bindemittel in Pellets für Tiernahrung, in Düngemitteln und anderen Agrochemikalien, Spanplatten, Briketts sowie in Drucktinte und Gießsandkernen. Außerdem werden Lignosulfonate als Papieradditiv, als Dispergier- und Emulgiermittel in Lacken und Farben sowie als Zuschlagstoff in Gips und Gerbstoffen eingesetzt.<sup>[37]</sup>

Neuere Entwicklungen in der Lignosulfonat-Chemie nutzen die polyelektrolytischen Eigenschaften des Lignins und zielen auf einen Einsatz in der Medizin, der Feinchemie und der Verbesserung der Bodenwasserspeicherung.

### Lignin als Biowerkstoff

Lignin stellt als Naturstoff ein hochkomplexes Makromolekül (Polymer) dar, eine Nutzung dieser Struktur als Biowerkstoff bietet sich entsprechend an. Da dabei das hauptsächlich zur Verfügung stehende Kraft-Lignin aus dem Sulfatprozess der Papierherstellung zunächst gereinigt werden muss, gibt es allerdings bis heute erst sehr wenige Ansätze, auf Lignin basierende Polymere herzustellen.

Im Jahr 1998 wurde von der Firma Tecnaro ein natürlicher Biowerkstoff entwickelt, der den Namen Arboform erhielt und allgemein als „Flüssigholz“ bezeichnet wird. Er basiert auf Lignin, dem Naturfasern wie Flachs oder Hanf beigemischt werden, und kann mit etablierten Kunststoffverarbeitungsformen verarbeitet werden, insbesondere im Spritzguss, der Extrusion, in Pressverfahren sowie durch Tiefziehen und Blasformen.<sup>[41] [42]</sup>



Formteil aus Arboform (für Präsentations- und Werbezwecke)

Sowohl das Lignin als auch verschiedene Ligninderivate können als Bausteine in Duroplasten oder in Kunststoffen als Füllstoffe eingesetzt werden. Sie wirken hierbei als Phenolharzkomponente. Durch die Reaktion mit Epichlorhydrin können Epoxidharze hergestellt werden, die bei einer Kondensierung mit Alkalilignin in Polyalkoholen resultieren. Mit Isocyanaten lassen sich diese zu Polyurethanen umsetzen. Bei der Reaktion des Lignins mit Formaldehyd entstehen Phenoplaste, und bei der Vernetzung mit Copolymeren wie Harnstoff, Melamin und Furanen über Formaldehyd entstehen verschiedene Harze (Harnstoff-Formaldehyd-Harze, Melaminharze, und Furanharze bzw. Syntactics). Insbesondere ligninbasierte Phenoplaste stellen eine potenzielle Ersetzungsmöglichkeit von gesundheitlich bedenklichen Phenolen und Formaldehyd als Bindemittel in Spanplatten und anderen Holzwerkstoffen dar; durch ihre hochmolekulare Struktur sind sie weniger flüchtig und löslich, zudem werden sie als physiologisch unbedenklich eingestuft.<sup>[37]</sup>

## Lignin in der chemischen Industrie und Bioraffinerie

Obwohl Lignin heute keine große Rolle zur Herstellung von Chemikalien spielt, wird dem Rohstoff für die Zukunft ein großes Potenzial prognostiziert. Insbesondere in den letzten Jahren konzentrierte sich die Forschung auf Nutzungspotenziale des Lignins der Zellstoffindustrie und der (noch hypothetischen) Bioraffinerie. Ziel der Forschung ist es, möglichst hochwertige Produkte aus dem Lignin zu gewinnen.<sup>[36] [43]</sup>

Bereits jetzt wird Lignin zur Herstellung von Vanillin verwendet, das als naturidentischer Geschmacksstoff für Vanille eingesetzt wird. Es entsteht bei der Oxidation von Ligninsulfonsäure, die wiederum durch die alkalische Hydrolyse aus Lignin gewonnen wird. Über eine Alkalischmelze lassen sich aus Lignin verschiedene Phenole, Carbonsäuren, Teer und Dimethylsulfid (DMS) herstellen. Die Herstellung von DMS ist zudem über eine alkalische Demethylierung möglich und kann weiteroxidiert werden zu Dimethylsulfoxid (DMSO), einem wichtigen Lösungsmittel. Durch Hydrogenolyse wiederum können ebenfalls Phenole, Teer, Benzol und Öle hergestellt werden.<sup>[36]</sup>

Eine wichtige Option zur zukünftigen Nutzung des Lignins stellt zudem die Pyrolyse dar, ein Verfahren zur thermischen Spaltung organischer Verbindungen bei hohen Temperaturen. So lassen sich durch Pyrolyse bei Temperaturen von 400 bis 500°C Phenole, Methan, Kohlenmonoxid und Aktivkohle gewinnen. Bei Temperaturen von 700 bis 1.000°C lässt sich Lignin zu Syngas, Ethen und Benzol spalten und bei einer Lichtbogen-Pyrolyse entsteht Acetylen.<sup>[36]</sup>

## Belege

### Literatur

- 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.
- Ulrich Lüttge, Manfred Kluge, Gabriela Bauer: *Botanik*. 2. Auflage. VCH, Weinheim 1994, ISBN 3-527-30031-7.
- Peter Schopfer, Axel Brennicke: *Pflanzenphysiologie*. 4. Auflage. Springer, Heidelberg, Berlin 1999, ISBN 3-540-64231-5.
- Lincoln Taiz, Eduardo Zeiger: *Plant physiology. Das Original mit Übersetzungshilfen*. 4. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin 2007, ISBN 978-3-8274-1865-4.
- Peter Nuhn: *Naturstoffchemie. Mikrobielle, pflanzliche und tierische Naturstoffe*. 4. Auflage. S. Hirzel Verlag, Stuttgart 2006, ISBN 978-3-7776-1363-5, S. 320-322.
- Boerjan, W., Ralph, J. und Baucher, M. (2003): *Lignin biosynthesis*. In: *Annu Rev Plant Biol.* **54**; 519–546; PMID 14503002; doi:10.1146/annurev.arplant.54.031902.134938<sup>[44]</sup>

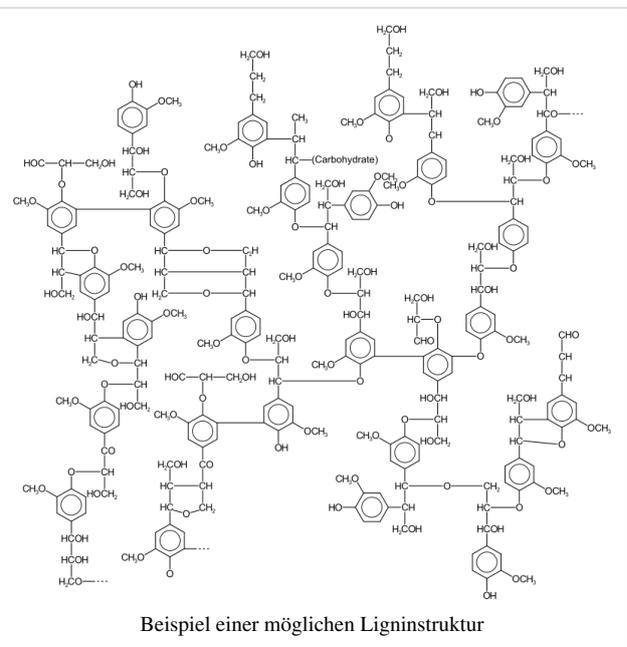
## Referenzen

- [1] *Lignin*. In: Sitte et al. 2002; S. 353–356
- [2] nach Lüttge, Kluge, Bauer 1994; Seite 217
- [3] *Sekundärwände von Faser- und Holzzellen*. In: Sitte et al. 2002; S. 95–96
- [4] Peter Raven, Ray F. Evert, Susan Eichhorn: *Biologie der Pflanzen*. de Gruyter, 2006, ISBN 978-3-11-018531-7, S. 38.
- [5] Hans W. Heldt und Birgit Piechulla: *Pflanzenbiochemie*. 4. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, 2008, ISBN 978-3-8274-1961-3, S. 420-422.
- [6] C.F. Delwiche, L.E. Graham, N. Thomson: *Lignin-like compounds and sporopollenin in Coleochaete, an algal model for land plant ancestry*. Science 245 (1989), pp. 399–401.
- [7] Peter Raven, Ray F. Evert, Susan Eichhorn: *Biologie der Pflanzen*. de Gruyter, 2006, ISBN 978-3-11-018531-7, S. 398.
- [8] Patrick T. Martone I, José M. Estevez, Fachuang Lu, Katia Ruel, Mark W. Denny, Chris Somerville, John Ralph: *Discovery of Lignin in Seaweed Reveals Convergent Evolution of Cell-Wall Architecture*. Current Biology 19 (2), 27. Januar 2009; S. 169-175.
- [9] *Die verholzte Pflanzenzelle*. In: Schopfer & Brennicke 1999; S. 33
- [10] Hans Günther Hirschberg: *Handbuch Verfahrenstechnik und Anlagenbau*. Springer Verlag 1999, S.436
- [11] Jaakko Pöyry Consulting Oy: *Non-wood Fibre*. Helsinki 1998
- [12] nach Lüttge, Kluge, Bauer 1994; Seite 153
- [13] [http://www.brenda-enzymes.org/php/result\\_flat.php4?ecno=4.3.1.5](http://www.brenda-enzymes.org/php/result_flat.php4?ecno=4.3.1.5)
- [14] Marjamaa, K. et al. (2009): *The role of xylem class III peroxidases in lignification*. In: *J Exp Bot.* **60**(2); 367–376; PMID 19264758; doi: 10.1093/jxb/ern278 (<http://dx.doi.org/10.1093/jxb/ern278>)
- [15] [http://www.brenda-enzymes.org/php/result\\_flat.php4?ecno=1.1.1.195](http://www.brenda-enzymes.org/php/result_flat.php4?ecno=1.1.1.195)
- [16] Gerhard Michal (Hrsg.); Gerhard Michal (Hrsg.): *Biochemical pathways. Biochemie-Atlas*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1999, ISBN 3-86025-239-9, S. 64.
- [17] Peter Karlson, Detlef Doenecke, Jan Koolman, Georg Fuchs, Wolfgang Gerok: *Karlsons Biochemie und Pathobiochemie*. 15. überarb. u. neugestaltete Auflage. Thieme, Stuttgart 2005, ISBN 978-3-13-357815-8, S. 451.
- [18] Ralph, J. et al. (1999): *Are lignins optically active?* In: *J Agric Food Chem.* **47**(8); 2991–2996; PMID 10552598; doi: 10.1021/jf9901136 (<http://dx.doi.org/10.1021/jf9901136>)
- [19] Davin, L.B. et al. (1997): *Stereoselective bimolecular phenoxy radical coupling by an auxiliary (dirigent) protein without an active center*. In: *Science* **275**(5298); 362–366; PMID 8994027; doi: 10.1126/science.275.5298.362 (<http://dx.doi.org/10.1126/science.275.5298.362>)
- [20] Laurence B. Davin, Norman G. Lewis: *Dirigent Proteins and Dirigent Sites Explain the Mystery of Specificity of Radical Precursor Coupling in Lignan and Lignin Biosynthesis*. (<http://www.plantphysiol.org/cgi/reprint/123/2/453>) Plant Physiology 123, 2000; S. 453–461
- [21] Ronald Hatfield, Wilfred Vermerris: *Lignin Formation in Plants. The Dilemma of Linkage Specificity*. (<http://www.plantphysiol.org/cgi/reprint/126/4/1351>) Plant Physiology 126, 2001; S. 1351–1357
- [22] Ronald J. Dinus: *Genetic improvement of poplar feedstock quality for ethanol production*. Applied Biochemistry and Biotechnology 2001; S. 23-34. ( Abstract (<http://www.springerlink.com/content/x855722768713t5h/>))
- [23] G. Pilate, E. Guiney, K. Holt, M. Petit-Conil, C. Lapiere, J.C. Leplé, B. Pollet, I. Mila, E.A. Webster, H.G. Marstorp, D.W. Hopkins, L. Jouanin, W. Boerjan, W. Schuch, D. Cornu, C. Halpin: *Field and pulping performances of transgenic trees with altered lignification*. Nature Biotechnology 20. Juni, 2002; S. 607-12. ( Abstract ([http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12042866?ordinalpos=1&itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed\\_ResultsPanel.Pubmed\\_DiscoveryPanel.Pubmed\\_Discovery\\_RA&linkpos=1&log\\$=relatedarticles&logdbfrom=pubmed](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12042866?ordinalpos=1&itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_DiscoveryPanel.Pubmed_Discovery_RA&linkpos=1&log$=relatedarticles&logdbfrom=pubmed)))
- [24] E.L. Tilston, C. Halpin, D.W. Hopkin: *Genetic modifications to lignin biosynthesis in field-grown poplar trees have inconsistent effects on the rate of woody trunk decomposition*. Soil Biology and Biochemistry 36 (11), November 2004; S. 1903-1906. ( Abstract ([http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6TC7-4CY0CFK-6&\\_user=10&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&view=c&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=d95a640706c64a2d555a64481645cc3e](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TC7-4CY0CFK-6&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=d95a640706c64a2d555a64481645cc3e)))
- [25] Hans G. Schlegel; Georg Fuchs (Hrsg.): *Allgemeine Mikrobiologie*. 8. Auflage. Thieme, Stuttgart 2007, ISBN 3-13-444608-1, S. 293f.
- [26] Singh, D. und Chen S. (2008): *The white-rot fungus Phanerochaete chrysosporium: conditions for the production of lignin-degrading enzymes*. In: *Appl Microbiol Biotechnol.* **81**(3); 399–417; PMID 18810426; PDF (<http://www.springerlink.com/content/m131726365237p16/fulltext.pdf>) (freier Volltextzugriff, engl.)
- [27] Olaf Schmidt: *Holz- und Baumpilze. Biologie, Schäden, Schutz, Nutzen*. Springer, Heidelberg, Berlin 1994, ISBN 3-540-57334-8.
- [28] Katharina Munk (Hrsg.); Katharina Munk (Hrsg.): *Taschenlehrbuch Biologie: Mikrobiologie*. Thieme, Stuttgart 2008, ISBN 978-3-13-144861-3, S. 507f.
- [29] *Wood and cellulosic chemistry – von David N.-S. Hon, Nobuo Shiraishi (als Google-Book)* ([http://books.google.de/books?id=pKiTzbEDy1QC&pg=PR6&dq="Fumiaki+Nakatsubo"+Lignin&as\\_brr=3#PPA547,M1](http://books.google.de/books?id=pKiTzbEDy1QC&pg=PR6&dq=)). books.google.de. Abgerufen am 10. Mai 2009.
- [30] [http://www.brenda-enzymes.org/php/result\\_flat.php4?ecno=1.11.1.13](http://www.brenda-enzymes.org/php/result_flat.php4?ecno=1.11.1.13)
- [31] Hammel, KE. und Cullen, D. (2008): *Role of fungal peroxidases in biological ligninolysis*. In: *Curr Opin Plant Biol.* **11**(3); 349–355; PMID 18359268; doi: 10.1016/j.pbi.2008.02.003 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2008.02.003>)
- [32] [http://www.brenda-enzymes.org/php/result\\_flat.php4?ecno=1.11.1.14](http://www.brenda-enzymes.org/php/result_flat.php4?ecno=1.11.1.14)

- [33] [http://www.brenda-enzymes.org/php/result\\_flat.php4?ecno=1.11.1.16](http://www.brenda-enzymes.org/php/result_flat.php4?ecno=1.11.1.16)
- [34] [http://www.brenda-enzymes.org/php/result\\_flat.php4?ecno=1.10.3.2](http://www.brenda-enzymes.org/php/result_flat.php4?ecno=1.10.3.2)
- [35] Martínez, AT. *et al.* (2005): *Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin*. In: *Int Microbiol.* **8**(3); 195–204; PMID 16200498; PDF (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/utills/fref.fcgi?PrId=3311&itool=AbstractPlus-def&uid=16200498&db=pubmed&url=http://www.im.microbios.org/0803/0803195.pdf>) (freier Volltextzugriff, engl.)
- [36] Birgit Kamm, Michael Kamm, Matthias Schmidt, Thomas Hirth, Margit Schulze: *Lignocellulose-based Chemical Products and Product Family Trees*. In: Birgit Kamm, Patrick R. Gruber, Michael Kamm (Hrsg.): *Biorefineries - industrial processes and products. Status quo and future directions*. Wiley-VCH, Weinheim 2006, ISBN 978-3-527-31027-2, S. 67-84.
- [37] Erich Gruber: *Makromolekulare Chemie, Ökologie und Ökonomie der Nachwachsenden Rohstoffe: Nutzung von Lignin*. ([http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen\\_und\\_Veranstaltungen/Vorlesungen/Nachwachsende\\_Rohstoffe/PDF/14\\_Nutzung\\_Lignin.pdf](http://www.cellulose-papier.chemie.tu-darmstadt.de/Deutsch/Vorlesungen_und_Veranstaltungen/Vorlesungen/Nachwachsende_Rohstoffe/PDF/14_Nutzung_Lignin.pdf)) Unterlagen zur Vorlesung Wintersemester 1999/2000
- [38] *Universität für Bodenkultur Wien- Forschungsportal* ([https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.projekt\\_uebersicht?sprache\\_in=de&menue\\_id\\_in=300&id\\_in=7318](https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.projekt_uebersicht?sprache_in=de&menue_id_in=300&id_in=7318)). forschung.boku.ac.at. Abgerufen am 7. Mai 2009.
- [39] *Untersuchungen zur Eignung neuartiger Humusersatzstoffe als Bodenverbesserungsmittel bei der Rekultivierung von Bergbauflächen und der Sanierung von Problemstandorten - Gemeinsames BMBF Forschungsvorhaben* - ([http://fib-finsterwalde.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=83:untersuchungen-zur-eignung-neuartiger-humusersatzstoffe-als-bodenverbesserungsmittel-bei-der-rekultivierung-von-bergbauflaechen-und-der-sanierung-von-caticid=44:2004-2003-2002-2001-2000&lang=de](http://fib-finsterwalde.de/index.php?option=com_content&view=article&id=83:untersuchungen-zur-eignung-neuartiger-humusersatzstoffe-als-bodenverbesserungsmittel-bei-der-rekultivierung-von-bergbauflaechen-und-der-sanierung-von-caticid=44:2004-2003-2002-2001-2000&lang=de)). fib-finsterwalde.de. Abgerufen am 7. Mai 2009.
- [40] *Modifizierte Lignosulfonsäuren (LSS) als Bindemittel für die Herstellung von witterungsbeständigen Holzwerkstoffen* ([http://www.bfafh.de/bibl/pdf/v\\_05\\_1.pdf](http://www.bfafh.de/bibl/pdf/v_05_1.pdf)), Ralph Lehnen und Okko Ringena, Arbeitsbericht des Instituts für Holzchemie und chemische Technologie des Holzes
- [41] Firmenhomepage Tecnar (<http://www.arboform.de/>)
- [42] nova-Institut GmbH, Hochschule Bremen (Hrsg.): *BIB'09 - Branchenführer Innovative Biowerkstoffe 2009*. Hürth 2009; S. 62-63
- [43] J. J. Bozell, J. E. Holladay, D. Johnson, J. F. White: *Top Value Added Chemicals From Biomass. Volume II—Results of Screening for Potential Candidates from Biorefinery Lignin*. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) and the National Renewable Energy Laboratory (NREL), Oktober 2007. ( PDF ([http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical\\_reports/PNNL-16983.pdf](http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-16983.pdf)))
- [44] <http://dx.doi.org/10.1146%2Fannurev.arplant.54.031902.134938>

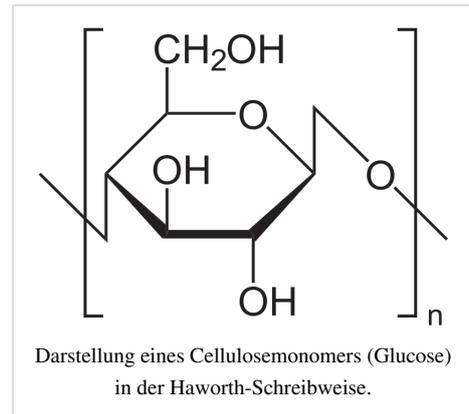
## Lignocellulose

Die **Lignocellulose** (von lat. *lignum* = „Holz“ oder „Baum“) bildet die Zellwand verholzter Pflanzen und dient ihnen als Strukturgerüst. Hemicellulosen und vor allem Cellulose bilden zunächst ein Gerüst, in das beim Vorgang der Verholzung (Lignifizierung) nachträglich das Lignin eingelagert wird.



## Molekularer Aufbau

Cellulose ist ein langgestrecktes Polymer aus zahlreichen beta-1,4-glycosidisch verknüpften Glucose-Monomeren. Eine Vielzahl dieser Polymere wird zu Fasern mit teilweise kristallinen Bereichen zusammengelagert. Diese Fasern sind längs zum Xylem angeordnet und verleihen der Pflanze damit eine hohe Zug- und Biegefestigkeit. Hemicellulose macht einen geringeren Anteil aus und ist weniger geordnet aufgebaut. Grund ist, dass dieses Polymer, bestehend aus verschiedenen Zuckern, auch verzweigende Verknüpfungen aufweist, die keine faserartige Anordnung erlauben. Lignin besteht aus verschiedenen Typen von Phenylpropanen, die in die Cellulose-Hemicellulose-Matrix eingelagert und zum Polymer Lignin verknüpft werden. Die beiden Substanzen werden so eng verbunden und bilden die Lignocellulose.<sup>[1]</sup>



## Funktion

Häufig wird zur Beschreibung der Funktion von Lignocellulose der Vergleich mit Stahlbeton verwendet. Während die Cellulose, vergleichbar der Stahlbewehrung, für Zug- und Biegefestigkeit sorgt, ist das Lignin, als Analogon zu Beton, für die Druckfestigkeit verantwortlich. Wird beispielsweise ein Baum in einem Sturm stark belastet, so sorgen die Cellulosefasern an der windzugewandten Seite für Zugfestigkeit. Auf der windabgewandten Seite verhindern die Lignineinlagerungen das Kollabieren der nicht massiven Holzstruktur durch Verleihung von Druckfestigkeit. Darüber hinaus ist Lignocellulose durch seine dichte Struktur und Verknüpfung schlecht für Enzyme zugänglich und schützt die verholzte Pflanze so vor Schädlingen wie Pilzen und Bakterien.

## Nutzung

Eine Nutzung findet in Form von Holz als Baustoff und Brennstoff statt. Der Celluloseanteil wird zur Papierherstellung verwendet. Lignin ist dabei ein Abfall- und Störstoff, der in der verwendeten Lignocellulose in möglichst geringer Menge vorliegen sollte. In verschiedenen Pilotprojekten wird versucht Lignocellulose aus Getreide, Stroh, Schilfrohr, Holz, Papier und cellulosehaltigen Abfällen, als nachwachsenden Rohstoff für unterschiedliche chemische Grundstoffe zu verwenden. Insbesondere die phenylartigen Verbindungen im Lignin gelten als möglicher Rohstoff für die stoffliche Verwertung.<sup>[2] [3] [4]</sup> Die Nutzung von Lignocellulose als Rohstoff für Biokraftstoffe wird mit der Produktion von Lignocellulose-Ethanol angestrebt. Entsprechende Herstellungsverfahren befinden sich derzeit in Entwicklung bzw. der industriellen Erprobung.

## Literatur

- H. Yu u. a.: *Microbial community succession and lignocellulose degradation during agricultural waste composting*. In: *Biodegradation* 18/2007, S.793–802. PMID 17308882
- A. Berlin u. a.: *Optimization of enzyme complexes for lignocellulose hydrolysis*. In: *Biotechnology and bioengineering* 97/2007, S.287–296. PMID 17058283
- Nultsch, Wilhelm: *Allgemeine Botanik*, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 1996, 10. Auflage
- *Energie aus Biomasse*, von Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann (als Google-Book)<sup>[5]</sup>

## Referenzen

- [1] Stichwort *Lignocellulose*. In: *Herder-Lexikon der Biologie*. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg 2003. ISBN 3-8274-0354-5
- [2] B. Kamm, M. Kamm: *Principles of biorefineries*. In: *Applied Microbiology and Biotechnology* 64/2004, S. 137–145.
- [3] A. Uihlein: *Die Lignocellulose-Bioraffinerie: Eine erste ökologische Bilanzierung*. (<http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de/cms/webdav/site/lca/shared/Veranstaltungen/2006LcaWerkstatt/ArbeitsgruppeA/A6-Uihlein.pdf>) Forschungszentrum Karlsruhe
- [4] J. Puls, J. Schweinle: *Verbundvorhaben: Pilotprojekt Lignocellulose-Bioraffinerie, Teilvorhaben 2: Holzaufschluss und Komponententrennung*. (<http://www.bfafh.de/iud/projekte/2-2007/5-3.pdf>) In: *BFH-Nachrichten* 2/2007
- [5] [http://books.google.de/books?id=sVqkKwh8m\\_EC&pg=PA493&lpg=PA493&dq=pyrolyse%C3%B6l+verbrennung&source=web&ots=i2JwwsTHAL&sig=\\_fcWz1-bFkgDnaLL0CsICkMR3IE&hl=de&ei=giObSaySCpeg0AXXiuSyAg&sa=X&oi=book\\_result&resnum=4&ct=result#PPP1,M1](http://books.google.de/books?id=sVqkKwh8m_EC&pg=PA493&lpg=PA493&dq=pyrolyse%C3%B6l+verbrennung&source=web&ots=i2JwwsTHAL&sig=_fcWz1-bFkgDnaLL0CsICkMR3IE&hl=de&ei=giObSaySCpeg0AXXiuSyAg&sa=X&oi=book_result&resnum=4&ct=result#PPP1,M1)

# Linden (Botanik)

Linden	
	
Silber-Linde ( <i>Tilia tomentosa</i> )	
Systematik	
<i>Klasse:</i>	Dreifurchenpollen- Zweikeimblättrige (Rosopsida)
<i>Unterklasse:</i>	Rosenähnliche (Rosidae)
<i>Ordnung:</i>	Malvenartige (Malvales)
<i>Familie:</i>	Malvengewächse (Malvaceae)
<i>Unterfamilie:</i>	Lindengewächse (Tilioideae)
<i>Gattung:</i>	Linden
Wissenschaftlicher Name	
<i>Tilia</i>	
L.	

Die **Linden** (*Tilia*) bilden eine Pflanzengattung in der Unterfamilie der Lindengewächse (Tilioideae) innerhalb der Familie der Malvengewächse (Malvaceae).

## Beschreibung

Linden-Arten sind laubabwerfende Bäume; sie bilden keine terminale Knospen, daher ist ihr Wuchs sympodial. Je nach Linden-Art erreichen sie Wuchshöhen zwischen 20 und 40 Meter. Der erreichbare Stammdurchmesser variiert ebenfalls von Art zu Art, liegt in der Regel zwischen 1 und 1,8 Meter. Sie können ein Alter von bis zu 1000 Jahren erreichen. Die wechselständig und zweizeilig angeordneten Laubblätter sind gestielt. Die Blattspreite ist meist herzförmig. Die Knospenschuppen sind früh abfallend.

In achselständigen, zymösen Blütenstand befinden sich drei oder mehr Blüten. Ein auffälliges, längliches großes Hochblatt ist mit der Blütenstandsachse lang verwachsen; es dient für den abfallenden Fruchtstand als Flügel. Die

duftenden, zwittrigen Blüten sind radiärsymmetrisch und fünfzählig. Es sind fünf Kelchblätter vorhanden mit Nektardrüsen an ihrer Basis. Die fünf Kronblätter sind weiß oder gelb. Es sind viele Staubblätter vorhanden; sie sind frei oder in fünf Bündeln zusammengefasst. Die Staubfäden sind oft gegabelt. Fünf Fruchtblätter sind zu einem fünfkammerigen Fruchtknoten zusammengewachsen. In jeder Fruchtknotenkommer befinden sich zwei Samenanlagen. Der Griffel endet mit einer fünfklappigen Narbe. Die Bestäubung erfolgt durch verschiedene Insekten.

## Ökologie

Linden können sich generativ und vegetativ vermehren. Bei der generativen Vermehrung erfolgt die Bestäubung durch verschiedene Insekten, die durch den intensiven Duft der Lindenblüten angezogen werden. Hierzu gehören Bienen und Hummeln, Schwebfliegen und andere Dipteren. Teilweise kommt es jedoch auch zu Windbestäubung. Die Samen werden hauptsächlich durch den Wind ausgebreitet (Anemochorie). Die Lindenarten vermehren sich darüber hinaus auch stark vegetativ durch Stockausschlag und Wurzelbrut.

## Krankheiten und Schädlinge

Vor allem Linden, die in Städten als Straßenbäume wachsen, werden häufiger von der Lindenspinmilbe befallen. Bei starkem Befall durch die Lindenspinmilbe können die Bäume schon im Juli völlig entlaubt sein. Bei Straßenbäumen tritt auch öfter ein Schaden durch die Kleine Lindenblattwespe auf.

## Arten (Auswahl)

Die Gattung Linden (*Tilia*) umfasst etwa 20 bis 45 Arten, sie kommen hauptsächlich in gemäßigten bis subtropischen Gebieten vor. 19 Arten kommen in China vor, davon sind 15 dort endemisch. Zusätzlich sind hier einige Hybriden aufgelistet.

- Amerikanische Linde (*Tilia americana* L.)
- *Tilia amurensis* Rupr.
- *Tilia callidonta* Hung T.Chang
- *Tilia caroliniana* Mill.
- *Tilia chinensis* Maxim.
- *Tilia chingiana* Hu & W.C.Cheng
- Winter-Linde auch Steinlinde genannt (*Tilia cordata* Mill., Syn.: *Tilia parvifolia* Ehrh., *Tilia ulmifolia* Scop.)
- *Tilia dasystyla* Steven
- *Tilia endochrysea* Handel-Mazzetti
- Krim-Linde (*Tilia* × *euchlora* K.Koch = *Tilia cordata* × *T. dasystyla*, entstanden etwa 1860)
- Holländische Linde (*Tilia* × *europaea* L. = *T. cordata*? × *T. platyphyllos*) (Syn.: *T. × intermedia*, *T. × vulgaris* Hayne, *T. × europaea* var. *pallida* Rehder)
- *Tilia henryana* Szyszyl.
- *Tilia heterophylla* Vent.
- *Tilia insularis* Nakai
- *Tilia japonica* (Miquel) Simonkai
- *Tilia jiaodongensis* S.B.Liang
- *Tilia kiusiana* Makino & Shiras.
- *Tilia kueichouensis* Hu
- *Tilia ledebourii* Borbas



Krim-Linde

- *Tilia likiangensis* Hung T.Chang
- *Tilia mandshurica* Rupr. & Maxim.
- *Tilia maximowicziana* Shiras.
- *Tilia membranacea* Hung T.Chang
- *Tilia miqueliana* Maxim.
- Moltke-Linde (*Tilia* × *moltkei* Späth = *Tilia americana* × *T. petiolaris*, ist um 1880 Berlin entstanden)
- *Tilia mongolica* Maxim.
- *Tilia nobilis* Rehd. & E.H.Wilson
- Olivers Linde (*Tilia oliveri* Szyszyl.)
- *Tilia paucicostata* Maxim.



Holländische Linde

- Hänge-Silber-Linde (*Tilia petiolaris*)
- Sommerlinde (*Tilia platyphyllos* Scop.)
- *Tilia taishanensis* S.B.Liang
- *Tilia taquetii* C.K.Schneid.
- Silber-Linde (*Tilia tomentosa* Moench)
- *Tilia tuan* Szyszyl.

In den Wäldern Mitteleuropas sind mit der Sommer- und Winterlinde nur wenige Lindenarten heimisch. Trotzdem spielen diese beiden Baumarten eine Rolle in Brauchtum und forstlicher Nutzung.

## Nutzung

### Holznutzung

→ Hauptartikel: Lindenholz

Unter den Linden werden vor allem die Winter-Linde (*Tilia cordata*), die Sommer-Linde (*Tilia platyphyllos*) und die Holländische Linde (*Tilia* × *europaea*), eine Kreuzung der ersten beiden, als Holzquelle verwendet. Die Linden zählen zu den Reifholzbäumen und haben ein helles Kernholz, das sich farblich nicht vom Splintholz unterscheidet. Das Holz ist hellfarbig, weißlich bis gelblich und hat häufig einen rötlichen oder bräunlichen Einschlag und zeigt einen matten Glanz. Seltener ist es grünlich gestreift oder gefleckt.<sup>[1]</sup>

Der Hauptverwendungszweck für Lindenholz ist die Bildhauerei, die Schnitzerei und Drechslerei, wobei viele berühmte Werke deutscher Bildhauer vor allem aus der Spätgotik aus Lindenholz hergestellt sind, darunter Werke von Tilman Riemenschneider oder Veit Stoß oder mehrere Jahrhunderte später Ludwig Schwanthaler. Lindenholz galt

Traditionelle Maske geschnitzt aus Lindenholz:  
der Seehase aus Friedrichshafen

daher lange als „lignum sacrum“ (lateinisch für „heiliges Holz“), weil daraus viele Heiligenstatuen geschnitzt wurden. Heute wird für Schnitzarbeiten jedoch häufiger das leichter beschaffbare Holz der Weymouths-Kiefer (*Pinus strobus*) eingesetzt. In Deutschland wird der jährliche Verbrauch an Lindenholz für Schnitzarbeiten auf 3000 bis 5000 m<sup>3</sup> geschätzt.<sup>[2] [1]</sup>

Weiters wird Lindenholz als Blindholz und Absperrfurnier in der Möbelherstellung eingesetzt, es eignet sich auch als Nussbaumimitation. Frontpartien von Kuckucksuhren, Reiß- und Zeichenbretter, Hutformen und Holzköpfe als Modelle für Perückenknüpfer werden häufig aus Lindenholz gefertigt. Es dient zur Herstellung von Gießereimodellen, Spielwaren, Küchengeräten und Holzpantoffeln. Lindenholz wird auch zur Fertigung von Fässern und Behältern für trockene und geruchempfindliche Waren verwendet, zur Fertigung billiger Bleistiftsorten und von Zündhölzern. Im Musikinstrumentenbau wird es zur Herstellung von Harfen, als Tastatur von Klavieren und als Zungenpfeifen von Orgeln verwendet.<sup>[1]</sup> Aus Lindenholz wird auch Zeichen- und Filterkohle hergestellt, früher wurde Kohle aus Lindenholz auch zur Schießpulvererzeugung und als Zahnpflegemittel verwendet.<sup>[1] [2]</sup>



Lindenblüten



Querschnitt einer Linde

## Weitere Verwendung

Von Imkern sind die Linden während der Blüte als Honigquellen besonders geschätzt, weil Bienen beachtliche Mengen an Lindenblütenhonig produzieren können. Getrocknete Lindenblüten ergeben einen Heiltee, der beruhigend auf die Nerven und lindernd bei Erkältungen mit Husten wirkt.

Vor der Einführung von Leinen und Hanf (also vermutlich bis zur Spätantike) verwendete man in Mitteleuropa die Fasern des weichen Lindenholzes - den Bast – zur Herstellung von Seilen, Matten, Taschen und Kleidung. Der Lindenbast wurde im Mai von jungen Linden (auch Baest genannt) gewonnen, indem man die Rinde abschälte, die weiche Innenseite abtrennte und ins Wasser legte, bis sich der Bast ablöste, der dann in der Sonne getrocknet wurde.

## Kulturgeschichte

Die Linde gilt gemeinhin als Baum der Freya, ob die Germanen die Linde tatsächlich dieser Göttin zugeschrieben haben, ist aber nicht eindeutig belegt.<sup>[3]</sup> Viele Orte in Mitteleuropa hatten früher ihre Dorflinde, die das Zentrum des Ortes bildete und Treffpunkt für den Nachrichtenaustausch und die Brautschau war. Anfang Mai wurden meist Tanzfeste unter diesem Baum – zum Teil auch auf sogenannten Tanzlinden – gefeiert. Ein literarisches Denkmal hat dem Baum Wilhelm Müller in seinem Gedicht *Der Lindenbaum* gesetzt.

Allerdings wurde hier auch meist das Dorfgericht abgehalten, eine Tradition, die auf die germanische Gerichtsversammlung, das Thing, zurückgeht. Die Linde ist deshalb auch als „Gerichtsbaum“ oder „Gerichtslinde“ bekannt. Anders als die Stieleiche galt sie als weibliches Wesen. Bei den Germanen und den Slawen galt die Linde als heiliger Baum. Nach Kriegen (oder Pestepidemien) gab es den Brauch sogenannte Friedenslinden zu pflanzen. Die meisten erhaltenen Exemplare erinnern an den Deutsch-Französischen Krieg von 1870/71, einige aber auch noch an den Westfälischen Frieden, wie etwa die "Friedenslinde am Dreierhäuschen" im thüringischen Ponitz, oder an lokale kriegerische Ereignisse wie die Zerstörung Ratzeburgs.

Auch viele Städte verdanken der Linde ihren Namen. So gibt es in Deutschland insgesamt etwa 850 Orte oder Ortsteile, deren Namen auf den Baum zurückzuführen sind.<sup>[4]</sup>

Der Lindenbaum und besonders sein Blatt ist das Symbol des sorbischen Volkes. Auch in Tschechien gilt die Linde (tschechisch: lípa) als nationaler Symbolbaum, zahlreiche Ortsbezeichnungen leiten sich von ihr ab (z. B. Česká Lípa (Böhmisch Leipa), Lipno-Stausee, Lipnice, Lipník, Lípová). In Kroatien wird in Linden als Untereinheit der nationalen Währung gezahlt (kroat. *lipa* = Linde).

## Bekannte Einzelexemplare der Gattung Linden

Markante und alte Baumexemplare in Mitteleuropa sind meist Winter- oder Sommerlinden.

### Winterlinden

Bekannte Einzelbäume der Winter-Linde (*Tilia cordata*) sind:

- Kunigundenlinde bei Kasberg (Nähe Gräfenberg)
- Tassilolinde beim Kloster Wessobrunn, Bayern
- Forster Linde im Aachener Stadtteil Forst
- Die Linner Linde bei Linn (Schweiz) ist mit 25 Meter Höhe und 11 Meter Stammumfang einer der größten Bäume der Schweiz. Sie wurde vor rund 500 bis 600 Jahren zum Gedenken an die Opfer der Pestepidemien gepflanzt; das genaue Datum ist nicht überliefert.



Lindengesäumter Mittelstreifen Unter den Linden

Der größte geschlossene Lindenwald Europas ist der Colbitzer Lindenwald in Sachsen-Anhalt; der Lindenbestand besteht aus Winterlinden.

### Sommerlinden

Bekannte Exemplare der Sommerlinde (*Tilia platyphylla*) sind:

- Tanzlinde in Effeltrich
- Hindenburglinde in Ramsau bei Berchtesgaden
- Linde in Schenk lengsfeld (wahrscheinlich ältester Baum Deutschlands)
- Schmorsdorfer Linde in Schmordorf bei Maxen, Gemeinde Müglitztal, Sachsen
- Wolframslinde in Ried
- Kaiser-Lothar-Linde in Königslutter
- Sommerlinde in Geisenheim, Rheingau
- Kaditzer Linde in Dresden-Kaditz

### Weitere Arten

Die 1991 im thüringischen Städtchen Niederdorla – dem neuen topographischen Mittelpunkt Gesamtdeutschlands – gepflanzte Linde ist eine Kaiserlinde, also eine Zuchtform der Holländischen Linde (*Tilia × europaea* 'Pallida').

### Nicht einer Art zugeordnet

Bekannte Einzelbäume sind der Wartbaum in Nidderau und die Freiheitslinde vor dem Reichstag in Berlin, die am 30. April 1990 von der Schutzgemeinschaft Deutscher Wald gepflanzt wurde, um an die Wiedervereinigung zu erinnern. Weitere Einzelbäume:

- Annalinde
- Hohle Linde in Obermarbach
- Sinziger Linde
- Linde bei Hildrizhausen

- tausendjährige Linde in Elbrinxen, Stadt Lügde, Nordrhein-Westfalen
- tausendjährige Linde in Schindlingsfeld, Hessen
- Zundelbacher Linde bei Weingarten, Baden-Württemberg
- Reinberger Linde in Reinberg, Mecklenburg-Vorpommern



Kaiser-Lothar-Linde in  
Königsutter



Linde von Linn (Schweiz)



Blut-Linde in Schaumburg



250 Jahre alte Kaiserlinde auf  
der Burganlage Schloß Burg  
in Solingen an der Wupper

## Quellen

- Ya Tang, Michael G. Gilbert & Laurence J. Dorr: *Tiliaceae* in *Flora of China*, Volume 12, Seite 246: *Tilia* – Online. <sup>[5]</sup> (engl.)
- Beschreibung vom botanischen Garten Tübingen. <sup>[6]</sup>

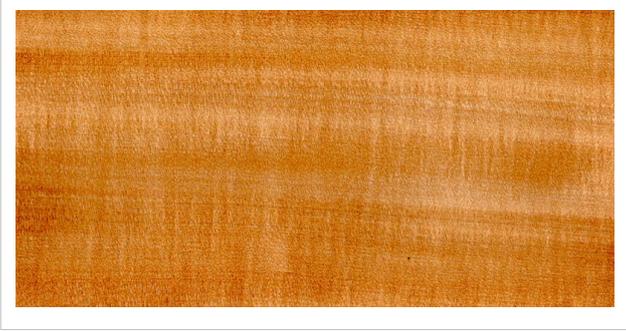
## Weblinks

- Eintrag bei GRIN. <sup>[7]</sup>

## Referenzen

- [1] D. Grosser, W. Teetz: *Linde*. In: Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. (Hrsg.): *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung)*. Nr. 17, Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond – Absatzförderungsfonds 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>) ( Online ([http://www.infoholz.de/html/f\\_page.phtml?p1=1259608528a747416984&p3=499](http://www.infoholz.de/html/f_page.phtml?p1=1259608528a747416984&p3=499))).
- [2] Doris Laudert: *Mythos Baum : Geschichte, Brauchtum, 40 Baumporträts von Ahorn bis Zitrone*. 7., durchgesehene Auflage. blv, München 2009, ISBN 978-3-8354-0557-8, S. 169.
- [3] Alexander Demandt: *Über allen Wipfeln. Der Baum in der Kulturgeschichte*. Albatros, Düsseldorf 2005, S. 86. ISBN 3-491-96140-8
- [4] Jean-Denis Godet: *Godet Naturführer. Bäume und Sträucher*. Ulmer, Stuttgart 2007, ISBN 3-8001-5354-8
- [5] [http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=2&taxon\\_id=133008](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=133008)
- [6] <http://www.botgarten.uni-tuebingen.de/tiki/tiki-index.php?page=Tilia>
- [7] <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/genus.pl?12151>

# Lindenholz

Linde	
	
Baumarten	Winterlinde, Sommerlinde, Holländische Linde
Herkunft	Europa
Farbe	weißlich bis gelblich, öfter rötlich oder hellbräunlich getönt
Materialeigenschaften	
Rohdichte Mittelwert	490–530 kg/m <sup>3</sup>
Rohdichte Grenzwerte	320–600 kg/m <sup>3</sup>
Axiales Schwindmaß	0,3 %
Radiales Schwindmaß	5,5 %
Tangentiales Schwindmaß	9,1 %
Biegefestigkeit	90-106 N/mm <sup>2</sup>
Druckfestigkeit	44-52 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit	85 N/mm <sup>2</sup>
Brennstoffeigenschaften	
Brennwert	4,2 kWh/kg <sup>[1]</sup>

Als **Lindenholz** wird das Holz verschiedener Arten der Linden (Gattung *Tilia*) bezeichnet, das als Nutzholz verwendet wird.

## Herkunft

Als Lindenholz wird das Holz der Winter-Linde (*Tilia cordata*), der Sommer-Linde (*Tilia platyphyllos*) und der Holländischen Linde (*Tilia × europaea*), eine Kreuzung der ersten beiden, verwendet. Das natürliche Verbreitungsgebiet der Winter-Linde erstreckt sich von Nordeuropa über Mitteleuropa bis nach Osteuropa. Der Ural und das Schwarze Meer bilden die östliche Verbreitungsgrenze. Das natürliche Verbreitungsgebiet der Sommer-Linde erstreckt sich über den südlichen Teil von Europa mit dem Kaukasus als östliche und die deutschen Mittelgebirge als nördliche Verbreitungsgrenze. Kultiviert sind beide Arten in ganz Europa zu finden. <sup>[2]</sup>

## Aussehen

Die Linden zählen zu den Reifholzbäumen und haben ein helles Kernholz, das sich farblich nicht vom Splintholz unterscheidet. Das Holz ist hellfarbig, weißlich bis gelblich und hat häufig einen rötlichen oder bräunlichen Einschlag und zeigt einen matten Glanz. Seltener ist es grünlich gestreift oder gefleckt. Die sehr feinen Gefäße sind zerstreutporig und sehr regelmäßig angeordnet. Die Gefäße als auch die Holzstrahlen sind im Querschnitt nur undeutlich erkennbar. Auf den Radialflächen bilden die Holzstrahlen gut erkennbare bis zu 2 Millimeter hohe Spiegel. Die Jahresringe sind nur schwach abgesetzt. Das Holz der Lindenarten kann weder mikroskopisch noch makroskopisch unterschieden werden. <sup>[2]</sup>

## Eigenschaften

Zwischen den Holz der beiden heimischen Lindenarten gibt es keine nennenswerten Unterschiede. Doch wird der Winterlinde ein etwas schwereres, dichteres und härteres Holz nachgesagt. Lindenholz ist weich und mit einer Rohdichte von  $530 \text{ kg/m}^3$  bei 12 bis 15% Holzfeuchte ein mittelschweres heimisches Laubholz. Es ist gleichmäßig dicht, zäh, wenig elastisch und wenig fest. Es ist stark schwindend, reißt oder arbeitet aber im getrockneten Zustand kaum. Unter Wasser oder der Witterung ausgesetzt wird es rasch durch Pilze befallen und ist daher nur gering dauerhaft.

Lindenholz kann gut bearbeitet werden, es lässt sich mühelos schneiden und hobeln und ist besonders gut geeignet zum Schnitzen und Drechseln. Es ist gut schälbar, messerbar und gut zu biegen. Es kann leicht gespalten werden aber nicht in glatten Flächen. Verbindungen durch Nägel und Schrauben sind gut haltbar, doch ist die Verleimungsfestigkeit teilweise unbefriedigend. Die Oberflächen lassen sich gut polieren, beizen und einfärben. Die Behandlung mit Lacken ist unproblematisch.

An Sonnenlicht kann das Holz vergilben. In Kontakt mit Eisen bilden sich bei Feuchtigkeit graue Verfärbungen und das Eisen zeigt starke Korrosion. Ansonsten ist das Holz im Allgemeinen chemisch inaktiv. <sup>[2]</sup>

## Verwendung

Lindenholz wird sowohl als Rund- als auch als Schnittholz verkauft, steht aber nur in kleinen Mengen zur Verfügung. Der Hauptverwendungszweck ist die Bildhauerei, die Schnitzerei und Drechslerei. Viele berühmte Werke deutscher Bildhauer vor allem aus der Spätgotik sind aus Lindenholz hergestellt, darunter Werke von Tilman Riemenschneider oder Veit Stoß oder mehrere Jahrhunderte später Ludwig Schwanthaler. Lindenholz galt daher lange als „lignum sacrum“ (lateinisch für „heiliges Holz“), weil daraus viele Heiligenstatuen geschnitzt wurden. Das zog ihr auch den Unmut protestantischer Geistlicher zu, so sagte der lutherische Prediger Hieronymus Bock über die Linde: „Aus dem Holz macht man die geschnitzten Bilder, die hat man in den Kirchen anstatt der Heiligen verehrt“. Auch die Schwarze Madonna von Tschenschow ist auf Lindenholz gemalt. Heute wird für Schnitzarbeiten jedoch häufiger das leichter beschaffbare Holz der Weymouths-Kiefer (*Pinus strobus*) eingesetzt. In Deutschland wird der jährliche Verbrauch an Lindenholz für Schnitzarbeiten auf 3000 bis  $5000 \text{ m}^3$  geschätzt. <sup>[3]</sup> <sup>[2]</sup>



Creglinger Marien-Retabel von Tilman Riemenschneider

Weiters wird Lindenholz als Blindholz und Absperrfurnier in der Möbelherstellung eingesetzt, es eignet sich auch als Nussbaumimitation. Frontpartien von Kuckucksuhren, Reiß- und Zeichenbretter, Hutformen und Holzköpfe als

Modelle für Perückenknüpfer werden häufig aus Lindenholz gefertigt. Es dient zur Herstellung von Gießereimodellen, Spielwaren, Küchengeräten und Holzpantoffeln. Lindenholz wird auch zur Fertigung von Fässern und Behältern für trockene und geruchsempfindliche Waren verwendet, zur Fertigung billiger Bleistiftsorten und von Zündhölzern. Im Musikinstrumentenbau wird es zur Herstellung von Harfen, als Tastatur von Klavieren und als Zungenpfeifen von Orgeln verwendet. <sup>[2]</sup>

Aus Lindenholz wird auch Zeichen- und Filterkohle hergestellt, früher wurde Kohle aus Lindenholz auch zur Schießpulvererzeugung und als Zahnpflegemittel verwendet. <sup>[2] [3]</sup>

## Nachweise

### Literatur

- D. Grosser, W. Teetz: *Linde*. In: Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. (Hrsg.): *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung)*. Nr. 17, Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond – Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn 1998, ISSN 0446-2114 <sup>[1]</sup> (Online <sup>[4]</sup>).

### Referenzen

[1] *Holz Brennwerte*. (<http://www.kaminholz-wissen.de/holz-brennwerte.php>) kaminholz-wissen.de, abgerufen am 6. Dezember 2009.

[2] Grosser, Teetz: *Linde*

[3] Doris Laudert: *Mythos Baum : Geschichte, Brauchtum, 40 Baumporträts von Ahorn bis Zitrone*. 7., durchgesehene Auflage. blv, München 2009, ISBN 978-3-8354-0557-8, S. 169.

[4] [http://www.infoholz.de/html/f\\_page.phtml?p1=1259608528a747416984&p3=499](http://www.infoholz.de/html/f_page.phtml?p1=1259608528a747416984&p3=499)

# Linoleum

**Linoleum** ist ein von dem englischen Chemiker Frederick Walton 1860 entwickeltes Material. Der Name setzt sich zusammen aus den lateinischen Begriffen *linum* ‚Lein‘ und *oleum* ‚Öl‘ und verweist auf das Leinöl, das neben Korkmehl und Jutegewebe der wichtigste Grundstoff für das Linoleum ist.

Das Material dient klassischerweise zur Fertigung elastischer Bodenbeläge sowie als Druckplatte in der bildenden Kunst. Weitgehend historisch ist seine Verwendung für Tapeten (Lincrusta). Vereinzelt wird es auch als Belag für Möbelstücke (Tische, Schränke, Pinnwände) gebraucht.

Nachdem sich Linoleum in der zweiten Hälfte des 19.

Jahrhunderts als elastischer Bodenbelag durchgesetzt hatte und bis weit in die Mitte des 20. Jahrhunderts vorherrschend war, brach der Markt mit der Einführung von Bodenbelägen aus PVC in den 1960er-Jahren zusammen und erholte sich erst ab Mitte der 1980er-Jahre wieder. Weltweit gab es 2008 nur noch vier Werke (alle in Europa) von drei Herstellern.



Moderne Farbkollektion und Rückseite von Linoleum

## Herstellung

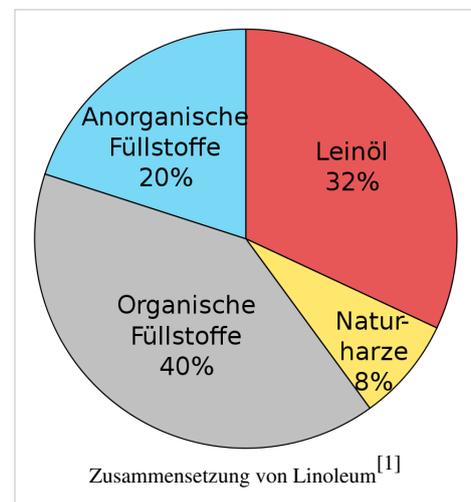


Produktpräsentation der *Linoleum AB Forshaga* 1923

## Rohstoffe

Linoleum besteht hauptsächlich aus oxidativ polymerisiertem Leinöl (Linolin), Naturharzen (Kolophonium, Copal und ersatzweise Dammar), Kork- oder Holzmehl, Kalksteinpulver, Titan(IV)-oxid als Weißpigment, Farbstoffen und einem Jutegewebe als Trägerschicht. Alternativ zum Leinöl kann heute auch Sojaöl verwendet werden, zudem können je nach Hersteller und Zeitpunkt der Herstellung auch Anteile von Kautschuk oder Kunststoffen enthalten sein. Die Festigkeit wird allein durch das oxidierte Öl erreicht, die Zusatzstoffe dienen nur der Veränderung der spezifischen Eigenschaften.

Linoleum wird in einem mehrstufigen, zeit- und arbeitsaufwändigen Verfahren hergestellt. Das Linolin und die Harze sind die Bindemittel und machen als Linoleumzement etwa 40 % der Gesamtmasse aus, 60 % entfallen auf organische (Holz-, Korkmehl) und anorganische (Kalksteinpulver, Pigmente) Füllmittel. Das Trägermaterial, im Regelfall Jutegewebe (früher Segeltuch), bildet mit nur etwa einem Prozent den geringsten Teil der Gesamtmasse.<sup>[1]</sup>



## Firnis- und Linoxinherstellung

Ausgangsprodukt der Linoleumproduktion ist das Leinöl aus den Samen des Ölleins. Es wird per Warmpressung oder Extraktion gewonnen und vor der Weiterverarbeitung zu Leinölfirnis umgewandelt, indem es unter Zugabe von Trockenstoffen (früher oft Blei- und Kobalt-, heute nur Manganverbindungen in Mengen von etwa 20 ppm)<sup>[1]</sup> bei höheren Temperaturen eingekocht wird. Dabei verliert es rund die Hälfte an Gewicht und wird zäher. Ziel ist es, durch das Einkochen die spätere Trocknungszeit zu verkürzen.<sup>[2]</sup> Der Leinölfirnis wird nun zu Linoxin oxidiert, dabei lassen sich drei Verfahren unterscheiden.

### Historische Verfahren

Das älteste Oxidationsverfahren ist das auf Frederick Walton zurückgehende Tücher-Linnoxinverfahren (auch Walton- oder Alt-Walton-Verfahren), bei dem in auf 30 bis 40 °C geheizten sogenannten *Oxydationsschuppen* feine Stoffbahnen aus Baumwolle oder Nesseltuch herabhingen. Sie wurden regelmäßig mit Leinölfirnis berieselt, der mit dem Luftsauerstoff zu Linoxin reagierte. Erst nach vier bis fünf Monaten wurden die auf eine Stärke von 1 bis 1,5 Zentimeter angewachsenen Bahnen abgenommen und das gewonnene Linoxin weiterverarbeitet. Die Methode war langsam und aufwändig, das Linoxin jedoch von hoher Qualität. Trotz der Aufwändigkeit war das Verfahren zumindest noch bis in die 1950er Jahre in Gebrauch.<sup>[3] [4]</sup>

Das 1871 von William Parnacott entwickelte und nach dem Fabrikanten Caleb Taylor benannte Taylor-Verfahren hingegen war ein künstliches Oxidationsverfahren, bei dem das Leinöl mit Oxidationsbeschleunigern versehen und unter Rühren und Einblasen von Sauerstoff auf gut 300 °C erhitzt wurde. Der gesamte Oxidationsprozess dauerte nur einen Tag, was die Kosten für das Endprodukt erheblich reduzierte. Das gewonnene Linoxin galt als von minderer Qualität und besaß eine sehr dunkle Eigenfarbe, weshalb es sich nur für spezielle Anwendungen eignete, etwa für die Produktion von Korklinoleum, dunkler einfarbiger Ware oder bedrucktem Linoleum.<sup>[4]</sup>

1894 patentierte Frederick Walton das sogenannte Schnelloxidationsverfahren (auch Bedford- oder Neu-Walton-Verfahren) als ein neues Verfahren zur Produktion des Linoxins. Das Verfahren gliederte sich in zwei Teile, nämlich die Firnisbereitung in großen Oxidationstürmen, wo das Leinöl ‚herabregnete‘, sowie die abschließende Bereitung des Linoxins in großen, liegenden Trommeln, sogenannten *Bedford-Trommeln*. Darin wurde der Firnis bei 55 °C unter Rühren zu einer zähen, teigartigen gelbroten Masse verdickt.<sup>[4]</sup>

Später wurde das zwischenzeitlich zwecks Reifung gelagerte Linoxin wieder eingeschmolzen und durch Zugabe verschiedener Harze der sogenannte Linoleumzement hergestellt. Dieser lagerte dann für zwei Monate bis zur endgültigen Weiterverarbeitung.

### Heutiges Oxidationsverfahren

Heutige Verfahren basieren auf dem Schnelloxidationsverfahren, die einzelnen Schritte sind aber weitgehend zusammengefasst worden. Das Leinöl in den Bedford-Trommeln wird mit Trocknungsstoffen versetzt, bei einer Temperatur von etwa 80 °C und unter ständigem Rühren erfolgen dann Firnisbereitung und Oxidation. Sobald die Masse eine bestimmte Zähigkeit (Viskosität) erreicht hat, erfolgt die Zugabe der eingeschmolzenen Harze in die Trommeln. Durch computergesteuerte Verfahren können diese Trommeln aufgeheizt und abgekühlt werden, um die richtige Konsistenz und das optimale Mischungsverhältnis zu erreichen.<sup>[1]</sup>

Bis zu diesem Punkt nimmt die Zubereitung heute nicht mehr als einen Tag in Anspruch. Der Masse wird während der Oxidation zudem Linoleummehl zugegeben, das durch Schreddern und Mahlen von Produktionsresten entsteht. Dies dient zum einen der Verringerung der Abfallmenge, zum anderen wird durch das bereits oxidierte Material der Reifeprozess des neuen Linoleumzements beschleunigt.<sup>[1]</sup>

Der fertige Linoleumzement wird durch eine Schneckenpresse in einen Strang gepresst und in definierte Längen gekürzt. Er wird in mit Kreide oder Holzmehl eingestäubten Eisenkästen abgekühlt und anschließend zur Nachreife und Abkühlung bis zur Verwendung gelagert.<sup>[1]</sup>

## Mischmassenbereitung, Kalandern und Nachreife

Der so produzierte Linoleumzement wird mit Kork- und Holzmehl, Kalksteinpulver als Bindemittel sowie Weißpigmenten (Titandioxid) und Farbstoffen vermischt und verknetet. Dabei werden anteilig etwa 40 % Linoleumzement, 40 % Kork- und Holzmehl und 20 % Kalksteinstaub und Pigmente gemischt, wobei die trockenen Bestandteile in einem Vormischer vermengt und erst dann



Querschnitt eines Linoleumstücks; die gleichmäßige Mischung ist an der Farbstoffdurchdringung bis zum Trägermaterial erkennbar

mit dem dünn ausgewalzten Linoleumzement verknetet werden. Die gründliche Verknetung entsteht durch einen mehrstufigen Mischgang, in dem das Material durch mehrere Ein- und Zweischneckenmischer geführt wird. So ergibt sich eine homogene Mischung des Materials.<sup>[1]</sup>

Zum Kalandern schütten Dosieranlagen das Material als feinkörnige Masse vor den Kalandervalzen auf das Trägergewebe auf. Diese großen, gegenläufig arbeitenden Walzenpaare können je nach Bedarf in der Drehgeschwindigkeit reguliert und aufgeheizt werden. Die Mischmasse wird durch die Kalandern auf das Trägermaterial aufgewalzt, wodurch sich beide fest miteinander verbinden.<sup>[1]</sup>

Nach dem Kalandern werden die langen, ungeschnittenen Linoleumbahnen zum Nachreifen in Reifekammern gebracht. Durch eine zwei- bis vierwöchige regulierte Wärmebehandlung erhält das Linoleum hier die gewünschten Eigenschaften. Die Kammern beherbergen bis zu 20.000 Meter Linoleum und sind im Regelfall 15 Meter hoch, durch mittiges Hängen der Bahnen können die Einzelbahnen bis 30 Meter lang sein.<sup>[1]</sup>

## Verlegen

Linoleum wird im Regelfall von hierfür qualifizierten Fachleuten (u.a. Maler, Raumausstatter oder Estrichverleger) verlegt. Als Hilfsmittel werden Klebstoffe sowie Spachtelmasse und spezielle Werkzeuge zur Fußbodenvorbereitung benötigt.<sup>[1]</sup>

Das Linoleum nimmt normalerweise Feuchtigkeit vom Kleber und vom Untergrund auf, wodurch es sich vorübergehend erweicht. Moderne Dispersionskleber enthalten bis zu 30 % Wasser, das in den Unterboden oder das Linoleum abgegeben wird. Durch die erhöhte Feuchtigkeit kann es bis zu 6 Wochen dauern, bis das Linoleum vollständig getrocknet und voll beanspruchbar ist – in dieser Zeit ist es vor allem für Kerbschlagbelastungen anfälliger, die z.B. durch Stuhlbeine eingeschlagen werden können. Wird unter dem Linoleum zur Schallisolierung eine Korkschicht verlegt, kann der Trocknungsprozess durch die doppelte Feuchtigkeit nochmals deutlich verlängert werden.<sup>[1]</sup>

Um Räume vollständig und fugenlos an den Wänden abzuschließen, gibt es spezielle Wandanschlussysteme, die ebenfalls aus Linoleum bestehen und in verschiedenen Ausführungen mit Stützprofil oder mit einfachen Sockelstreifen einen sauberen Abschluss ermöglichen. Ebenfalls zum Zubehör gehört Linoleumschmelzdraht zum Abdichten der Nähte, der aus einem Schmelzklebstoff besteht und transparent oder in den gleichen Farben wie das Linoleum angeboten wird. Zum Abdichten der Nähte nach dem Abbinden des Klebstoffes dient ein Handschweißgerät oder ein Schweißautomat.<sup>[1]</sup>

## Oberflächenbehandlung

Ein Nachteil des Linoleums gegenüber Bodenbelägen aus PVC ist seine relative Pflegebedürftigkeit. Linoleum musste bis in die 1950er Jahre neben der normalen Reinigung regelmäßig mit wachsbasierten Pflegemitteln gebohnt werden, um die Oberfläche vor Verschmutzung und mechanischen Schäden zu schützen.

Heutzutage wird nach der Reifung eine Schutzschicht auf die Oberfläche des Linoleums aufgetragen und anschließend getrocknet. Bis Mitte der 1990er Jahre war Acrylharz gebräuchlich<sup>[1]</sup>, heute verwenden die großen Anbieter dazu entweder Polyurethan (*DLW Armstrong*) oder spezielle, haus eigene Beschichtungen wie *TopShield (Forbo)* oder *xf – Extreme Finish (Tarkett)*. Diese versiegeln das Linoleum und machen es ab Werk unempfindlich gegen Verschmutzungen. Der von den Herstellern häufig angeführte Zusatznutzen, dass bisher notwendige Pflegeschritte so entfielen, wird aber von Fachleuten durchaus skeptisch gesehen. Auch würde durch diese vollständigen Versiegelungen Wasser im Material zurückgehalten, was Stippnähte begünstigt.<sup>[5]</sup>

Unversiegelt wird Sportlinoleum für Turnhallen ausgeliefert, da es erst nach der Verlegung mit speziellen rutschfesten Pflegemitteln behandelt wird. Als „Ökoprodukt“ bezeichnet der Handel Linoleum, das unbehandelt vertrieben und erst nach dem Verlegen mit Naturwachsen versiegelt wird.<sup>[1]</sup> Auch Linoleum für den Linoldruck ist nicht behandelt, da die Oberfläche mit Schnittwerkzeugen bearbeitbar bleiben muss.

## Eigenschaften

Linoleum besitzt viele Eigenschaften, die es als Bodenbelag auszeichnen. Seine Basiszusammensetzung und technischen Eigenschaften sind national und international genormt. Die wichtigste Norm für Europa stellt EN 548 (*Elastische Bodenbeläge – Spezifikation für Linoleum mit und ohne Muster*) in der letzten Fassung von 20. September 2004 dar, die mit zahlreichen weiteren Normen zur Qualität von Sonderformen, Verlegetechniken und anderem verknüpft ist.<sup>[6]</sup> Nach dieser Norm ist Linoleum nach Art des Bindemittels definiert: Es muss aus Leinöl oder anderen trocknenden Pflanzenölen und Harzen bestehen, und der Mindestanteil an Füllmitteln (Kork-, Holzmehl) muss 30 % betragen.

## Technische Eigenschaften

Hauptvorteil des Linoleums ist seine Widerstandsfähigkeit gegen mechanische und chemische Beanspruchungen. Verformungen (Druckstellen) die durch hohe Belastungen entstehen, bilden sich nach einiger Zeit fast vollständig zurück. Entsprechende Testverfahren und Grenzwerte sind als Qualitätsspezifikation in nationalen Vorschriften enthalten oder werden vom Hersteller angegeben. In Deutschland darf unter genormten Bedingungen (23 °C, 50 % relative Luftfeuchtigkeit) nach 150 Minuten Belastung und weiteren 150 Minuten Entlastung eine Eindrucktiefe von 0,15 Millimeter bzw. bei Materialien über 3,2 mm von 0,2 mm nicht überschritten werden.

Linoleum kann als schwer entflammbar (früher B1) bzw. normal entflammbar eingestuft (früher B2) werden. Dies entspricht den europäischen Brandschutzklassen  $C_{fl-s1}$  bzw.  $E_{fl}$ . Die nach der EN 1399 geforderten Eigenschaften



Bohnern mit der Bohnermaschine  
1912

zur *Beständigkeit gegenüber brennenden Zigaretten*, die vor allem bei Bodenbelägen im Publikumsbereich wichtig ist, sieht vor, dass das Material beim Ausdrücken keine und beim Abbrennen einer Zigarette nur leichte Farbveränderungen aufweisen darf.

Des Weiteren ist Linoleum beständig gegenüber einer ganzen Reihe von Säuren und Lösungsmitteln sowie gegenüber anderen Chemikalien. Dazu gehören zum Beispiel Benzin, Ethanol, Öle, sowie die meisten waschaktiven Substanzen. Sehr empfindlich ist das Material allerdings gegen Alkalien mit einem pH-Wert über 9 wie zum Beispiel Seife oder Ammoniak.

### Hygienische Eigenschaften

Linoleum ist antistatisch, leicht fungizid und bakteriostatisch (hemmt also Bakterien-Wachstum). Ursache ist die permanente Emission geringer Mengen verschiedener Aldehyde (Hexanal, Acrolein, Acetaldehyd usw.), die aus der praktisch nie endenden Leinölaufoxydation an der Luft stammen oder Reste der Oxidationsreaktion im Herstellungsprozess („Reifeprozess“) sind. Dieser Effekt hat dazu geführt, dass Linoleum als bevorzugter Bodenbelag in Gebäuden mit erhöhten Hygieneanforderungen verwendet wurde und auch heute noch wird.

### Reifeschleier

Linoleum entwickelt durch Dunkelvergilbung einen typischen ‚Reifeschleier‘. Es handelt sich hierbei um eine Farbverschiebung, die bei dunkel gelagertem Material vorkommen kann. Der Reifeschleier und die Farbverschiebung sind abhängig von der Linoleumfarbe. So verschieben sich Blau und Grau in Richtung Grün und Beige in Richtung Gelb.

Abgebaut wird dieser Reifeschleier durch Licht. Eine einstündige Beleuchtung im Freien durch helle Mittagssonne reicht bereits aus, um ihn vollständig abzubauen, dunklere Lichtverhältnisse verzögern den Prozess, in vergleichsweise dunklen Wohnungen kann er teilweise auf Wochen verlangsamt sein. Bei ungleichen Lichtverhältnissen kann es zu Farb- und Helligkeitsunterschieden bei verlegtem Linoleum kommen, so genannten Belichtungsvorsprüngen. Eine vollständige Anpassung kann Wochen in Anspruch nehmen.

### Linoleum mit speziellen Eigenschaften

Linoleum wird auch für verschiedene Spezialanwendungen produziert. So wird zur Verwendung in Bereichen, in denen mit elektrosensiblen Bauteilen gearbeitet wird, ein Bodenbelag verlangt, der keine elektrostatische Aufladung ermöglicht. Er muss entsprechend leitfähig sein und häufig zudem eine Standortisolierung durch einen hohen Oberflächenwiderstand aufweisen. Solche Beläge werden vor allem in Bereichen eingesetzt, in denen elektronische Bauteile gebaut, fernmeldetechnische Anlagen oder Rechenzentren betrieben werden. Auch Räume mit hoher Explosionsgefahr wie für die Feuerwerksherstellung erfordern elektrisch leitfähige Fußböden, um keine Zündung durch elektrostatische Aufladungen zu provozieren. Das Linoleum wird hier auf einem Ableitsystem mit Kupferbändern verlegt.

Eine weitere Spezialanforderung ist verstärkte Schall- und Trittschallreduzierung. Diese wird durch Zusatzstoffe im Bodenbelag (weichfedernder Bodenbelag) oder einen speziellen Untergrund (schwimmender Estrich) erreicht.

Hochstrapazierfähiges Linoleum ist insbesondere in Turnhallen zu finden. Mit einer Dicke von 4 mm ist es besonders dick und wird vor allem auf flächenelastischen Böden aufgebracht. Es wurde bereits vor dem Ersten Weltkrieg entwickelt und auf Kriegsschiffen eingesetzt, wodurch es den Beinamen *battle ship linoleum* erhielt.



Sportlinoleum bzw. Linodur ist die bekannteste und erfolgreichste Spezialform des Linoleums

## Geschichte

### Vorgeschichte: Öltücher und Kamptulikon

Bodenbeläge zum Schutz von Fußböden wurden schon mehrere Jahrhunderte vor dem Linoleum verwendet. Vor allem Wachs- oder Öltücher stellten einen direkten Vorgänger der späteren elastischen Bodenbeläge dar. Wachstuch in Form von bemaltem Gewebe wurde wahrscheinlich bereits im 15. oder 16. Jahrhundert entwickelt, als Fußbodenbelag ist es allerdings erst aus dem frühen 18. Jahrhundert belegt. Es setzte sich zu dieser Zeit vor allem in England durch zum Schutz von Holzböden oder wertvollen Teppichen unter Tischen, von Treppenstufen und in Durchgängen. Im Regelfall quadratische Stücke von etwa zwei Quadratmetern (zwei bis drei square yards) aus Leinen, Hanftuch oder Baumwolle wurden auf die gewünschte Größe vernäht und anschließend mit einer Farbschicht wasserdicht bemalt.<sup>[7]</sup>

Das englische Patent für Wachstuch als Fußbodenbelag wurde 1763 durch Nathan Smith eingereicht. Es bestand aus einem mit einem Gemisch aus Harz, Teer, (Spanischbraun), Bienenwachs und Leinöl überzogenen Gewebe.<sup>[4]</sup> Smith eröffnete im selben Jahr eine erfolgreich laufende Manufaktur für Bodenöltuch in London und bis zum Ende des 18. Jahrhunderts gab es in England bereits 20 Öltuchfabriken. Auch in den USA etablierte sich das Produkt und eine Reihe von Unternehmen wurden gegründet. Eine der bedeutendsten Fabriken Großbritanniens war die Tuchfabrik von Michael Nairn in Kirkcaldy, die ab 1848 auch Öltücher produzierte<sup>[7]</sup>.<sup>[8]</sup>



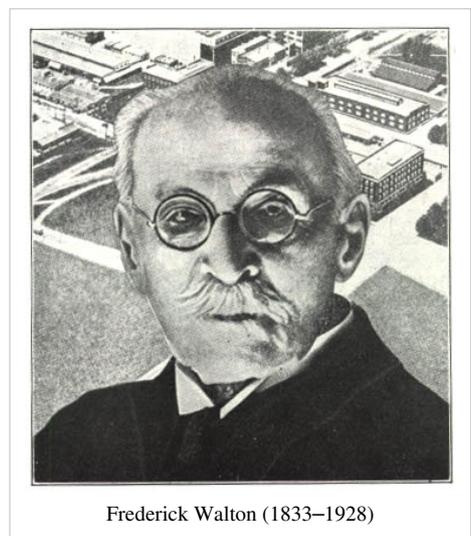
Michael Nairn (1804–1858)

1844 patentierte der Engländer Elijah Galloway einen elastischen Bodenbelag namens Kamptulikon. Es handelte sich um ein kautschukartiges Material, das auch in großen Gebäuden wie Kirchen verwendet wurde und gegenüber dem Öltuch wärme- und schalldämmender war.<sup>[9]</sup> Hergestellt wurde Kamptulikon aus Kautschuk, Guttapercha, Abfällen aus der Korkindustrie, Schellack und Leinöl. In den 1860er Jahren gab es in England zehn Fabriken, die Kamptulikon herstellten. Aufgrund des relativ hohen Preises konnte es sich allerdings in weniger wohlhabenden Haushalten nicht durchsetzen.<sup>[7]</sup>

### Entdeckung und Entwicklung des Linoleums

Zahlreichen Quellen zufolge entdeckte Frederick Walton das Linoleum durch einen Zufall: Bei Arbeiten zur Entwicklung schnelltrocknender Farben sah er auf einer Dose mit Farbe auf Leinölbasis eine feste gummiartige Schicht oxidierten Leinöls.<sup>[7]</sup> 1860 ließ er einen Prozess zur Herstellung des Linoxins patentieren, bei dem Leinöl der Luft ausgesetzt wurde und sich durch Oxidation verdichtete. Walton versuchte, das von ihm neu entwickelte Linoxin auf Gewebepapieren aufzutragen und so einen Ersatz für Kautschuk zu bekommen. 1863 stellte er sein erstes Stück Linoleum her und ließ das Verfahren im Jahr darauf patentieren.<sup>[10]</sup>

Bei seiner Einführung wurde Linoleum ein breites Verwendungsspektrum zugetraut, dem in dieser Form jedoch erst



Frederick Walton (1833–1928)

erdölbasierte Kunststoffe des 20. Jahrhunderts wirklich gerecht werden konnten. Zeitgenössische Quellen formulieren hohe Erwartungen an das Material: Es sollte Verwendung finden als Schutzanstrich für Eisen, Holz und Kutschwagen, als wasserfester Klebstoff sowie – nach Vulkanisierung und weiterer Härtung – als Holz-, Elfenbein- und Marmorersatz, im Alltag für Bilderrahmen, Tischdecken oder Besteckgriffe, im technischen Bereich für Prägestöcke und Gasrohre. Im Verbund mit Korund sollten selbst Schleifräder daraus hergestellt werden. Zur Umsetzung solcher Anwendungen, die Walton weitgehend Lizenznehmern überlassen wollte, kam es jedoch nicht. Sein bereits marktreifes Verfahren zur Herstellung von Bodenbelägen hingegen setzte er selbst mit der Gründung der *Linoleum Manufacturing Company* in Staines um, die er unter anderem durch eine Partnerschaft<sup>[7]</sup> mit William J. Turner und anderen Investoren finanzierte.<sup>[11]</sup>

Nach schleppender Einführung konnte sich das neue Material aufgrund seiner Dämmwirkung, Haltbarkeit und Elastizität schnell gegenüber den Ötöchern und dem Kamptulikon durchsetzen. Linoleum wurde aufgrund der leichten Reinigungsmöglichkeit vor allem für öffentliche Gebäude wie Krankenhäuser oder Büros genutzt. 1877 lief der Patentschutz des Linoleums aus, andere Hersteller begannen ebenfalls mit der Produktion und traten in direkte Konkurrenz zu Walton. Walton hatte es versäumt, den Namen *Linoleum* schützen zu lassen und verlor eine Klage gegen die mittlerweile von Michael Barker Nairn geleitete *Michael Nairn & Co.* mit der Begründung, dass der Begriff Linoleum durch seine Bekanntheit bereits ein etablierter Begriff für das Material und nicht mehr nur für das Unternehmensprodukt sei.<sup>[7]</sup> Innerhalb von nur 14 Jahren hatte sich *Linoleum* in Großbritannien als allseits bekannte Bezeichnung durchgesetzt.

1877 entwickelte und patentierte Frederick Walton ein Verfahren, Linoleum auch als Wandverkleidung nutzbar zu machen, er nannte das neue Produkt *Lincrusta*<sup>[10]</sup>. Es bestand aus einem starken Papier, auf das mit einer plastischen Masse erhabene Muster aufgewalzt wurden. Diese Masse war eine Mischung aus Holzmehl, Kreide, Farbe und einem Harz-Linoleum-Gemisch. Die Produktion begann 1878 in Sunbury-on-Thames, später auch in Paris und Hannover.

1890 gelang es Walton, mit dem *Straight-Line-Inlaid*-Verfahren eine Einlegetechnik marktreif zu machen. Zwar hatte es bereits vorher Möglichkeiten gegeben, Linoleum auch zu gestalten, diese waren aber entweder nur wenig vielfältig (z. B. bei granitiertem oder marmoriertem Linoleum) oder technisch nicht überzeugend (wie das nicht verschleißfeste Bedrucken oder ein unpräzises Verfahren nach C. F. Leake). Walton gründete 1894 die *Greenwich Inlaid Linoleum Company* in Greenwich, die sich auf dieses Verfahren spezialisierte.

Michael Nairn konnte ab 1881 große nahtlose Linoleumbahnen anbieten und produzierte ab 1895 ebenso wie Walton Linoleum mit einer Einlegetechnik, die mehrfarbige Designs ermöglichte. 1922 übernahm *Michael Nairn Ltd.* das Unternehmen von Walton und firmierte seither als *Michael Nairn and Greenwich Ltd.*

## Internationale Entwicklung

Mit dem Erfolg des Linoleums entstanden zum Ende des 19. Jahrhunderts auch erste Werke außerhalb Englands. Walton verkaufte zwar zuvor bereits vereinzelt Lizenzen zur Herstellung von Linoleum nach Frankreich und Deutschland, der entscheidende Impuls war aber das Auslaufen des Patents von Walton 1877. Nairn eröffnete 1888 seine erste Linoleumfabrik in Kearny, New Jersey sowie in den 1890er Jahren in Choisy-le-Roi nahe Paris und in Bietigheim bei Stuttgart<sup>[8]</sup>. 1886 gründete sich zudem *Tarkett* in Ronneby, Schweden, als einer der wenigen bis heute existierenden Linoleumhersteller.

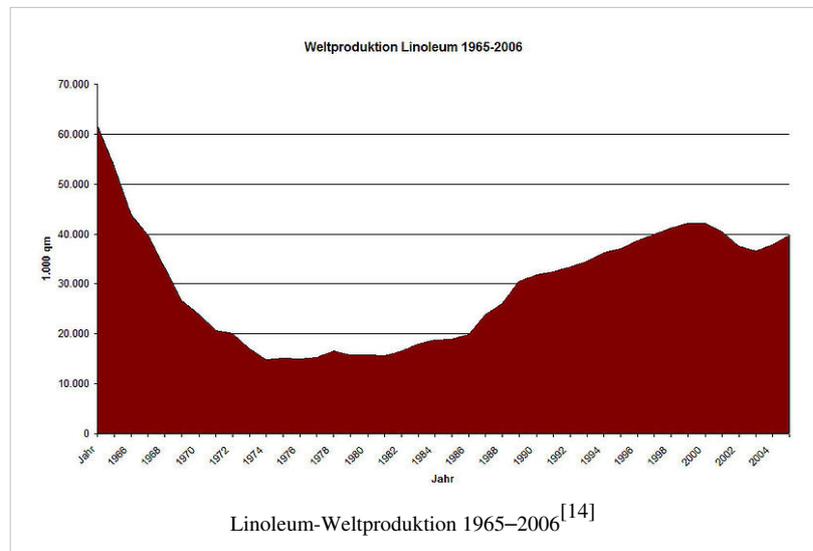
Ab den 1870er Jahren entstand eine Linoleum-Industrie in den USA, ab den 1880er Jahren auch in Deutschland. Vor allem um die Jahrhundertwende sowie zwischen 1920 und 1930 entstanden Werke in vielen Ländern Kontinentaleuropas, aber auch in Kanada, Russland<sup>[12]</sup>, der Ukraine oder Japan<sup>[13]</sup>, seit 1927 auch in Australien<sup>[8]</sup>.



Lincrusta-Tapete in einer Jugendstil-Apotheke in Stuttgart (floraler Dekor, Original von 1901)

1928 skizzierte die *Continental Linoleum-Union* die Verhältnisse auf dem Weltmarkt mit den Worten: „England erzeugt ungefähr ebensoviel Linoleum wie der europäische Kontinent. Amerikas Produktion ist ca. fünfmal so groß wie die englische. Daneben ist in Japan eine sehr starke Linoleumindustrie entstanden, die den japanischen und den chinesischen Markt vollkommen abdeckt.“<sup>[13]</sup>

Bereits in der Zeit vor dem Ersten Weltkrieg existierten Abkommen zwischen Herstellern verschiedener europäischer Länder, durch die sowohl Preise wie auch Verkaufsbedingungen abgesprochen wurden. Dieses Kartell wurde zunehmend stärker, so existierten 1934 Absprachen zwischen fast allen englischen, deutschen und italienischen Herstellern, die festlegten, dass man nicht in die Heimatmärkte des jeweils anderen Vertragspartner exportieren werde. 1939 galt, dass sowohl zahlreiche britische Hersteller wie auch „alle



wichtigen Linoleumhersteller des Kontinents Teil förmlicher Übereinkünfte bezüglich der Verkäufe von Linoleum und Bodenbelägen in allen Märkten außer den Vereinigten Staaten“<sup>[15]</sup> seien. Der Zweite Weltkrieg inaktivierte diese Verträge. Obwohl sie nach 1945 aufgrund von Anti-Kartell-Gesetzen verschiedener europäischer Staaten nicht erneuert werden konnten, galten die Absprachen informell noch mindestens bis in die Mitte der 1950er Jahre.<sup>[16]</sup>

Nachdem sich die Linoleummärkte in den 1950er Jahren allmählich erholt hatten, begannen sich Mitte der 1960er Jahre synthetische Bodenbeläge insbesondere aus PVC durchzusetzen und der Markt für Linoleum brach zusammen. Zahlreiche Werke mussten schließen oder auf andere Produkte umstellen. Im Gefolge dieser Krise, die bis in die Mitte der 1970er Jahre anhielt, konzentrierte sich der Markt zunehmend.

Die letzten noch verbliebenen Hersteller von Linoleum sind heute die aus der *Continentalen Linoleum-Union* hervorgegangene *Forbo Holding*, die 1998 von *Armstrong Industries* übernommenen *Deutschen Linoleum-Werke (DLW)* und das französische Unternehmen *Tarkett*. Weltweit werden jährlich rund 38 Millionen Quadratmeter Linoleum verkauft, mit knapp 9 Millionen Quadratmetern ist dabei Deutschland der größte Einzelmarkt<sup>[17]</sup>, gefolgt von Nordamerika mit 4,5 Millionen Quadratmetern.<sup>[18]</sup> International besitzt *Forbo* mit einem Marktanteil von rund 65 % die Marktführerschaft<sup>[17]</sup>, gefolgt von *Armstrong DLW* mit 26 % und *Tarkett* mit 9 %<sup>[18]</sup>.

### Großbritannien

Bereits ab 1906 begann die britische Linoleum-Industrie sich in einem anfangs lockeren und informellen Rahmen zu organisieren.<sup>[19]</sup> Aufgrund der Depression Anfang der 1930er Jahre gründeten sieben der neun damaligen Linoleum-Hersteller 1934 die sogenannte *Linoleum and Floorcloth Manufacturers' Association (L.M.A.)*, die vor allem Formate, Qualitäten und Preise vereinheitlichen und den Absatz des Linoleums fördern sollte<sup>[19]</sup>. Zeitgleich erwuchs dem Linoleum Konkurrenz durch alternative Bodenbeläge, im unteren Preissegment dem bedruckten Linoleum durch das neue Balatum, im oberen durch Bodenbeläge aus Gummi sowie Teppichböden.<sup>[20]</sup> Betrug die Jahresproduktion der britischen Linoleum-Industrie 1933 noch nur 47 Millionen m<sup>2</sup> (56 Millionen square yards), stieg sie bis 1937 auf rund 55 Millionen m<sup>2</sup> (66 Millionen square yards).<sup>[21]</sup>

Mit Ausbruch des Zweiten Weltkrieges verringerte sich die Versorgung mit Rohstoffen schlagartig bei gleichzeitig stark steigenden Preisen. Bereits im September 1939 stellte die Regierung den wichtigsten Grundstoff, das Leinöl, unter Kontrolle. Harze, Jute und Farbstoffe folgten bald. Ab 1940 gab es dann erste Abgabebeschränkungen und ab

1942 durfte Linoleum nur noch an staatliche Stellen abgegeben werden, die Zivilbevölkerung konnte nur Linoleum ohne Juterücken und ohne Korkgehalt erwerben. Im Kriegsjahr 1944 wurden so nur 18 Millionen m<sup>2</sup> Linoleum erzeugt<sup>[21]</sup>. All diese Beschränkungen blieben bis 1947 in Kraft, nur eine Preiskontrolle hielt sich noch bis 1953.<sup>[20]</sup>

Unmittelbar nach dem Krieg sah sich die britische Linoleum-Industrie gestiegenen Preisen, Rohstoffmangel (Leinöl, Jute) und einem lückenhaften Maschinenpark gegenüber, Schwierigkeiten, die erst um 1954 gelöst waren. In diesem Jahr produzierte die britische Linoleum-Industrie rund 50 Millionen m<sup>2</sup> (59 Millionen square yards) und knüpfte damit wieder an die Vorkriegszahlen an.<sup>[21]</sup>

Der Verfall des Linoleummarktes führte Mitte der 1960er Jahre dazu, dass viele Werke schlossen (*Barry, Ostlere and Shepherd Ltd.* in Kirkcaldy 1967<sup>[22]</sup>, *The Linoleum Manufacturing Co. Ltd.* 1973<sup>[23]</sup>, *James Williamson & Son Ltd.* 1963<sup>[24]</sup>). Manche Unternehmen fusionierten (*Nairn und Williamson* 1963<sup>[25]</sup>) oder passten sich dem Marktgeschehen an, indem sie von der Produktion von Linoleum auf die der nun erfolgreichen neuen Bodenbeläge auswichen. Gegen die sich bis zur Mitte der 1970er Jahre hin fortsetzende Krise jedoch fand die britische Industrie kein Gegenmittel, 1975 wurde der letzte britische Hersteller, *Nairn and Williamson Ltd.*, von *Unilever* und 1985 wiederum von *Forbo* übernommen. *Forbo* betreibt in Kirkcaldy heute das letzte britische Linoleum-Werk, *Forbo Nairn*.<sup>[26]</sup>

### Nordamerika

1872 wurde Frederick Walton nach New York eingeladen, um gemeinsam mit Joseph Wild die *American Linoleum Manufacturing Company* in Staten Island aufzubauen. Bereits 1879 konnte von der dortigen Popularität des Linoleums berichtet werden, die amerikanischen Öltuchhersteller bekamen durch Wilds Fabrik spürbare Konkurrenz.<sup>[27]</sup>

Neben Michael Nairn & Co und Joseph Wilds *American Linoleum Manufacturing Company* entstanden um die Jahrhundertwende insgesamt sechs Linoleumunternehmen in den USA. Während die Unternehmen von George Blabon und Thomas Potter, beide in Philadelphia, sowie Cook in New Jersey jedoch nur kurzzeitig bedeutend waren, dominierte die *Armstrong Cork and Tile Company* in Lancaster, Pennsylvania bald den amerikanischen Linoleummarkt.

Armstrong wurde 1860 von Charles D. Armstrong gegründet und belieferte ab den 1880er Jahren vor allem Joseph Wild mit Korkmehl für die Linoleumproduktion. 1907 beschloss die Geschäftsführung, eine eigene Linoleumproduktion aufzubauen, was 1908 realisiert wurde. Im Gegensatz zu anderen Unternehmen bot *Armstrong* sein Linoleum direkt dem Privatverbraucher an und startete mehrere Kampagnen, um die Endbenutzer für das Programm *Linoleum für jedes Zimmer des Hauses* zu gewinnen. Zu Armstrongs Innovationen gehörte die dauerhafte Verlegetechnik: Während Linoleum vorher wie Teppich ausgelegt wurde und so leicht beschädigt werden konnte, wurde Armstrong-Linoleum auf den Boden geklebt. Armstrong entwickelte sich sehr schnell und war in den 1920er Jahren Marktführer im amerikanischen Raum.<sup>[7]</sup>

Der mittlerweile in *Armstrong Industries* umbenannte Marktführer konnte in der Krise der 1960er Jahre zwar seine bedeutende Stellung im Bereich der elastischen Fußbodenbeläge bis in die Gegenwart aufrecht erhalten, produzierte aber lange kein Linoleum mehr. Erst durch die Übernahme der *Deutschen Linoleum-Werke AG* 1998 wurde



Verwaltungsgebäude der *Dominion Oilcloth and Linoleum* in Montreal, heute *Tarkett*



Linoleum aus US-amerikanischer Produktion

Armstrong wieder im Linoleum-Markt aktiv.

Der erste<sup>[28]</sup> kanadische Linoleumproduzent war die 1872 von einer elfköpfigen Investorengruppe gegründete *Dominion Oil Cloth Co.*, später *Dominion Oilcloth & Linoleum Co.* Das Unternehmen, das anfangs nur Öltuch herstellte, begann um die Jahrhundertwende, auch Linoleum zu produzieren und war in den 1920er Jahren bekannt für die Qualität seiner Waren. 1934 übernahm Dominion mit der *Barry & Staines Canada Ltd.* den kanadischen Ableger des britischen Unternehmens, das ebenso wie *Michael Nairn Ltd.* einen Anteil am Unternehmen hielt.<sup>[29]</sup> 1940 übernahm Dominion auch *Congoleum Canada Ltd.* 1967 fusionierten die Unternehmen und firmierten als *Domco Industries Ltd.*, nach weiteren Übernahmen 1991 und 1994 in den USA reorganisierte sich das Unternehmen 1996 zur *Domco Inc.* 1999 erwarb *Domco* die Unternehmen *Tarkett* und *Harris Tarkett* und firmierte kurz als *Domco Tarkett*, bevor der Konzern seit 2003 nach weiteren Fusionen global als *Tarkett* auftrat.<sup>[30] [31]</sup>

## Deutschland

In Deutschland konnte sich Linoleum anfangs nur schwer durchsetzen. Die Akzeptanz des durch den Import teuren und vom vertrauten Dielenboden deutlich verschiedenen Bodenbelags beim Verbraucher war gering<sup>[2]</sup>. Erst Ende der 1870er, Anfang der 1880er Jahre änderte sich dies und so wurden 1882 mit der *Delmenhorster Linoleumfabrik* (Marke „Hansa“) und der *Linoleum und Wachstum Compagnie* in Rixdorf die ersten Linoleumfabriken gegründet. 1883 folgte dann die *Erste Deutsche Patent-Linoleumfabrik* in „Cöpenick“, ab 1907 Teil der *Bremer Linoleum-Werke AG Delmenhorst* (Marke „Schlüssel“). Viele weitere Werke folgten bis 1899, nur die *Continental Linoleum Company* wurde als letzte erst 1911 gegründet.<sup>[32]</sup>

In Delmenhorst siedelte sich dann 1892 zusätzlich die *Delmenhorster Linoleum-Fabrik AG* („Anker“-Marke) an, so wurde die Stadt zum Schwerpunkt der deutschen Linoleumproduktion. Ausschlaggebende Standortvorteile Delmenhorsts waren die dort bereits ansässige Kork- und Juteindustrie, die Nähe zu England, was insbesondere in der Gründungsphase den Personal-, Technik- und Wissenstransfer vereinfachte und die Nähe Bremens als Seehafen, was kurze Wege für Rohstofflieferungen und Export der Produktion bedeutete.<sup>[2]</sup>

Weitere Schwerpunkte der Linoleumindustrie waren die Region Berlin und Südwestdeutschland. In der Region Berlin gab es neben Rixdorf und Köpenick Werke in Velten (*Continental Linoleum Company*, ab 1911) und Eberswalde (*Eberswalder Linoleumwerke Frenzel & Söhne*). In [[Maximiliansau] bei Karlsruhe wurde 1893 die *Linoleumfabrik Maximiliansau* (Marke "Adler") gegründet und im württembergischen Bietigheim entstand 1899 ein Ableger der schottischen *Michael Nairn Ltd.*, die *Linoleumwerke Nairn AG*.<sup>[32]</sup> Mit dem Ausbruch des Ersten Weltkriegs 1914 brach die deutsche Linoleumproduktion zusammen, denn fast alle Rohstoffe kamen aus dem Ausland. Nach dem Kriegsende 1918 dauerte es bis zum Anfang der 1920er Jahre, bis die Branche sich erholt hatte und an die Produktionszahlen der Vorkriegszeit anknüpfen konnte.<sup>[32]</sup>

Mit dem Ende der Gründungsphase um 1900 begann dann eine Phase der Unternehmenskonzentration. Bis 1922 waren alle Werke der Region Berlin in Delmenhorster Unternehmen aufgegangen, 1926 kam es dann zum Zusammenschluss der Delmenhorster und süddeutschen Unternehmen zur *Deutschen Linoleum Werke Aktiengesellschaft*, anfangs mit Sitz in Berlin, ab 1938 dann in Bietigheim. Die Konzentration setzte sich auch auf europäischer Ebene fort: 1928 war die *Deutsche Linoleum-Werke A.G. Berlin* Mitgründer der *Continentalen Linoleum Union*, schied aber aus politischen Gründen gegen Ende der 1930er Jahre wieder aus ihr aus.<sup>[4] [32]</sup>



Aktie der Deutschen Linoleum-Werke von 1933

Im Zweiten Weltkrieg kollabierte die deutsche Linoleumproduktion aufgrund fehlender Rohstoffe erneut<sup>[32]</sup>. Erst nach 1949 erholte sie sich wieder. Von 1951 bis 1955 verdoppelte sich die Jahresproduktion von 2,8 Mio. auf 5,6 Mio. Quadratmeter.<sup>[33]</sup>

Eine Außenseiterposition nahmen die *Rheinischen Linoleumwerke Bedburg* (RLB) ein. Das 1897 gegründete und zeit seines Bestehens im Familienbesitz stehende Unternehmen blieb stets unabhängig von der restlichen Industrie. Im Dritten Reich übernahm die RLB mehrere Unternehmen, die zuvor in jüdischem Besitz waren, darunter mit der *Österreichischen Linoleum-, Wachstum- und Kunstlederfabriken AG* und des Prager Unternehmens *Linoleum-Industrie Leopold Blum* auch zwei Linoleum-Werke. In der Nachkriegszeit wurde das Unternehmen zum zweitgrößten deutschen Hersteller nach der *DLW AG* und beschäftigte bis zu 1100 Mitarbeiter.<sup>[34]</sup>

Die Krise der 1960er Jahre führte zu einem drastischen Produktionsrückgang. Hatten 1960 Linoleum und ähnliche Bodenbeläge wie Stragula und Balatum noch einen Marktanteil von über 50%, so fiel er bis 1969 auf nur noch rund 10%. Als Folge mussten alle deutschen Werke bis auf das Werk in Delmenhorst schließen oder die Produktion von Linoleum einstellen. In den 1970er Jahren betrug die Produktion der *DLW AG* nur noch 150.000 Quadratmeter jährlich<sup>[35]</sup>, die *RLB* stellten 1973 die Linoleumproduktion ein und mussten 1978 Konkurs anmelden. Erst ab Ende der 1970er, Anfang der 1980er Jahre wuchs die Nachfrage im Zuge wachsenden Umweltbewusstseins bis zur Jahrtausendwende wieder und der vorwiegend aus natürlichen Rohstoffen bestehende Baustoff erlangte neue Bedeutung.<sup>[32]</sup>

In Deutschland ist die *DLW AG* traditionell Marktführer, ihr Marktanteil lag um die Jahrtausendwende stabil bei rund 54 Prozent (*Forbo* 36 %, *Tarkett* 10 %)<sup>[17]</sup>. Die Gesamtverkaufszahlen stagnierten zwischen 2003 und 2007 bei 9 bis 10 Millionen verkauften Quadratmetern, davon entfielen rund 8 bis 8,5 Millionen Quadratmeter auf den sogenannten Objektbereich. An der Warengruppe der Elastischen Bodenbeläge hat Linoleum in Deutschland damit einen Anteil von rund 7 %.<sup>[36]</sup>

### Kontinentaleuropa

In zahlreichen Ländern Kontinentaleuropas gab es linoleumproduzierende Unternehmen (Skandinavien, Italien, Schweiz, Frankreich, Niederlande, Österreich), meist beschränkte sich dies aber auf einzelne Werke, nur selten kam es zu regelrechten Industrien mit mehreren Herstellern wie in Deutschland.

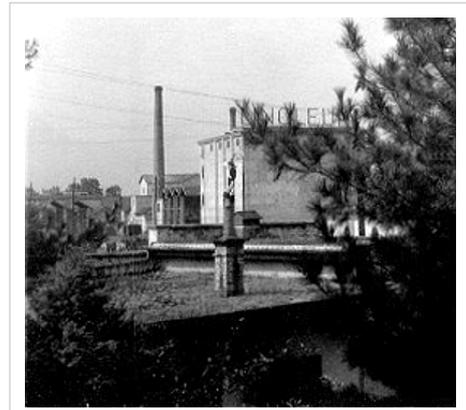
1928 gründete die *Deutsche Linoleum-Werke A.G.* gemeinsam mit der schwedischen *Linoleum Aktiebolaget Forshaga* und der Schweizer *Linoleum AG Giubiasco* die *Continental Linoleum Union* (CLU) mit Sitz in Zürich, die nach eigenen Angaben zu diesem Zeitpunkt „ungefähr 80 % der kontinentaleuropäischen Linoleumproduktion“<sup>[13]</sup> repräsentierte. Im Folgejahr kam die *Niederländische Linoleumfabriek* (Niederlande) dazu, später auch Unternehmen aus Österreich, Frankreich und Lettland. Die *DLW* schieden aus politischen Gründen gegen Ende der 1930er Jahre wieder aus der Union aus.<sup>[4]</sup> Aus der *Continentalen Linoleum Union* ging dann in den 1970er Jahren die *Forbo Holding AG* hervor.

Die schwedische *Linoleum AB Forshaga* wurde 1896 von Karl Ekström in Forshaga gegründet, zog aber nach einigen Jahren nach Göteborg, um über dessen Hafen besseren Zugang zu Rohstoffen und kürzere Exportwege zu haben. Über ein halbes Jahrhundert beherrschte das Unternehmen den schwedischen Markt für Bodenbeläge. In den 1960er Jahren verbreiterte das Werk sein Produktionsspektrum auf PVC- und Textilböden. Das Gründungsmitglied der *Continentalen Linoleum Union* ging dann 1968 im Forbo-Konzern auf. Heute wird Linoleum in Schweden nicht mehr hergestellt.



Das Linoleumwerk in Narni, heute Tarkett

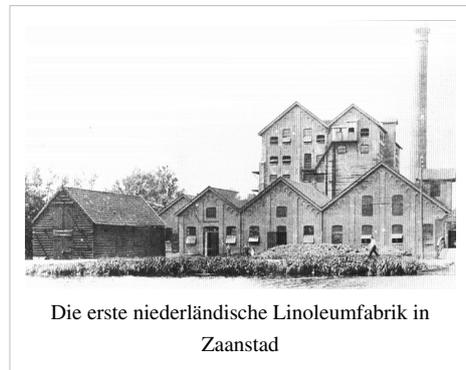
In Italien begann die Produktion 1898 mit der Gründung der *Società Italiana del Linoleum* mit Sitz in Mailand durch den Industriellen Giovanni Battista Pirelli, der seine Kautschukfabrik in Narni zur einzigen italienischen Produktionsstätte für Linoleum umwidmete. Die *Società Italiana del Linoleum* war Teil des europäischen Linoleumkartells und so gegen Importe weitgehend geschützt. Gestützt auf ihren Heimatmarkt steigerte das Monopolunternehmen den Exportanteil seiner Produktion auf bis zu 30% in den 1930er Jahren. Auch dieses Werk geriet jedoch zum Ende der 1960er Jahre in die Krise der Branche und musste 1985 schließen.<sup>[37]</sup> Das Werk wurde von *Sommer Allibert* übernommen, nach deren Fusion 1997 mit *Tarkett*<sup>[38]</sup> in den Folgejahren umfangreich modernisiert<sup>[18]</sup> und ist heute eines der letzten vier noch aktiven Linoleumwerke.



Das Werk der *Linoleum AG Giubiasco* (Schweiz)  
1932

Das italienische Unternehmen wurde auch zur Mutter des einzigen Schweizer Linoleumwerkes, das Pirelli 1905 in Giubiasco im Tessin gründete. Nach einigen Anfangsschwierigkeiten konnte sich das Werk erfolgreich am Markt etablieren, musste aber die Produktion im Ersten Weltkrieg unterbrechen. Zwei Jahre nach der Wiederaufnahme der Produktion 1919 wurde aus dem Filialwerk 1921 ein eigenständiger Betrieb, die *Linoleum AG Giubiasco*, die 1928 Mitgründer der *CLU* wurde. Das Werk arbeitete weiterhin erfolgreich und beschäftigte vor der Krise zwischen 1930 und 1940 bis zu 225 Angestellte. Nach dem Zweiten Weltkrieg expandierte das Unternehmen und baute sein Angebot weiter aus. Die Linoleumproduktion stellte das Werk 1965 ein und verlegte sich auf die Produktion synthetischer Bodenbeläge. 1974 ging das Werk dann im *Forbo*-Konzern auf, dem sie bis heute angehört, heutzutage werden dort Pressplatten für antistatische Bodenbeläge<sup>[39]</sup> hergestellt.<sup>[40]</sup>

Das erste niederländische Linoleumwerk wurde 1898/1899 in Zaanstad errichtet, brannte aber bereits 1903 bis auf die Grundmauern nieder.<sup>[41]</sup> Zeitgleich wurde von der *Nederlandse Linoleum Fabriek* ein Werk in Krommenie errichtet, das 1922 um ein weiteres Werk in unmittelbarer Nachbarschaft erweitert wurde. Sowohl das Werk in Zaanstad wie jenes in Krommenie wurden unter Lizenz von Frederick Walton betrieben, der auch sachkundiges Personal bereitstellte. Die *NLF* schloss sich 1929 der *CLU* an. 1968 erweiterte die *NLF* seine Produktpalette um Vinylböden, um der Krise zu begegnen. Im selben Jahr folgte die Fusion der Betriebe in der *CLU* zum *Forbo*-Konzern.



Die erste niederländische Linoleumfabrik in  
Zaanstad

Im Rahmen der Reorganisation des Konzerns war es das Werk in Krommenie, das neben dem in Kirkcaldy für die weitere Produktion von Linoleum ausgewählt wurde. Bis heute wird der niederländische Markt von *Forbo* dominiert, die 2006 einen Marktanteil von über 90% hatten<sup>[17]</sup>.<sup>[42]</sup>

1922 wurde durch das Unternehmen Blum Haas in Traiskirchen die *Österreichische Linoleum-, Wachstuch- und Kunstlederfabriken AG* gegründet. Das Unternehmen wurde 1938 „arisiert“, von den Rheinischen Linoleumwerken Bedburg gekauft und in *Wiener Linoleum Wachstuchwerke* umbenannt<sup>[34]</sup>. 1945 wurde das Unternehmen enteignet und als *USIA*-Betrieb geführt, 1955 wurde es an den aus den USA zurückgekehrten Gründer zurückgegeben, 1958 übernahm es der halbstaatliche *Semperit*-Konzern. Wann die Linoleumproduktion eingestellt wurde, ist nicht bekannt, die *ÖLW AG* produziert heute Kunstleder und Beschichtungen.<sup>[43]</sup>

## Konkurrenzprodukte

Linoleum war bereits kurze Zeit nach seiner Etablierung das marktbeherrschende Produkt unter den elastischen Bodenbelägen und konnte diese Stellung fast ein Jahrhundert lang behaupten. In dieser Zeit wurden allerdings immer wieder Alternativen entwickelt, die mehr oder weniger stark mit Linoleum konkurrierten. In der Anfangszeit war dies vor allem das bereits erwähnte und ältere Kamptulikon, es war allerdings weniger fußwarm und verschleißfest als Linoleum. Durch den Ausgangsstoff Gummi, der zum Ende des 19. Jahrhunderts immer teurer wurde, war es auch preislich immer weniger konkurrenzfähig. Um die Jahrhundertwende verschwand es so endgültig vom Markt.

1871 und damit etwa zehn Jahre nach der Entdeckung des Linoleums, wurde das Corticin, später einfach Korkteppich genannt, entwickelt. Dieses bestand aus Korkmehl und polymerisiertem Öl. 1875 patentierte der Designer William Morris ein afrikanisches Design dieses Materials, das bis etwa 1900 erhältlich war. Corticin konnte sich allerdings gegen Linoleum nicht durchsetzen.<sup>[7]</sup>

Ursprünglich als Ersatzstoffe wurden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts Stragula, Balatum, Bedola und Triolin entwickelt. Alle existierten zeitweise parallel und konkurrierten mit Linoleum nur im untersten Preissegment. Erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts setzte sich zunehmend PVC als Fußbodenbelag durch und verdrängte neben den verschiedenen Alternativen auch das Linoleum fast vollständig vom Markt.

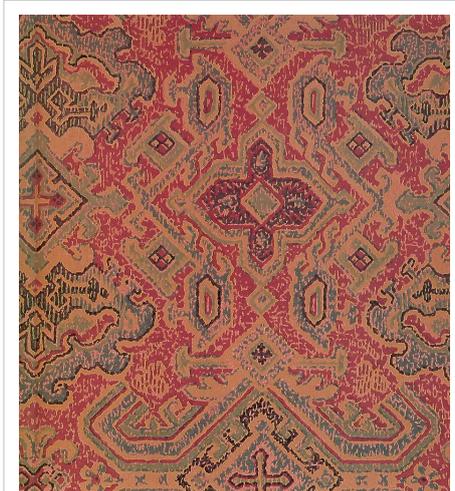
## Kulturgeschichte

### Design und Architektur

#### Technische Voraussetzungen

Ursprünglich gab es nur einfarbig pigmentiertes Linoleum. Zwar konnte man es mit Dekoren bedrucken, eine vermutlich schon seit der Erfindung des Linoleums gängige Praxis, solche Aufdrucke waren aber nicht verschleißfest und nutzten sich durch Gebrauch ab. Die wohl früheste Methode einer Gestaltung des Materials selbst war ein bereits 1863 existierendes und 1879 noch einmal verbessertes Verfahren, das dem Linoleum ein granitartiges Erscheinungsbild verlieh.<sup>[44]</sup>

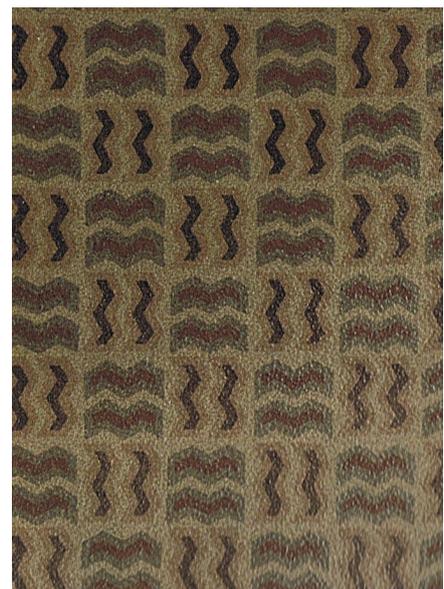
Charles Frederick Leake, einem Mitarbeiter von Walton<sup>[10]</sup>, gelang es dann 1880 erstmals, eine Methode zur Produktion nicht-granitierten, mehrfarbigen Linoleums zu entwickeln, dem Verfahren mangelte es aber noch an Präzision. Die Kunsthistorikern Pamela Watson sprach 1997 von „... etwas verschwommen aussehenden Mustern, die aber die Präzision einer Gestaltung durch Kacheln nicht nachahmen konnten“.<sup>[45]</sup> 1882 dann erfand Walton das sogenannte *Straight-Line-Inlaid*-Verfahren, eine Einlegetechnik, die endlich ein dauerhaftes Design ermöglichte. Musterungen wurden hierbei aus verschiedenfarbigen Bahnen ausgeschnitten, mosaikähnlich zusammengelegt und mittels Druck und Hitze zusammengefügt. Anfangs war das so erzeugte Linoleum sehr teuer und entsprechend wenig erfolgreich, da das Schneiden und Zusammenlegen noch von Hand erfolgen musste. Erst als Walton 1890 einen Weg zur maschinellen Erzeugung von Inlaid-Linoleum fand, stand dessen Erfolg nichts mehr im Weg. Walton gründete 1894 die *Greenwich Inlaid Linoleum Company*, die sich auf diese Linoleumform spezialisierte.<sup>[10] [46]</sup>



Bedrucktes Linoleum (Orientteppich-Dekor),  
Hansa-Werke Delmenhorst, 1895

### Frühes Design

Wenn in den ersten Jahrzehnten Linoleum überhaupt gestaltet wurde, orientierten sich die zu dieser Zeit federführenden englischen Hersteller in der Regel am Publikumsgeschmack ihrer konservativen Heimatmärkte, die wenigen Produzenten in anderen Ländern wie den USA oder Frankreich wiederum schauten meist nach England. Mit der Absicht, das Linoleum zur Erhöhung der Akzeptanz optisch aufzuwerten, wurden besonders hochwertige oder wertvolle Materialien wie Orientteppiche, Steinböden oder Parkett imitiert. Diese Gestaltungsprinzipien blieben noch bis weit ins 20. Jahrhundert maßgeblich. 1912 konstatierte Gustav Gericke: „Frankreich pflegt in seinem Geschmack noch konservativer zu sein als England und den in der Entwicklung befindlichen neuen deutschen Stil gegenüber den historischen französischen Stilen als minderwertig, mindestens aber dem französischen Geschmack absolut nicht zusagend anzusehen. Auch die in Schweden, Norwegen, Italien, Österreich und der Schweiz bestehenden Fabriken, welche für den Wettbewerb mit Deutschland in Frage kommen, haben sich bislang darauf beschränkt, es England in der Musterung nachzutun“<sup>[12]</sup> „<sup>[4]</sup>

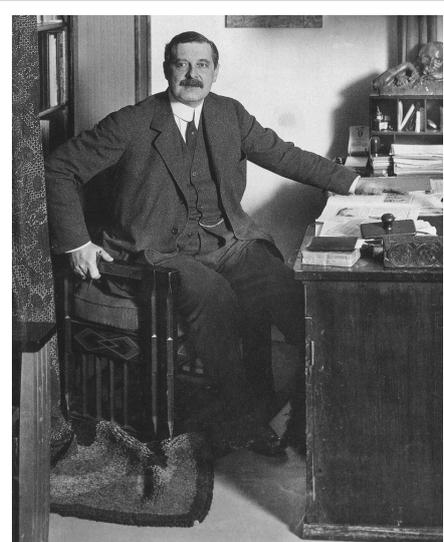


Linoleum nach einem Entwurf von Heinz Stoffregen, um 1910

### Modernes Design ab 1900

In Deutschland konnte sich ab der Jahrhundertwende ein modernerer Ansatz der Linoleumgestaltung durchsetzen, der Einflüsse aus Jugendstil, Art Déco und Neuer Sachlichkeit integrierte. Der erste Hersteller, der hier den Schulterschluss mit progressiven Künstlern für eine zeitgemäße Gestaltung des Linoleums suchte, waren die in Delmenhorst ansässigen Hansa-Werke. Bereits seit 1892 gab es hier einen künstlerischen Beirat, dem es allerdings lange nicht gelang, adäquate Vorlagen zu liefern. 1903 dann starteten die Hansa-Werke ein Preisausschreiben und setzten im Anschluss vier der Entwürfe um, darunter auch einen des Münchner Jugendstil-Künstlers Richard Riemerschmid.<sup>[47]</sup>

Hauptsächlich zurückzuführen ist der Durchbruch des modernen Designs in der deutschen Linoleumherstellung jedoch auf Gustav Gericke, der seit 1903 Direktor der 1892 gegründeten Anker-Werke Delmenhorst war. Gericke war nicht nur ein erfolgreicher Geschäftsmann, sondern war auch einem reformistischen, kunstverbundenen Ideal verbunden. Wahrscheinlich bereits direkt nach seinem Amtsantritt kontaktierte er den Industriedesigner Peter Behrens, der in den Folgejahren stark vom Jugendstil beeinflusst nicht nur Entwürfe für das Linoleum selbst vorlegte, sondern das gesamte Erscheinungsbild des Unternehmens vom Briefpapier an über Plakate, Broschüren bis hin zu Ausstellungspavillons überarbeitete. Ab 1906 dann verbreiterte sich die auf den sogenannten *Künstlermustern* basierende Produktpalette der Anker-Werke, neben Behrens entwarfen bedeutende Künstler wie Richard Riemerschmid, Bruno Paul, Albin Müller, Rudolf Alexander Schröder, Josef Hoffmann, Henry van de Velde, Willi Baumeister<sup>[48]</sup>, Lucian Bernhard, Johann Vincenz Cissarz sowie zahlreiche andere für die Anker-Werke.<sup>[47]</sup>



Peter Behrens, um 1913

Das Engagement der Anker-Werke unter Gericke ging weit über das Erschließen einer Marktlücke hinaus. 1907 trat das Unternehmen dem neu gegründeten Deutschen Werkbund bei, dem einige seiner Gestalter angehörten, Gericke war dort zeitweise auch Vorstandsmitglied. Neubauten für das Werk zwischen 1910 und 1912 ließen sie von dem Bremer Architekten Heinz Stoffregen ausführen, seine neusachlichen Bauten fanden insbesondere bei modernen Architekten ebenso viel Beachtung wie die *Künstlermuster* der Kollektion. Die sehr grafischen und stark geometrischen Entwürfe sorgten dafür, dass die Anker-Werke nicht nur nach Marktanteilen, sondern auch künstlerisch als führend galten. Auch die anderen Werke in Delmenhorst konnten sich dieser Entwicklung nicht entziehen. Die Hansa-Werke veranstalteten 1911 ein weiteres Preisausschreiben und selbst die kleineren Schlüssel-Werke vertrieben unter anderem Entwürfe von Heinrich Vogeler.<sup>[47]</sup>

Wenngleich diese künstlerische Orientierung sich in Deutschland durchaus am Markt erfolgreich zeigte, so sollte sie sich international als ein Hindernis erweisen. Gericke musste erkennen, dass „[...] die moderne deutsche Mustergebung im Wettbewerb auf dem Auslandsmarkte bislang verhältnismäßig wenig Boden gewinnen konnte [...]“, allein in der Schweiz, Österreich, Holland, Belgien und den skandinavischen Länder ließen „[...] sich einige Erfolge [...] erkennen.“<sup>[12]</sup>

Zu den wenigen Beispielen für gehobenes Design außerhalb Deutschlands gehörten einige Muster von Josef Hoffmann und weiteren Künstlern der Wiener Werkstätte, die von dem nordamerikanischen Unternehmen Armstrong Industries um 1915 in sein Programm aufgenommen wurden, sowie Arbeiten von Christopher Dresser für Frederick Walton.<sup>[46]</sup>

### **Werkstoff in der Architektur der Moderne**

Mit dem Ausbruch des Ersten Weltkriegs 1914 und dem Kollaps der deutschen Linoleumindustrie endete diese intensive Phase der Zusammenarbeit zwischen den Linoleumwerken und zeitgenössischen Künstlern<sup>[47]</sup>, sie sollte sich erst Mitte der 1920er Jahre nach dem Zusammenschluss fast aller deutschen Werke zu den Deutschen Linoleum-Werken 1926 neu ergeben, dann aber vor allem unter architektonischen Vorzeichen.

Architekten wie Walter Gropius, Ludwig Mies van der Rohe oder Bruno Taut schätzten den Belag zwar als modern und hygienisch, gebrauchten aber ihren Konzepten gemäß einfarbiges und ungemustertes Linoleum in klaren Farben.<sup>[49]</sup> So gestaltete Mies van der Rohe zwischen 1928 und 1930 einen speziellen, rein elfenbeinweißen Linoleumbelag für den Bau der Villa Tugendhat in Brünn.<sup>[50]</sup> In großem Maßstab wurde dieser Belag in der Stuttgarter Weißenhofsiedlung eingesetzt, wo man 20 der 21 Bauten mit Linoleum auslegte.<sup>[51]</sup>

Häufig wurden verschiedene einfarbige Beläge verwendet, um den Raum zu strukturieren. Ideal dafür waren Linoleumfliesen. So benutzte Gropius in der Karlsruher Siedlung Dammerstock, wo es auch für die Wände und das Mobiliar verwendet wurde, den Belag als Raumteiler<sup>[52]</sup> und Bruno Taut legte in seinem zweiten Wohnhaus (Haus Taut II) 1927 in fast allen Räumen große, einfache Muster aus Linoleumfliesen.<sup>[53]</sup>

Mit der Machtergreifung der Nationalsozialisten 1933 sollte auch diese kurze Phase ihr Ende finden. Als die Produktion in der Nachkriegszeit wiederaufgenommen wurde, spielten gestalterische Fragen zunächst keine Rolle, zumeist wurde einfarbiges Linoleum verlangt. Erst 1957 wurde die Tradition der *Künstlermuster* mit der von Hertha Maria Witzemann gestalteten Kollektion *Inlaid '57* wiederaufgenommen. In Zusammenarbeit mit Architekten erschienen bei der DLW die beiden Muster *Mikado* und *Konfetti*. Aus Kostengründen wurde das Programm 1959 aber wieder eingestellt. Heutzutage gibt es keine Inlaid-Kollektionen mehr, Inlaid wird nur noch für Sonderaufträge hergestellt.<sup>[49]</sup>

## Linolschnitt

→ Hauptartikel: *Linolschnitt*

In der bildenden Kunst wird Linoleum für das Hochdruckverfahren des Linolschnitts verwendet, dabei wird ein Negativ in das später als Druckplatte dienende Linoleum geschnitten. Dieses weist, anders als das ähnlich gebrauchte Holz, keine Maserung auf, wodurch die Druckflächen klar und gleichmäßig sind und die Linienführung ist weich, da es leicht schneidbar ist. Durch diese Eigenschaften begünstigt das Verfahren großflächige Bildelemente. Zur Einfärbung der Druckplatte dienen spezielle Farben, der Druck erfolgt meist auf Papier, aber auch auf Stoff.<sup>[54]</sup>

Wann zum ersten Mal mit Linoleum gedruckt wurde, ist nicht genau zu datieren. Häufig angeführt wird ein Drucker in Stettin, der 1890 auf diese Weise Tapeten bedruckt habe, die Behauptung ist jedoch unbelegt. Ab 1895 etablierte sich der Linolschnitt in Deutschland als Technik im schulischen Kunst- und Werkunterricht und wurde in den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts auch von Künstlern genutzt. Der erste bekannte Kunst-Linoldruck stammt von Erich Heckel aus dem Jahre 1903, schnell folgten weitere Künstler, die von der neuen Technik teilweise intensiv Gebrauch machten, so Maurice de Vlaminck, Henri Matisse, Wassili Kandinsky, Gabriele Münter oder Christian Rohlf. In den 1920er Jahren arbeiteten Konstruktivisten wie Heinrich Hoerle oder Gerd Arntz mit dem Linoldruck stark grafisch und formelhaft.<sup>[55]</sup>

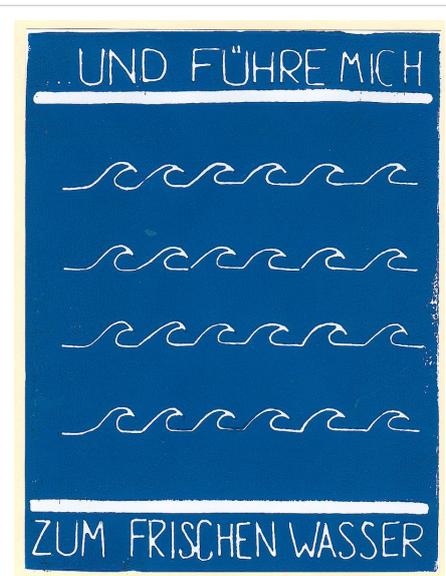
In der Nachkriegszeit begannen Künstler dann den Linoldruck abseits der bisherigen Techniken zu erkunden. Wilhelm Lachnit ätzte Linoleum, Pablo Picasso löste sich vom klassischen Verfahren separater Arbeitsgänge und entwickelte den Einplatten-Farbdruck, bei dem er unter Einsatz zunehmend dunklerer Farben abwechselnd druckte und schnitt und im letzten Gang Konturen nachdruckte.<sup>[54]</sup> Den größten Teil des Spätwerks von Karl Rössing bilden Linolarbeiten, oft auch in Kombination mit der Offset-Technik. HAP Grieshaber nahm den Linolschnitt als eine zentrale Technik in sein Repertoire auf und schuf damit Großwerke wie die *Josefslegende*, eine 7 x 9 Meter große Altarwand. In der Kunst der Gegenwart sind vor allem Per Kirkeby und Markus Lüpertz, die Linoldruck und Kupferstich kombinierten, sowie Georg Baselitz, Jörg Immendorff, Norbert Prangenberg und Jess Walter zu nennen.<sup>[55]</sup>

Großflächigkeit und klare Farben machten den Linoldruck insbesondere bei volksnah orientierten Künstlern populär. Lateinamerikanische Kunstgruppen wie Taller de Gráfica Popular (Mexiko) oder der Club de la Estampa (Argentinien) nutzten ihn ebenso wie Künstler der Ostblock-Staaten. In der DDR spezialisierte sich Ingrid Goltzsche-Schwarz auf seine Anwendung.<sup>[54]</sup>

Andere, sehr selten eingesetzte Verfahren auf Linoleumbasis sind das sogenannte *Ceratomy*<sup>[56]</sup> sowie die *Bronzo-Lino-Technik* von Bruce Onobrakpeya<sup>[57]</sup>, bei dem Linoleum bronziert wird und so Reliefcharakter erhält.



Linolschnitt



Linoldruck

## Weiterführende Literatur

- Günther Förster, Josef Eiffler, Uwe Buchholz: *Linoleum: Der Bodenbelag aus nachwachsenden Rohstoffen*. (= Die Bibliothek der Technik; Bd. 107). Verlag Moderne Industrie, Landsberg am Lech 1995, ISBN 3-478-93123-1.
- Gerhard Kaldewei (Hrsg.): *Linoleum – Geschichte, Design, Architektur 1882–2000*. Hatje Cantz, Ostfildern 2000, ISBN 3-7757-0962-2.
- Silvia Tauss: *Problematik der Erhaltung von Linoleumbelägen in situ – Am Beispiel Warenhaus „Cheesmeyer“ in Sissach*. Diplomarbeit, HKB Bern 2007 (Volltext als PDF <sup>[58]</sup>)
- Pamela H. Simpson: *Comfortable, Durable, and Decorative: Linoleum's Rise and Fall from Grace*, in: APT Bulletin 30 (2/3), 1999, ISSN 0848-8525 <sup>[59]</sup>
- The Monopolies and Restrictive Practices Commission (Hrsg.): *Report on the Supply of Linoleum* (= HC 366, 1955–56). London 1956 (Online <sup>[60]</sup>)

## Referenzen

- [1] Günther Förster, Josef Eiffler, Uwe Buchholz: *Linoleum: Der Bodenbelag aus nachwachsenden Rohstoffen*. Die Bibliothek der Technik Bd. 107, Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech 1995, ISBN 3-478-93123-1.
- [2] Torsten Ziegler: *Wachstuch, Fußtapete, Kamptulikon, Korkteppich: Linoleum – Der Beginn des idealen Bodenbelags*. In: Gerhard Kaldewei (Hrsg.): *Linoleum – Geschichte, Design, Architektur 1882–2000*, 2000, ISBN 3775709622, S. 32–47.
- [3] Hi.: *Unser Jute-Gewebe in der Linoleum-Herstellung*. In: Die Brücke. Werkzeugzeitung der Jute-Spinnerei und -Weberei Bremen/Delmenhorst, 10. Jg, Nr.6, 1953, Reprint in: Gerhard Kaldewei (Hrsg.): *Linoleum – Geschichte, Design, Architektur 1882–2000*, 2000, ISBN 3775709622, S. 54–57.
- [4] Silvia Tauss: *Problematik der Erhaltung von Linoleumbelägen in situ – Am Beispiel Warenhaus „Cheesmeyer“ in Sissach*, Diplomarbeit, Bern, 2007, PDF Online ([http://www.hkb.bfh.ch/fileadmin/PDFs/Konservierung/Diplom\\_2007/Diplomarbeit2007\\_Tauss\\_Silvia.pdf](http://www.hkb.bfh.ch/fileadmin/PDFs/Konservierung/Diplom_2007/Diplomarbeit2007_Tauss_Silvia.pdf)), Zugriff am 30. September 2008
- [5] *Sachverständigenseminar des ZVPF in Kassel – PU-Beschichtung im Fokus* In: FussbodenTechnik 05/06, Online ([http://www.raumausstattung.de/business/artikel-record\\_id-40800-Wirtschaft.htm](http://www.raumausstattung.de/business/artikel-record_id-40800-Wirtschaft.htm)), Zugriff am 30. September 2008
- [6] Darstellung bei Standards Direct mit assoziierten Normen, Online ([http://www.standardsdirect.org/standards/standards2/StandardsCatalogue24\\_view\\_14658.html](http://www.standardsdirect.org/standards/standards2/StandardsCatalogue24_view_14658.html)), Zugriff am 30. September 2008
- [7] Pamela H. Simpson: *Comfortable, Durable, and Decorative: Linoleum's Rise and Fall from Grace*. APT Bulletin 30 (2/3), 1999; Seiten 17–24.
- [8] Anne Pimlott Baker: *Nairn, Sir Michael Barker, first baronet (1838–1915)* In: Oxford Dictionary of National Biography, *Oxford University Press 2004* ( Online, Zugang erforderlich (<http://www.oxforddnb.com/view/article/67808>)), Zugriff am 30. September 2008
- [9] *Kamptulikon*. In: Heinrich August Pierer, Julius Löbe (Hrsg.): *Universal-Lexikon der Gegenwart und Vergangenheit*. 4. Auflage. Bd. 19, Altenburg 1865, S. 858 ( Online (<http://www.zeno.org/Pierer-1857/B/KamptulÄ-kon>) bei zeno.org).
- [10] Anne Pimlott Baker: *Frederick Edward Walton* In: Oxford Dictionary of National Biography, *Oxford University Press 2004* ( Online, Zugang erforderlich (<http://www.oxforddnb.com/view/article/67799>)), Zugriff am 30. September 2008
- [11] *Linoleum Manufacture* In: The Mechanics Magazine, 7. April 1865, S. 216/217
- [12] Gustav Gericke: *Das Deutsche Linoleum auf dem Weltmarkt*. In: *Die Durchgeistigung der deutschen Arbeit – Jahrbuch des Deutschen Werkbundes 1912*, Jena, 1912, Reprint in: Gerhard Kaldewei (Hrsg.): *Linoleum – Geschichte, Design, Architektur 1882–2000*, 2000, ISBN 3775709622, S. 116–119.
- [13] Continentale Linoleum Union (Hrsg.): *Der europäische Linoleum-Konzern*, Basel, Wever & Co, 1928, S. 5, zitiert nach: Silvia Tauss: *Problematik der Erhaltung von Linoleumbelägen in situ – Am Beispiel Warenhaus „Cheesmeyer“ in Sissach*, Diplomarbeit, Bern, 2007, S.22
- [14] Daten nach Karlheinz Müller, B2B Industriemarktforschung GmbH; Offizielle Datenaufnahme für die Linoleumindustrie, abgesichert durch Daten des Statistischen Bundesamtes Deutschland.
- [15] „By 1939 the L.M.A, and all the important Continental linoleum manufacturers were parties to formal Convention Agreements covering sales of linoleum and floorcloth in all markets except the United States.“, Competition Commission London: *Report on the Supply of Linoleum*. HC 366, 1955–56, S.35 Online ([http://www.competition-commission.org.uk/rep\\_pub/reports/1950\\_1959/fulltext/016c11.pdf](http://www.competition-commission.org.uk/rep_pub/reports/1950_1959/fulltext/016c11.pdf)), Zugriff am 30. September 2008
- [16] Competition Commission London: *Report on the Supply of Linoleum*. HC 366, 1955–56, S.35 Online ([http://www.competition-commission.org.uk/rep\\_pub/reports/1950\\_1959/fulltext/016c11.pdf](http://www.competition-commission.org.uk/rep_pub/reports/1950_1959/fulltext/016c11.pdf)), Zugriff am 30. September 2008
- [17] Birgit Geiger: *Zielgerichtet den Großhandel unterstützen – Marktanteile bei Linoleum gewinnen im wichtigsten Markt Deutschland*. In: eurodecor, 12-05/01-06, S. 22–23, Online ([http://www.eurodecor.de/mediadb/1883133/1883134/Forbo\\_Flooring\\_12-01-05-06.PDF](http://www.eurodecor.de/mediadb/1883133/1883134/Forbo_Flooring_12-01-05-06.PDF)), Zugriff am 30. September 2008

- [18] Tarkett Sommer investiert in Linoleum In: BTH Heimtex, 06/03, Online ([http://www.raumausstattung.de/business/artikel-record\\_id-33700-Wirtschaft.htm](http://www.raumausstattung.de/business/artikel-record_id-33700-Wirtschaft.htm)), Zugriff am 30. September 2008
- [19] Competition Commission London: *Report on the Supply of Linoleum*. HC 366, 1955–56, S.12 Online ([http://www.competition-commission.org.uk/rep\\_pub/reports/1950\\_1959/fulltext/016c05.pdf](http://www.competition-commission.org.uk/rep_pub/reports/1950_1959/fulltext/016c05.pdf)), Zugriff am 30. September 2008
- [20] Competition Commission London: *Report on the Supply of Linoleum*. HC 366, 1955–56, S. 2–3 Online ([http://www.competition-commission.org.uk/rep\\_pub/reports/1950\\_1959/fulltext/016c01.pdf](http://www.competition-commission.org.uk/rep_pub/reports/1950_1959/fulltext/016c01.pdf)), Zugriff am 30. September 2008
- [21] Competition Commission London: *Report on the Supply of Linoleum*. HC 366, 1955–56, S.104 Online ([http://www.competition-commission.org.uk/rep\\_pub/reports/1950\\_1959/fulltext/016appendices.pdf](http://www.competition-commission.org.uk/rep_pub/reports/1950_1959/fulltext/016appendices.pdf)), Zugriff am 30. September 2008
- [22] Anonymus: *All Change In The Town Centre (1960–1969)*, Online (<http://www.fifetoday.co.uk/CustomPages/CustomPage.aspx?PageID=17700>), Zugriff am 25. September 2008
- [23] Makers Biography des Historic Houses Trust, Online (<http://collection.hht.net.au/results.do?view=detail&db=object&id=28993>), Zugriff am 30. September 2008
- [24] Makers Biography des Historic Houses Trust, Online (<http://collection.hht.net.au/results.do?view=detail&db=object&id=28793>)
- [25] Makers Biography des Historic Houses Trust, Online (<http://collection.hht.net.au/results.do?view=detail&db=object&id=28990>), Zugriff am 30. September 2008
- [26] Siehe auf der Website des Unternehmens (<http://www.forbo-flooring.co.uk/Default.aspx?MenuId=1008>), dort auch das herunterladbare Dokument *The History of Forbo Nairn*, Zugriff am 30. September 2008
- [27] *Floorcloth*. The Carpet Trade 10, Oktober 1879. Nach: Pamela H. Simpson: *Comfortable, Durable, and Decorative: Linoleum's Rise and Fall from Grace*. APT Bulletin 30 (2/3), 1999; Seiten 17–24.
- [28] W. H. Morton Cameron: *Canadian register of commerce and industry*, 1959, Auszug zu *Dominion Oilcloth & Linoleum Co*. Online (<http://www.lib.uwo.ca/programs/companyinformationcanada/cr-dominionoilcloth.htm>), Zugriff am 28. September 2008
- [29] Competition Commission London: *Report on the Supply of Linoleum*. HC 366, 1955–56, S. 4–5 Online ([http://www.competition-commission.org.uk/rep\\_pub/reports/1950\\_1959/fulltext/016c02.pdf](http://www.competition-commission.org.uk/rep_pub/reports/1950_1959/fulltext/016c02.pdf)), Zugriff am 30. September 2008
- [30] *Die Geschichte von Tarkett* auf der Unternehmens-Website der FieldTurf Tarkett, Online ([http://www.tarkett-sports.com/html/de/corporate\\_historique\\_groupe.php](http://www.tarkett-sports.com/html/de/corporate_historique_groupe.php)), Zugriff am 28. September 2008
- [31] Anonymus: *Domco. Company Profile*. In: *Flooring*, Januar 2001, Online (<http://www.allbusiness.com/retail-trade/building-material-garden-equipment-supplies/787256-1.html>), Zugriff am 28. September 2008
- [32] Roland A. Hellmann: *Aufstieg, Fall und Renaissance eines Fußbodenklassikers: Die Geschichte des Linoleums in Deutschland*. In: Gerhard Kaldewei (Hrsg.): *Linoleum – Geschichte, Design, Architektur 1882–2000*, 2000, ISBN 3775709622, S. 48–53.
- [33] Statistisches Bundesamt (Hrsg.): *Die industrielle Produktion 1951–1955*. In: *Die Industrie der Bundesrepublik Deutschland, Sonderheft 11*, Stuttgart, S.61
- [34] Stiftung Rheinisch-Westfälisches Wirtschaftsarchiv zu Köln: Bestandsbeschreibung *Abteilung 58 Rheinische Linoleumwerke Bedburg*, PDF Online (<http://www.ihk-koeln.de/Navigation/RheinischWestfaelischesWirtschaftsarchiv/Anlagen/BestandsbeschreibungAbt58.pdf>), Zugriff am 27. September 2008
- [35] DDP: *Linoleum ist wieder im Kommen*. In: *Die Welt Online*, 28. Oktober 2003, Online ([http://www.welt.de/print-welt/article269023/Linoleum\\_ist\\_wieder\\_im\\_Kommen.html](http://www.welt.de/print-welt/article269023/Linoleum_ist_wieder_im_Kommen.html)), Zugriff am 30. September 2008
- [36] *Die Verbrauchsentwicklung diverser Bodenbeläge in der BRD*, Website des Bundesverbands Großhandel Heim & Farbe e. V., Online (<http://www.ghf-online.de/c3view.php?sid=ffvwg8QfzMbzgbd8w33123113Ebbefmezbd8Jx2s&ieb=1206871017&c3p=33>), Zugriff am 30. September 2008
- [37] Silvia Bombara: *Il peso della storia. Narni e l'industria*. In: Comune di Narni (Hrsg.): *Lavoro e formazione - Le aziende narnesi parlano*, o.J. (2007/2008), S. 20–26, PDF Online (<http://www.provincia.terni.it/impiego/cenimpr/monitoraggio/Volume LAVORO E FORMAZIONE.pdf>), Zugriff am 30. September 2008
- [38] Michael Wortmann: *Ausländische Direktinvestitionen und Arbeitsplatzexport? Eine Untersuchung des externen und internen Auslandswachstums deutscher Unternehmen*, FAST-Studie Nr. 32, Berlin, 2002, S.60, ( PDF Online ([http://www.wzb.eu/gwd/into/pdf/wortmann\\_fast\\_32\\_bmwi2002.pdf](http://www.wzb.eu/gwd/into/pdf/wortmann_fast_32_bmwi2002.pdf))), Zugriff am 30. September 2008
- [39] *Ein Jahrhundert Tätigkeit* auf der Unternehmens-Website der Forbo-Giubiasco SA, Online (<http://www.forbo.ch/default.aspx?menuid=1813>), Zugriff am 30. September 2008
- [40] Pasquale Genasci / CN: *Forbo* In: *Historisches Lexikon der Schweiz (HLS)*, Bd. 4 Dudan – Frowin, 2005, ISBN 978-3-7965-1904-8, Online (<http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D41950.php>), Zugriff am 30. September 2008
- [41] Maura Huig: *Kaars Sijpsteijns eerste linoleumfabriek (1898–1903)*, In: *Met Stoom*, Nr. 34, Dezember 1999, Online ([http://www.zaans-industrieel-erfgoed.nl/index met stoom.html](http://www.zaans-industrieel-erfgoed.nl/index%20met%20stoom.html)), Zugriff am 29. September 2008
- [42] Jan Schoen: *Honderd jaar linoleum in Nederland* In: *Met Stoom*, Nr. 34, Dezember 1999, Online ([http://www.zaans-industrieel-erfgoed.nl/index met stoom.html](http://www.zaans-industrieel-erfgoed.nl/index%20met%20stoom.html)), Zugriff am 29. September 2008
- [43] Unternehmenschronik auf der Website des Unternehmens, Online ([http://www.oelw.at/Eingang\\_Set.htm](http://www.oelw.at/Eingang_Set.htm)), Zugriff am 27. September 2008
- [44] Silvia Tauss: *Problematik der Erhaltung von Linoleumbelägen in situ – Am Beispiel Warenhaus „Cheesmeyer“ in Sissach*, Diplomarbeit, Bern, 2007, S. 23–24, PDF Online ([http://www.hkb.bfh.ch/fileadmin/PDFs/Konservierung/Diplom\\_2007/Diplomarbeit2007\\_Tauss\\_Silvia.pdf](http://www.hkb.bfh.ch/fileadmin/PDFs/Konservierung/Diplom_2007/Diplomarbeit2007_Tauss_Silvia.pdf)), Zugriff am 30. September 2008

- [45] „... inlay in somewhat fuzzy-looking patterns, but it could not imitate the precision of a tile design.“, Pamela H. Simpson: *Linoleum and Lincrusta: The Democratic Coverings for Floors and Walls*. In: *Perspectives in Vernacular Architecture, Vol. 7, Exploring Everyday Landscapes*, 1997, S. 283
- [46] Pamela H. Simpson: *Linoleum and Lincrusta: The Democratic Coverings for Floors and Walls*. In: *Perspectives in Vernacular Architecture, Vol. 7, Exploring Everyday Landscapes*, 1997
- [47] Nils Aschenbeck: *Im Zeitalter der Hygiene*. In: Gerhard Kaldewei (Hrsg.): *Linoleum – Geschichte, Design, Architektur 1882–2000*, 2000, ISBN 3775709622, S. 140–161.
- [48] *Anhang* In: Armstrong DLW (Hrsg.): *DLW Referenzen*, 2008, S. 248
- [49] Gerhard Kaldewei: *Linoleum – Kunst und Industrie 1882–2000 – Eine Einführung*. In: Gerhard Kaldewei (Hrsg.): *Linoleum – Geschichte, Design, Architektur 1882–2000*, 2000, ISBN 3775709622
- [50] Julia Franke: *Linoleum zum historischen Design des Bodenbelags um 1900* In: Gerhard Kaldewei (Hrsg.): *Linoleum – Geschichte, Design, Architektur 1882–2000*, 2000, ISBN 3775709622, S. 130–137.
- [51] Karin Schulte: *Linoleum und der Ausstellungsraum der DLW auf der Werkbund-Ausstellung „Die Wohnung“ 1927 in Stuttgart*. In: Gerhard Kaldewei (Hrsg.): *Linoleum – Geschichte, Design, Architektur 1882–2000*, 2000, ISBN 3775709622, S. 198–207.
- [52] Anonymus: *Die Dammerstock-Siedlung in Karlsruhe*. In: Nachrichten der Deutschen Linoleum-Werke AG Nr. 12/1930, Reprint in: Gerhard Kaldewei (Hrsg.): *Linoleum – Geschichte, Design, Architektur 1882–2000*, 2000, ISBN 3775709622, S. 168–170.
- [53] Bettina Zöller-Stock: *Zu Innenraumentwürfen des Architekten Bruno Taut* In: Gerhard Kaldewei (Hrsg.): *Linoleum – Geschichte, Design, Architektur 1882–2000*, 2000, ISBN 3775709622, S. 130–137.
- [54] Harald Olbrich (Hrsg.): *Lexikon der Kunst – Architektur, Bildende Kunst, Angewandte Kunst, Industrieformgestaltung, Kunsttheorie: Linol(eum)schnitt*, Bd. 4, ISBN 3-363-00286-6, S. 349–350.
- [55] Andrea Tietze: *Der Linschnitt in der Geschichte und Kunst der Moderne*. In: Gerhard Kaldewei (Hrsg.): *Linoleum – Geschichte, Design, Architektur 1882–2000*, 2000, ISBN 3775709622, S. 68–93.
- [56] Harald Olbrich (Hrsg.): *Lexikon der Kunst – Architektur, Bildende Kunst, Angewandte Kunst, Industrieformgestaltung, Kunsttheorie: Cerataryt*, Bd. 1, ISBN 3-363-00286-6, S. 789.
- [57] Harald Olbrich (Hrsg.): *Lexikon der Kunst – Architektur, Bildende Kunst, Angewandte Kunst, Industrieformgestaltung, Kunsttheorie: Onobrakpeya*, Bd. 5, ISBN 3-363-00286-6, S. 287.
- [58] [http://www.hkb.bfh.ch/fileadmin/PDFs/Konservierung/Diplom\\_2007/Diplomarbeit2007\\_Tauss\\_Silvia.pdf](http://www.hkb.bfh.ch/fileadmin/PDFs/Konservierung/Diplom_2007/Diplomarbeit2007_Tauss_Silvia.pdf)
- [59] <http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=0848-8525>
- [60] [http://www.competition-commission.org.uk/rep\\_pub/reports/1950\\_1959/016linoleum.htm](http://www.competition-commission.org.uk/rep_pub/reports/1950_1959/016linoleum.htm)

## Linolsäure

Strukturformel	
Allgemeines	
Name	Linolsäure
Andere Namen	( <i>cis,cis</i> )-Octadeca-9,12-diensäure
Summenformel	C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>
CAS-Nummer	60-33-3
Kurzbeschreibung	farblose bis gelbliche Flüssigkeit <sup>[1]</sup>
Eigenschaften	
Molare Masse	280,45 g·mol <sup>-1</sup>
Aggregatzustand	flüssig
Dichte	0,9 g·cm <sup>-3</sup> (18 °C) <sup>[1]</sup>
Schmelzpunkt	-5 °C <sup>[1]</sup>
Siedepunkt	230 °C (21 hPa) <sup>[1]</sup>

Löslichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr schlecht in Wasser (<math>139 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}</math> bei <math>20 \text{ }^\circ\text{C}</math>)<sup>[1]</sup></li> <li>• gut in vielen organischen Lösungsmitteln<sup>[2]</sup></li> </ul>
<b>Sicherheitshinweise</b>	
Gefahrstoffkennzeichnung <sup>[1]</sup>  <i>keine Gefahrensymbole</i>  R- und S-Sätze R: <i>keine R-Sätze</i>  S: <i>24/25</i>	
<b>Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.</b>	

**Linolsäure** ist eine zweifach ungesättigte Fettsäure mit 18 Kohlenstoffatomen. Ihr wissenschaftlicher Name ist (*cis,cis*)-Octadeca-9,12-diensäure. Sie gehört zur Gruppe der Omega-6-Fettsäuren und ist von Linolensäure zu unterscheiden.

Der Name *Linolsäure* leitet sich vom lateinischen *linum* (griech. *linon*) für Lein (Flachs) und *oleum* „Öl“ ab.

## Vorkommen

Linolsäure ist ein chemischer Bestandteil vieler Triglyceride, die Hauptanteil der natürlichen Fette und Öle sind.<sup>[2]</sup> Safloröl hat den höchsten Linolsäuregehalt aller Pflanzenöle (ca. 55–81 %)<sup>[2]</sup>, Sonnenblumenöl (20–75 %)<sup>[2]</sup>, Sojaöl (49-57%)<sup>[2]</sup>, Maiskeimöl (34-62%)<sup>[2]</sup>. Dem gegenüber steht Olivenöl mit nur 3–20 % Linolsäureanteil.<sup>[2]</sup>

## Gewinnung und Darstellung

Die Fettsäuren lassen sich durch alkalische Verseifung aus den Triglyceriden gewinnen, in dem 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 destillative Trennung des entstandenen Gemisches an.

Kommerziell hergestellte Linolsäure hat einen Anteil von bis zu 67 %, daneben enthält sie ein Gemisch aus weiteren gesättigten und ungesättigte Fettsäuren, vor allem Ölsäure.<sup>[3]</sup>

## Eigenschaften

Reine Linolsäure ist eine farblose, ölige und fast geruchlose Flüssigkeit. Sie ist oxidationsempfindlich und altert an der Luft unter Gelbfärbung, die auf die Bildung von Hydroperoxiden zurückzuführen ist. Das Molekulargewicht beträgt  $280,45 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  und die Dichte  $0,9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ <sup>[2]</sup>. Sie hat einen Schmelzpunkt von  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ <sup>[1]</sup> und einen Siedepunkt von  $230 \text{ }^\circ\text{C}$ <sup>[1]</sup>. Die Fettsäure ist sehr schlecht löslich in Wasser, jedoch gut in vielen organischen Lösungsmitteln.

## Biologische Bedeutung

Linolsäure ist, ebenso wie die Alpha-Linolensäure ein essentieller Nährstoff und muss deshalb in ausreichender Menge mit der Nahrung zugeführt werden. Aus Linolsäure werden im Körper über die Zwischenstufe Gamma-Linolensäure (GLA) die in Entzündungsprozessen wichtigen Dihomogammalinolensäure (entzündungshemmend) und die Arachidonsäure (entzündungsfördernd) synthetisiert.

Linolsäure ist ein regelmäßiger Bestandteil der menschlichen Haut, speziell der Epidermis. Die für die Regulierung des Wasserhaushalts entscheidend wichtige epidermale Barriere – als Struktur repräsentiert durch das Stratum

corneum – besteht aus Ceramiden, freien Fettsäuren und Phospholipiden. Den Ceramiden kommt in Sonderheit Bedeutung für die Wasserregulierung zu. Das quantitativ bedeutsamste Ceramid ist Ceramid 1, dessen Hauptbestandteil Linolsäure ist. Linolsäure ist bei äußerlicher Anwendung in der Lage

- Hautreizung von außen (irritativer Kontaktdermatitis) entgegenzuwirken,
- chronischer Lichtschädigung der Haut, womöglich sogar Hautkrebs, entgegenzuwirken,
- im Rahmen der lichtgeschädigten Altershaut auftretende Flecke zurückzubilden,
- die Größe von Mitessern reduzieren.

Linolsäure wird ohne vorgegebene Höchstkonzentration in Kosmetika eingesetzt.

## Nachweis

Der Nachweis und die Gehaltsbestimmung von Linolsäure wird in der Regel durch Gaschromatografie des Methylesters durchgeführt.

## Technische Verwendung

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

## Weblinks

- 3D-Abbildung der kristallinen Linolsäure-Konformation <sup>[4]</sup>

## Referenzen

- [1] Eintrag zu *CAS-Nr. 60-33-3* ([http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?q=\[F+casnr:60-33-3\]&f=hitlist&t=main-hit-h.htm&tf=doc&tt=document-frame.htm&x=Advanced&c=redirect&s=Contents&h1=Title\[,100\]\)](http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?q=[F+casnr:60-33-3]&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)
- [2] Thieme Chemistry (Hrsg.): *RÖMPP Online - Version 3.5*. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart 2009.
- [3] Stichwort „Linoleic Acid“ In: Hans Zobelein (Hrsg.): *Dictionary of Renewable Resources*. 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim und New York 1996; Seite 92. ISBN 3-527-30114-3.
- [4] <http://www.reciprocalnet.org/recipnet/showsample.jsp?sampleId=27344307&sampleHistoryId=18536&level=65536&applet=jamm2&setLevel=1>

# Liste der Holzarten

Diese **Liste der Holzarten** enthält die wichtigsten Eigenschaften verschiedener Hölzer, die als Werkstoff und Brennholz verwendet werden.

## Allgemeine Merkmale

### Nadelhölzer

Holzart	Botanischer Pflanzename	Kurzzeichen nach DIN EN 13556	Holzfarbe	Eigenschaften Synonyme	Härte	Dauerhaftigkeit *)	Verwendung	Bild
<b>Douglasie</b>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	PSMN	hellbraun, rötlich; harzhaltig	Pin de l'Oregon, Douglas; zäh, dauerhaft, gering harzhaltig	weich	3-4: mäßig bis wenig dauerhaft	Bauholz (hoch beanspruchbar), Masten, Innenausbau, Möbel, Eisenbahnschwellen, Holz im Garten	
<b>Eibe</b>	<i>Taxus baccata</i>	TXBC		extrem elastisch, toxisch	hart	2: dauerhaft	historisch für den Bau von Langbögen	
<b>Fichte</b>	<i>Picea abies</i>	PCAB	hell, gelblich	Gemeine Fichte, Rotfichte, Rottanne	weich	4: wenig dauerhaft; sehr schwer tränkbar	Möbel, Bauholz, Dachstühle, ggf. Klangholz bei Musikinstrumenten, Fenster	
<b>Kiefer</b>	<i>Pinus sylvestris</i>	PNSY	hell, leicht gelblich	harzhaltig	weich	3-4: mäßig bis wenig dauerhaft	Kisten/Verpackungen, Möbel, Fenster, Türen, Masten, Bauholz	
<b>Lärche europäisch</b>	<i>Larix decidua</i>	LADC		harzhaltig, wetterfest		3-4: mäßig dauerhaft bis wenig dauerhaft	Fenster, Türen Fußboden, Bauholz, Möbel	
<b>Nootka-Scheinzypresse</b>	<i>Xanthocyparis nootkatensis</i>	CHNT	hellgelb	Yellow Cedar, Alaska-Zeder		2-3: dauerhaft bis mäßig dauerhaft	Bauholz, Möbel, Dachschindeln	
<b>Riesen-Lebensbaum</b>	<i>Thuja plicata</i>	THPL	rötlich-braun	sehr leicht; Western Red Cedar, Rotzeder, Thuja	weich	2: dauerhaft	Möbel, Vertäfelungen, Furniere, Dachschindeln, Bleistifte	
<b>Tanne</b>	<i>Abies alba</i>	ABAL			weich	4: wenig dauerhaft	Möbel, Bauholz	
<b>Weymouths-Kiefer</b>	<i>Pinus strobus</i>	PNST	weiß-gelblich bis rötlichbraun	Strobe, Weißkiefer	weich	3-4: mäßig bis wenig dauerhaft	Kisten/Verpackungen, Möbel, Gebrauchsgegenstände	

## Laubhölzer

Holzart	Botanischer Pflanzename	Kurzzeichen nach DIN EN 13556	Holzfarbe	Eigenschaften Synonyme	Härte	Dauerhaftigkeit *)	Verwendung	Bild
<b>Afrikanisches Mahagoni</b>	<i>Khaya</i> spp. principally <i>Khaya ivorensis</i> , <i>Khaya anthoteca</i> , <i>Khaya grandifoliola</i>	KHXX	dunkelbraun mit Rotschimmer	Khaya Mahagoni	hart	3: mäßig dauerhaft	Möbel, Bauholz, Musikinstrumente	
<b>Amerikanisches Mahagoni</b>	<i>Swietenia macrophylla</i>	SWMC	dunkelbraun mit Rotschimmer		hart	2: dauerhaft	Bauholz, Bootsbau Musikinstrumente	
<b>Ahorn</b>	<i>Acer pseudoplatanus</i> und <i>Acer campestre</i>	ACPS, ACCM	hellgelb-weiß mit Silberschimmer, teilweise geflammt	Bergahorn, Feldahorn	hart	5: nicht dauerhaft	Möbel, Tischplatten, Musikinstrumente	
<b>Azobé</b>	<i>Lophira alata</i>	LOAL	Helles Rötlichbraun	Bongossi, edle Optik, preiswert, breites Sortiment	extrem hart	2: dauerhaft	Möbel, Außenbereiche (Terrassenböden)	
<b>Balau</b>	<i>Shorea</i> spp. (section <i>Shorea</i> ), including <i>Shorea laevis</i>	SHBL	rötlich-gelb	Bankirai, Yellow Balau	hart	2:dauerhaft	Terrassen, Gartenmöbel	
<b>Balsa</b>	<i>Ochroma lagopus</i>	OHLG	hellgelb	sehr leicht	extrem weich		Leichtbau, Modellbau, Flugzeugbau	
<b>Birke</b>	<i>Betula pendula</i> , <i>Betula pubescens</i>	BTXX			ziemlich hart	5: nicht dauerhaft	Möbel	
<b>Buche</b>	<i>Fagus sylvatica</i>	FASY	mittelbraun mit Rotschimmer	schwer	sehr hart	5: nicht dauerhaft; gut tränkbar	Möbel, Furnier, Eisenbahnschwellen	
<b>Makassar Ebenholz</b>	<i>Diospyros celebica</i>	DSCL	schwarz	schwer	extrem hart		Intarsien, Instrumentenbau	
<b>Europäische Eiche</b>	<i>Quercus</i> spp.	QCXE	gelbbraun-grünlich		sehr hart	2: dauerhaft	Möbel, Parkett, Bauholz im Wasserbau, Eisenbahnschwellen, Pfähle, Furnier	
<b>Erle</b>	<i>Alnus glutionsa</i>	ALGL	mittelbraun, leichter Rotschimmer		weich	5: nicht dauerhaft	Möbel	

<b>Esche europäisch</b>	<i>Fraxinus excelsior</i>	FXEX		zäh, elastisch, widerstandsfähig	hart	5: nicht dauerhaft	Möbel, Werkzeugstiele (auf stehende Ringe achten!), Segelpinnen, Sportbogen, Hammer- und Axtstiele, früher Stellmacherei	
<b>Espe</b>	<i>Populus tremula</i>	POTL		Aspe, Zitterpappel			Intarsien	
<b>Kirsche europäisch</b>	<i>Prunus avium</i>	PRAV	rotbraun-rot		hart		Exklusive Möbel, Furnier	
<b>Linde</b>	<i>Tilia spp.</i>	TIXX			sehr weich	5: nicht dauerhaft	Schnitzereien	
<b>Pappel</b>	<i>Populus alba</i>	POAL		europäische Pappel, Weißpappel	sehr weich	5: nicht dauerhaft	Verpackung, Zündhölzer, Holzschuhe	
<b>Platane</b>	<i>Platanus x hispanica</i>	PLXH					Möbel	
<b>Robinie</b>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	ROPS	hellgrün bis grau	Falsche Akazie, Akazie, Gemeiner Schotendorn	hart	1 - 2: sehr dauerhaft bis dauerhaft, dauerhafteste der in Mitteleuropa vorkommenden Handelsholzarten	Holzpflasterungen, Spielplätze (keine Imprägnierung nötig)	
<b>Teak</b>	<i>Tectona grandis</i>	TEGR	rötlich braun		sehr hart	1: sehr dauerhaft	Schiffsbau, Außenbereich, Möbel	
<b>Ulme</b>	<i>Ulmus glabra, Ulmus minor</i>	ULGL, ULMI		Bergulme, Feldulme; In Deutschland aussterbend, das Holz der Ulme wird als Rüster bezeichnet	ziemlich hart	4: wenig dauerhaft	Möbel, Furnier	
<b>Walnuss</b>	<i>Juglans regia</i>	JGRG	mittel-dunkelbraun		ziemlich hart	3: mäßig dauerhaft	Exklusiver Innenausbau und Möbel, Furnier	
<b>Weißbuche</b>	<i>Carpinus betulus</i>	CPBT	gelb-weiß	Hagebuche, Hainbuche, Hornbaum; sehr zäh	sehr hart	5: nicht dauerhaft	Hobelsohlen, Stellmacherei	

<b>Whitewood</b>	<i>Liriodendron tulipifera</i>	LITL	weißlich-gelb zum Teil mit dunkelbraunen oder dunkelgrünen Einläufen	American whitewood, American tulip, Tulpenbaum, gut zu bearbeiten	weich		Möbelbau, Innenausbau	
------------------	--------------------------------	------	--	---	-------	--	-----------------------	--

\*) Dauerhaftigkeitsklasse des Kernholzes gegenüber holzerstörenden Pilzen, nach DIN EN 350-2. Das Splintholz ist grundsätzlich als nicht dauerhaft einzustufen.

## Spezifische Kennziffern einiger Bauhölzer

Holzart	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ] bei u=15%	Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Elastizitätsmodul [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>Afrikanisches Mahagoni</b>	500-650	62	46	87	9500
<b>Amerikanisches Mahagoni</b>	500-600		50	85	9500
<b>Ahorn (Berg-)</b>	500-650	82	49	95	10500
<b>Bongossi (Azobé)</b>	1120	170	109	250	17000
<b>Buche</b>	720	135	62	123	14000
<b>Eiche (Stiel-)</b>	670	72	38	71	13000
<b>Esche</b>	690	165	52	120	13000
<b>Espe, Aspe</b>	500-650				
<b>Fichte</b>	470	90	50	78	11000
<b>Wald-Kiefer</b>	520	100	45	80	
<b>Lärche</b>	590	105	48	93	

## Brennstoffeigenschaften

Holzart lufttrocken	Heizwert kWh/kg	Heizwert MJ/kg	Heizwert MWh/Rm	Rohdichte in kg/dm <sup>3</sup>	Handelsdichte kg/Rm
Buche	4,2	15	2,0	0,74	480
Esche	4,2	15	2,0	0,74	480
Eiche	4,2	15	2,0	0,69	470
Birke	4,2	15	1,9	0,68	450
Lärche	4,3	15,5	1,8	0,58	420
Kiefer	4,3	15,5	1,6	0,51	360
Fichte	4,3	15,5	1,4	0,44	330
<b>Heizöl</b>	12	43	10	0,84	840

## Literatur

- Gottfried Amann: *Bäume und Sträucher des Waldes. Taschenbildbuch der Nadeln und Blätter, Blüten, Früchte und Samen, Zweige im Winterzustand und Keimlinge der beachtenswertesten Bäume und Sträucher des mitteleuropäischen Waldes mit Textteil über deren Bau und Leben.* Melsungen 1954, ISBN 3-89440-558-9 (Holzeigenschaften der wichtigsten europäischen Wild- und Forstgehölze)
- D. Grosser, W. Teetz: *Einheimische Nutzhölzer.* Loseblattsammlung, herausgegeben von der Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond – Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft Bonn 1998, ISSN 0446-2114 <sup>[1]</sup>

## Weblinks

- Holzatlas <sup>[1]</sup> von Pentol Holzschutz (zahlreiche heimische und Tropenhölzer)
- What Wood? Wood Identification Database <sup>[2]</sup>, Richard van der Leeden (englisch, sehr umfassend)
- Holzartenbestimmung mit Anleitung (deutsch) <sup>[3]</sup>
- Wichtige Handelshölzer von A bis Z mit zahlreichen Informationen <sup>[4]</sup>

## Referenzen

[1] <http://www.pentol.ch/wood.asp?code=09>

[2] <http://wood.rleeden.no-ip.com>

[3] <http://www.tischler-ole-welzel.de/Holzartenerkennung/Holzartenbestimmung.htm>

[4] <http://www.tischler-ole-welzel.de/Holzarten/Holzarten.htm>

# Liste der Kunststoffe

Die **Liste der Kunststoffe** führt neben den Namen und Kürzeln nach IUPAC auch auf, ob es sich um Thermoplast-, Duroplast- oder Elastomerwerkstoffe handelt. Weiterhin werden grobe Angaben zur chemischen Beständigkeit und zu Eigenschaften und Verwendung gemacht. In den verlinkten Artikeln werden diese Informationen weiter vertieft.

Name	Kürzel	Art	Typ	Chemische Beständigkeit	Eigenschaften	Verwendung	Handelsnamen (Auswahl)
Acrylester-Styrol-Acrylnitril	ASA	Copolymerisat	Thermoplast				Luran S (BASF)
Acrylnitril/Butadien/Acrylat	A/B/A	Copolymerisat	Elastomer				
Acrylnitril-Butadien-Styrol	ABS	Copolymerisat	Thermoplast	Besser als PS	alterungsbeständig, hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit bis 120kV/mm, sonst wie SAN	bis 95°C, Armaturen, Batteriekästen, Schutzhelme	Cyclocac (GE Plastics), Novodur (INEOS ABS), Lustran (INEOS ABS), Terluran (BASF), Vestodur
Acrylnitril/chloriertes Polyethylen/Styrol	A/PE-C/S	Copolymerisat	Elastomer				
Acrylnitril/Methylmethacrylat	A/MMA	Copolymerisat	Elastomer				
Butadien-Kautschuk	BR	Polymerisat	Elastomer			von - 80 °C bis 90 °C	

Butylkautschuk	IIR	Copolymerisat	Elastomer		gute elektrische Isoliereigenschaften	Einsatztemperatur -40°C bis +130°C	
Casein-Kunststoffe, Kunsthorn	CS, CSF	Copolymerisat	Thermoplast				Luran S (BASF)
Celluloseacetat	CA	Ester der natürlichen Cellulose	Thermoplast	Benzin, Benzol, Trichlorethylen	hart, zäh, geruchs- und geschmacksfrei, schalldämmend	< 80°C, Folien, Gerätegehäuse, Werkzeuggriffe	Cellidor, Cellit, Cellan, Trolit
Cellulosehydrat	CH	Celluloseester	Thermoplast				Cellophan, Zellglas
Cellulosenitrat	CN	Celluloseester	Thermoplast				Zelluloid
Chloropren-Kautschuk	CR	Polymerisat	Elastomer			-45 °C bis +100 °C (kurzzeitig bis 130 °C)	Neopren (DuPont)
Chitin, Chitosan		natürliches Polymer	Duroplast			Bindemittel für Vliesstoffe, Klebstoff, Abbaubare Wundverbände, Hautersatz, Ballaststoff	
Cyclo-Olefin-Copolymere	COC	Copolymerisat	Thermoplast		hohe Steifigkeit, Festigkeit und Härte, niedrige Dichte	von 65 bis 175 °C	Topas (Ticona)
Epoxidharz	EP	Polyaddukt	Duroplast	Alkohol, schwache Laugen, Säuren, Lösungsmittel, witterungsbeständig	Hart, zäh, schwer zerbrechlich, glasklar bis gelblich, gute haft- und elektrische Eigenschaften	bis 130 °C; Gieß-, Laminier-, Kleb-, und Lackharz, elektrische Isolierungen, Schalter, Geräte	Araldit, Epikote, Epoxin, Lekutherm, UHU-plus
Ethylen-Ethylacrylat-Copolymer	E/EA	Copolymerisat	Elastomer				
Ethylen-Propylen-Copolymer	EPM	Copolymerisat	Elastomer		schmelzfähig	von -200°C bis 300°C	Polysar EPM
Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk	EPDM	Copolymerisat	Elastomer		hohen Elastizität	von 55 °C bis +140 °C	Nordel IP (DuPont)
Ethylvinylacetat	EVA	Copolymerisat	Elastomer				
Fluorkautschuk	FPM oder FKM	Copolymerisat	Elastomer				Kalrez, Viton (DuPont)
Flüssigkristall-Polymere	LCP	Polykondensat	Thermoplast				Vectra (Ticona), XYDAR (Amoco), Zenite (DuPont)
Harnstoff-Formaldehydharz	UF	Polykondensat	Duroplast	Lösungsmittel, Öl	Hart, Schlagfest, glasklar, lichteht, geruchs- und geschmacksfrei	bis 90°C; Holzleim, Haushaltsgeräte, Möbelschichtstoffe	Hornitex, Kaurit, Pollopas, Resamin, Resopal, Urecoll
High Impact Polystyrene	HIPS	Copolymerisat	Thermoplast		Hochschlagfest	Gerätegehäuse von Fernsehern, Computer	
Isopren-Kautschuk	IR	Polymerisat	Elastomer				

Lignin		natürliches Polymer					Arboform
Melamin-Formaldehydharz	MF	Polykondensat	Duroplast				
Melamin/Phenol-Formaldehyd	MPF	Copolymer	Duroplast (Duromer)				
Methylacrylat/Butadien/Styrol	MBS	Copolymerisat					
Naturkautschuk (Gummi arabicum)	NR	natürliches Polymer	Elastomer				Gummi
Phenol-Formaldehydharz	PF	Polykondensat	Duroplast	Schwache Laugen, Säuren, Lösungsmittel	Hart, spröde, gelbbraun, gute elektrische Isolierung	bis 100°C, Schalter, Bremsbeläge, Lager, Gieß- und Klebharz	Alberite, Bakelite, Corephan, Supraplast
Perfluoralkoxylalkan	PFA	Copolymerisat	Thermoplast			Gefäßmaterialien in der Elementspurenanalytik	
Polyacrylnitril	PAN	Polymerisat	Teilkristalline Faser				Dralon (Bayer)
Polyamid	PA, Bio-PA	Polykondensat	Thermoplast	Alkohol, Kraftstoff, Öl, schwache Laugen, Säure, Salze	Hart, sehr zäh, abriebfest, gleitfähig, schalldämpfend, maßbeständig	bis 100°C formbeständig, Druckschläuche, Dichtungen, Feinwerktechnik, Lager, Fasern, Zahnräder	Nylon, Perlon, Durethan, (Lanxess), Ultramid (BASF), Zytel (DuPont),
Polybutylensuccinat	PBS						
Polybutylenterephthalat	PBT	Polykondensat	Thermoplast		hohe Festigkeit, Steifigkeit und Härte, gute Witterungsbeständigkeit, keine Spannungsrissbildung	Technische Teile für Automobilbau und Elektrotechnik	Arnite (DSM), Celanex (Ticona), Crastin (DuPont), Pocan (Lanxess), Ultradur (BASF), Valox (GE Plastics)
Polycaprolacton	PCL				biologisch abbaubar		
Polycarbonate	PC	Polykondensat	Thermoplast	Alkohol, Benzin, Öl, schwache Säuren	Hart, steif, Schlagfest, formstabil, glasklar, elektrisch isolierend	< 135°C, schlagzäh bis -100°C, Gehäuse, Schalter, Lacke, CDs	Lexan (GE Plastics), Makrolon (Bayer)
Polychlortrifluorethylen	PCTFE	Polymerisat	Thermoplast				Kel-F (3M)
Polyester		Polykondensat	Thermoplast oder Duroplast		reißfest, leicht	Saiten für Tennisschläger	
Polyesteramid	PEA						
Polyether-Block-Amid	PEBA	Polykondensat	Thermoplastisches Elastomer				Pebax (Atofina)
Polyetherimid	PEI	Polykondensat	Thermoplast		gute chem. Beständigkeit, transparent, zäh	bis +170°C	Ultem (GE Plastics)

Polyetherketone	PEK, PEEK u.a.	Polykondensat	Thermoplast				Hostatec (Hoechst), Kadel (Amoco), Victrex PEEK (Victrex)
Polyethersulfon	PES	Polykondensat	Thermoplast		fest, steif, zäh, gute chem.Beständigkeit	bis +180°C	Ultrason E (BASF), Radel A (Amoco)
Polyethylen	PE, Bio-PE	Polymerisat	Thermoplast	Benzol, Laugen, Lösungsmittel, Säuren, witterungsbeständig	Weich, flexibel (PE-LD) bis steif, unzerbrechlich (PE-HD), durchscheinend, geruchsfrei	bis 80°C (PE-LD) bzw. bis 100°C (PE-HD), Dichtungen, Folien, Isoliermaterial, Rohre, Flaschen	Hostalen (Basell), Vestolen, Trolen
Polyethylenterephthalat	PET	Polykondensat	Thermoplast		hohe Steifigkeit und Härte, lackierfähige Oberfläche, witterungsstabil, hohe Formbeständigkeit in der Wärme	Flaschen	Impet (Ticona)
Polyhydroxyalkanoate	PHA	Natürlicher Polyester (mikrobielle Biosynthese)	Thermoplast (Elastomer)	Feuchtigkeit, UV-Licht	biobasiert, biologisch abbaubar; spröde und steif bis elastisch, Aroma-Barriere, ähnlich PP	bis ca. 180°C, (Lebensmittel)verpackungen, medizinisches Nahtmaterial, Implantate	
Polyhydroxybutyrat	PHB	Natürlicher Polyester (mikrobielle Biosynthese)	Thermoplast (Elastomer)	Feuchtigkeit, UV-Licht	biobasiert, biologisch abbaubar; spröde und steif bis elastisch, Aroma-Barriere, ähnlich PP	bis ca. 180°C, (Lebensmittel)verpackungen, medizinisches Nahtmaterial, Implantate	
Polyimid	PI	Polykondensat	Thermoplast	Fast alle Lösungsmittel, jedoch keine Laugen	Abriebsfest, sehr gute Gleit- und elektrische Eigenschaften (Isolierung), sehr geringe Gasdurchlässigkeit	-240°C bis 280°C, Formgebung durch Sintern, Dichtungen, Lager	Kapton, Vespel (DuPont)
Polyisobutylen	PIB	Polymerisat	Elastomer				
Polylactid (Polymilchsäure)	PLA	Polymerisat	Thermoplast		biobasiert, biologisch abbaubar	Verpackungsfolien, Kunststoffbesteck, Kunststoffbecher, Verbrauchsmaterialien, Flaschen, Fasern und Gewebe, Teebeutel	Ingeo (NatureWorks LLC), Bio-Flex (FKuR, PLA-Blend)
Polymethacrylmethylimid	PMMI	Polymerisat	Thermoplast				Pleximid (Röhm)
Polymethylenterephthalat	PTT	Polykondensat	Thermoplast				
Polymethylmethacrylat	PMMA	Polymerisat	Thermoplast	Schwere Laugen, Säuren, Benzin, witterungsbeständig	Hart, spröde, splittert nicht, alterungsbeständig, transparent	von -40°C bis 90°C, Modelle, Leuchten, Sicherheitsverglasung	Degulan, Plexiglas (Degussa), Resarit

Polymethylpenten	PMP	Polymerisat	Thermoplast	Säuren, Laugen	Hohe Transparenz, UV-durchlässig, geringe Oberflächenspannung, geringe Wasseraufnahme	Laborgeräte, Kosmetikbehälter, Spritzen	TPX (Mitsui)
Polyoxymethylen oder Polyacetal	POM	Polymerisat	Thermoplast	Fast alle Lösungsmittel	Hart, zäh, gleitfähig, teilkristallin, geringe Wasseraufnahme, maßbeständig	von -50°C bis 120°C, Armaturen, Beschläge, Lager, Zahnräder	Delrin (DuPont), Hostaform (Ticona), Ultraform (BASF)
Polyphenylenether	PPE oder PPO	Polykondensat	Thermoplast		gute chemische Beständigkeit	bis 100°C	Noryl (GE Plastics)
Polyphenylensulfid	PPS	Polykondensat	Thermoplast				Fortron (Ticona), Ryton (Phillips) Tedur (Albis)
Polyphthalamid	PPA	Polykondensat	Thermoplast				Amodel (Amoco)
Polypropylen	PP	Polymerisat	Thermoplast	Benzol, Laugen, Lösungsmittel, Säuren, witterungsbeständig	Hart, unzerbrechlich, teilkristallin, geruchs- und geschmacksfrei	Beständig von 0°C bis 130°C, Batteriekästen, Waschmaschinenteile	Hostalen PP, Novolen, Vestolen P
Polypyrrol	PPY	Polymer	Leitfähiger Kunststoff				
Polystyrol	PS	Polymerisat	Thermoplast	Alkohol, Laugen, Öl, Säuren, Wasser	Hart, spröde, glasklar, geruchs- und geschmacksfrei, färbbar	bis 80°C, Isolierfolien, Spielwaren, Verpackungen, Zeichengeräte	Hostyron, Trolitul, Vestyron
Polystyrol geschäumt	PS-E	Polymer	Thermoplast	Alkohol, Laugen, Öl, Säuren, Wasser	Geringe Dichte, Schall und Wärmedämmung	Platten für Wärme- und Schallschutz, Verpackungen	Styropor (BASF)
Polystyrol schlagfest	SB	Copolymerisat	Thermoplast	wie PS	schlagfest, schwer zerbrechlich, Versprödung durch Licht und Wärme, sonst wie PS	bis 70°C, Behälter, Elektroinstallationen, Geräte- und Tiefziehteile	Hostyren, Polystyrol 400, Styroflex, Styrolux (BASF), Vestyron 500
Polysulfon	PSU	Polykondensat	Thermoplast		zäh, transparent, gute elektr.Eigenschaften, hohe Festigkeit	von -40°C bis 150°C, Medizin, Haushalt	Ultrason S (BASF), Udel (Amoco)
Polytetrafluorethylen	PTFE	Polymerisat	Thermoplast	Hervorragende Beständigkeit	Hart, zäh, teilkristallin, keine Wasseraufnahme, sehr gute Gleit- und elektrische Eigenschaften (Isolierung), nicht benetzbar (hydrophob)	-90°C bis 350°C, Formgebung durch Sintern, Beschichtungen, Dichtungen Isolierfolien, Lager, Schläuche	Teflon (DuPont), Hostaflon (Dyneon)

Polyurethan	PUR, Bio-PUR (auf Basis pflanzlicher Öle)	Polyaddukt	Duroplast oder Elastomer	Schwache Laugen, Säuren, Lösungsmittel, Öl, Treibstoffe	Hart, zäh (Duroplast) bis weich (Elastomer), haftfähig, alterungsbeständig	Kupplungsbeläge, Lager, Laufrollen, Zahnräder, Klebstoffe, Schaumformteile, Bettmatratzen, Autoinnenverkleidung, Schuhsohlen, Verpackungen	Bayflex (Bayer), Contilam, Lycra, Moltopren, Elasto (BASF)
Polyvinylacetat	PVAC	Polymerisat	Thermoplast			Weißleim (Holzleim)	Ponal
Polyvinylbutyral	PVB	Polymerisat	Elastomer		biologisch abbaubar; lichtbeständige, zähelastische Filme	Verbundglasfolie, Druckfarbenbindemittel, Klebstoff	Mowital
Polyvinylchlorid (Hart-PVC)	PVC-U	Polymerisat	Thermoplast	Alkohol, Laugen, Säuren, Mineralöl, Benzin	Abtriebsfest, hornartig, zäh	bis 60°C, Rohre, Fittings, Folien, Hohlkörper, Batteriekästen	Hostalit, Trosiplast, Vestolit, Vinnol, Vinofles
Polyvinylchlorid (Weich-PVC)	PVC-P	Polymerisat	Thermoplast	etwas geringer beständig als PVC-U	Abtriebsfest, gummi- bis lederartig, keine Wasseraufnahme	bis 80°C, Bekleidung, Bodenbelag, Folien, elektrische Isolierung	Acella, Mipolam, Skay, Vestolit
Polyvinylidenfluorid	PVDF	Polymerisat	Thermoplast			Dichtung, Membran, Verpackungsfolie	Solef (Solvay), Kynar (Arkema), Dyneon (Dyneon)
Polyvinylpyrrolidon	PVP						
Silicon-Kautschuk	Q oder SIR	Polykondensat	Elastomer				
Styrol-Acrylnitril- Copolymerisat	SAN	Copolymerisat	Thermoplast	Ätherische Öle, sonst wie PS	Sehr schlagzäh, steif, stabil, temperaturwechselfest	bis 95°C, Batteriekästen, Gerätegehäuse, Spielwaren	Luran (BASF), Vestoran
Styrol-Butadien-Kautschuk	SBR	Copolymerisat	Elastomer				
Styrol-Butadien-Styrol	SBS	Copolymerisat	Thermoplastisches Elastomer				
Thermoplastische Stärke	TPS	Polymerisat	Thermoplast		biobasiert, biologisch abbaubar	Verpackungsfolien, Extrusionsteile, Golf-Tees, Kunststoffbesteck	Biograde TPS (Biograde Limited), Biograde B-M (Blend, Biograde Limited), Master-Bi (Blend, Novamont)
Thermoplastisches Polyurethan	TPU oder TPE-U	Polyaddukt	Thermoplastisches Elastomer				Desmopan (Bayer), Elastollan (Elastogran)

Ungesättigter Polyester	UP	Polykondensat	Duroplast	Schwache Laugen, Säuren, Lösungsmittel, witterungsbeständig	Je nach Füllstoff hart, zäh bis weich elastisch, glasklar, gute elektrische Eigenschaften, färbbar	bis 120°C, Fasern, Textilien, Gieß- Laminier-, Kleb- und Lackharz, Kunstharzbeton	Aldenol, Laminac, Leguval, Palatal, Vestopal, Diolen, Trevira
Vinylchlorid/Ethylen	VC/E	Copolymerisat	Elastomer				
Vinylchlorid/ Ethylen/ Methacrylat	VC/E/MA	Copolymerisat	Elastomer				

## Charakteristische Eigenschaften

### Unverstärkte Kunststoffe

Zeichen	Werkstoff	Dichte $\sigma$ [g cm <sup>-3</sup> ]	Streckspannung $R_S$ [N mm <sup>-2</sup> ]	E-Modul (Zugspannung) $E$ [kN mm <sup>-2</sup> ]	Reißdehnung $A_R$ [%]	Längenausdehnung $\alpha$ [10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup> ]
PA 6	Polyamid 6	1,13	80	3,2	200	7...10
PC	Polycarbonat	1,2	60	2,2	80	7
PE	Polyethylen	0,94	22	1,0	450	20
POM	Polyoxymethylen	1,41	68	3,1	12...20	11
PP	Polypropylen	0,91	37	1,4	20...500	15

### Unverstärkte Elastomere

Zeichen	IUPAC-Name	Markenname	Zugfestigkeit [N mm <sup>-2</sup> ]	Bruchdehnungskoeffizient [%]	Temperaturbeständigkeit [°C]	Eigenschaften	Verwendung
NR	Naturkautschuk		22	600	-60...+60	Hoch beanspruchbar	Bereifungen, Gummi-Metall-Federn, Lager
SBR	Styrol-Butadien-Kautschuk	Buna S	5	500	-60...+60	Hoch beanspruchbar	Bereifungen, Hydraulikdichtungen, Schläuche, Kabelmäntel
CR	Chlor-Butadien-Kautschuk	Buna C, Chloropren, Neopren	10	400	-30...+90	Schwer entflammbar, verschleißfest, witterungsbeständig	Bremsleitungen, Dichtungsbahnen, Faltenbälge, Tauchanzüge
NBR	Acrylnitril-Butadien-Kautschuk	Perbunan N, Nitrilkautschuk	6	450	-20...+110	Öl- und Kraftstoffbeständig	Dichtungen, Hydraulik und Pneumatik, Seelen von Kraftstoff- und Hydraulikleitungen

AU	Polyester-Urethan-Kautschuk	Vulkollan	20	450	-30...+100	Verschleißfest, zäh	Mechanisch beanspruchte Dichtungen, elastische Kupplungen, Zahnräder
SI	Silikon-Kautschuk	Silastic, Elastosil	1	250	-80...+200	Chemisch und temperaturbeständig	Elastische Isolierungen, Dichtungen, Manschetten, Schläuche

## Lyocell

**Lyocell** ist ein aus Zellulose bestehende, industriell hergestellte Regeneratfaser, die nach dem Direkt-Löseverfahren hergestellt wird. Sie wird vor allem im Bereich der Textilindustrie, aber auch für Vliesstoffe (Nonwovens) und technische Anwendungen genutzt. Lyocell ist die generische Faserbezeichnung und wird von der Lenzing AG als derzeit einzigem Anbieter unter dem Markennamen Tencel angeboten.

### Eigenschaften

Tencel Fasern weisen eine hohe Trocken- und Nassfestigkeit auf, sind weich und absorbieren Feuchtigkeit sehr gut. Daraus hergestellte Textilien weisen einen glatten und kühlen Griff mit fließendem Fall auf, haben eine geringe Knitterneigung und können gewaschen und chemisch gereinigt werden.

Tencel Fasern werden in einem breiten Spektrum von Microfasern mit 0,9 dtex (0,9 g pro 10.000 m Fadenlänge) bis grobe Fasern mit 15 dtex angeboten. Standard Tencel kann aufgrund der Fibrillation für Textilien mit pfirsichartiger samtiger Oberfläche verwendet werden ("peach-skin Effekt") oder durch geeignete Ausrüstung im Textil stabilisiert werden. Für andere Anwendungen werden nicht fibrillierende Tencel Faser hergestellt.

### Verwendung

Die Faser wird in vielen Bereichen genutzt, etwa für die Herstellung von Jeans-Stoffen, Funktionstextilien im Sportbereich, für Arbeitsbekleidung, Unterwäsche und Bettartikel sowie als Nonwovens-Produkt (Vliesstoff) für Hygiene- und Kosmetikartikel. Außerdem findet die Faser Verwendung bei Textilien im medizinischen Bereich und für Industrieprodukte. Der Einsatz erfolgt häufig in Mischung mit verschiedenen Fasern wie Baumwolle oder Viskose (Modal) und auch mit synthetischen Fasern wie Polyester und Polyamid.

### Herstellung

Die Zellulose wird aus dem Rohstoff Holz extrahiert. Der so gewonnene Zellstoff wird anschließend in *N*-Methylmorpholin-*N*-oxid (NMMO), einem untoxischen Lösungsmittel, durch Wasserentzug ohne chemische Modifizierung gelöst, filtriert und anschließend durch Spinnköpfe gepresst. Die so geformten Filamente werden in einem Bad mit wässriger NMMO-Lösung ausgefällt und als Faserkabel zusammengefasst. Je nach Anwendung folgen weitere Behandlungsschritte wie Reinigen, Schneiden, Bleichen mit Wasserstoffperoxid, Avivieren und Trocknen bzw. Trocknen, Kräuseln und Schneiden.<sup>[1]</sup> Gegenüber anderen Regeneratfasern wie Viskose gilt der Herstellungsprozess aufgrund des umweltschonenden Lösungsmittels und eines geschlossenen Stoffkreislaufs als deutlich weniger umweltbelastend.<sup>[2]</sup>

## Geschichte

Die Viscosefaser-Hersteller und Konkurrenten Lenzing AG und Courtaulds plc produzierten seit den 90er Jahren Lyocell Fasern, unter anderem auf der Basis von Lizenzen der niederländischen Akzo (Courtaulds seit 1992, Lenzing seit 1997). Nach mehreren Eigentümerwechseln der ehemaligen Courtaulds Gruppe wurde der Unternehmensbereich Tencel ausgegliedert. 2004 übernahm Lenzing die Unternehmensgruppe Tencel. Tencel betrieb nach der Übernahme je eine Anlage in den USA (Mobile, Alabama), in Großbritannien (Grimsby) und in Österreich (Heiligenkreuz) sowie eine Pilotanlage in Österreich. Die Gesamtnennkapazität betrug rund 120.000 Jahrestonnen.<sup>[3]</sup>

1987 wurde von Courtaulds plc in Grimsby (UK) die erste Lyocell-Anlage in Betrieb genommen. 1990 startete die Lenzing AG mit einer Pilotanlage. Kommerziell werden Lyocellfasern seit 1991 von Courtaulds in Mobile, Alabama (USA) und seit 1997 von Lenzing in Heiligenkreuz (Österreich) produziert. Nach der Übernahme der Tencel Gruppe im Jahr 2004 betreibt die Lenzing AG je eine Anlage in den USA (Mobile, Alabama), in Großbritannien (Grimsby) und in Österreich (Heiligenkreuz) sowie eine Pilotanlage in Österreich. Die Gesamtnennkapazität beträgt rund 130.000 Jahrestonnen.<sup>[4] [5]</sup>

## Weblinks

- Lyocell.net <sup>[6]</sup>
- Lenzing: Tencel <sup>[7]</sup>

## Referenzen

- [1] Produktionsprozess von Tencel und Lenzing Lyocell (pdf) ([http://www.lenzing.com/nonwovens/de/media/prod\\_proc\\_tenc\\_de.pdf](http://www.lenzing.com/nonwovens/de/media/prod_proc_tenc_de.pdf))
- [2] Greenpeace magazin , 2009: textil-Fibel 3, S. 49-51.
- [3] Lenzing AG übernimmt Unternehmensgruppe Tencel. (<http://www.lenzing.com/presse/de/838.jsp>) Pressemitteilung der Lenzing AG vom 4. Mai 2004, abgerufen am 2. Juni 2009
- [4] Lenzing AG übernimmt Unternehmensgruppe Tencel. (<http://www.lenzing.com/presse/de/838.jsp>) Pressemitteilung der Lenzing AG vom 4. Mai 2005, abgerufen am 2. Juni 2009
- [5] Lenzing Gruppe: Standorte (<http://www.lenzing.com/gruppe/de/540.jsp>), abgerufen am 14. Juni 2009
- [6] <http://www.lyocell.net>
- [7] <http://www.tencel.at/index.php?id=38>

---

# - M -

---

## Mais

---

Mais	
	
Maispflanzen ( <i>Zea mays</i> subsp. <i>mays</i> )	
Systematik	
<i>Klasse:</i>	Einkeimblättrige (Liliopsida)
<i>Unterklasse:</i>	Commelinaähnliche (Commelinidae)
<i>Ordnung:</i>	Süßgrasartige (Poales)
<i>Familie:</i>	Süßgräser (Poaceae)
<i>Gattung:</i>	<i>Zea</i>
<i>Art:</i>	Mais
Wissenschaftlicher Name	
<i>Zea mays</i>	
L.	

**Mais** (*Zea mays*) ist eine Pflanzenart aus der Familie der Süßgräser (Poaceae), die ursprünglich aus Mexiko stammt. Mais ist eine einhäusige C<sub>4</sub>-Pflanze, nutzt also einen anderen Grundtypus der Photosynthese als beispielsweise die einheimischen Gräser (C<sub>3</sub>-Pflanzen) zur Kohlenstofffixierung.

Weltwirtschaftlich bedeutend ist die kultivierte Unterart *Zea mays* subsp. *mays*, die als wichtige Getreideart weltweit angebaut wird. Verwandtschaftsstudien deuten darauf hin, dass sich diese Unterart vor allem von *Zea mays* subsp. *parviglumis* ableitet, nach der Domestizierung trug jedoch auch der Genfluss von anderen Teosinte-Typen (eine Formengruppe innerhalb der Gattung *Zea*) zur heutigen Form bei. Zu erwähnen ist hierbei insbesondere der Beitrag von *Zea mays* subsp. *mexicana* zum mexikanischen Hochlandmais.<sup>[1]</sup> Es gibt ca. 50.000 verschiedene Maissorten.

---



Trincheras am Rio Casas Grandes im nördlichen Chihuahua und Las Playas im nördlichen Sonora stammt kultivierter Mais, der auf etwa 1000 v. Chr. datiert ist. Aus Trincheras ist auch Amarant bekannt. Die ersten Ackerbausiedlungen im Südwesten liegen auf den Niederterrassen von Flüssen. Eventuell wurde Mais hier ausgesät, nachdem die Frühjahrsüberschwemmungen zurückgegangen waren. Seit 1100 v. Chr. sind aus dem Gebiet von Tucson Arizona kleinere Bewässerungsanlagen bekannt.

Bereits 1525 wurden in Spanien die ersten Felder mit Mais bebaut, nachdem Christoph Kolumbus die Pflanze in der Karibik entdeckt und mit nach Europa brachte. Von dorthier brachte er auch das Wort "Mays". Dieses leitet sich von "mahiz" ab, dem Wort für Mais in Taino, der Sprache der Arawak.

## Benennung

In Österreich, vor allem in Ostösterreich, und in Kroatien wird *Mais* auch **Kukuruz** genannt (ausgesprochen *gugaruz* in Wien, Ober- und Niederösterreich). Dieses hat eindeutig slawische Wurzeln wie im Tschechischen *sladká kukuřice* (*süßer Mais*) oder im Russischen *Куркуруза* (*Kukuruzza*) oder auch indirekt über das Ungarische *kukorica*, möglicherweise auch von den Kuruzen (aufständischen ungarischen Bauern). Weitere Trivialnamen sind: "Welschkorn" und "Türkischer Weizen", in Tirol oft auch kurz "[der] **Türken**", da der Mais über die Türkei nach Österreich gelangt ist. Analog heißt der Mais auch auf Italienisch "granoturco". In der Steiermark wird mit "Woaz", je nach Region, entweder Weizen oder Mais (*Türk Woaz*) bezeichnet.

## Anbau und Sorten

Mais ist ein Sommergetreide – die Aussaat erfolgt von Mitte April bis Anfang Mai, wenn der Boden warm genug und die Gefahr von Spätfrösten nicht mehr gegeben ist. Mais braucht zur Keimung und zum Feldaufgang eine gewisse Temperatur (Keimung 7–9 °C) und eine gewisse Wärmesumme für den Feldaufgang. Bei niedrigen Temperaturen wird der Keimling von Bodenpilzen befallen und verliert seine Triebkraft; lückige Maisbestände mit geringeren Erträgen sind die Folge. Andererseits führt späte Saat ebenfalls zu Ertragsminderungen, weil die Sonnenenergie des Sommers dann nicht voll ausgenutzt wird. Als Faustregel gilt in Deutschland eine Aussaat nach dem 10. Mai resultiert in 1 % Minderertrag pro Tag Verspätung. Mais wird in Reihen als Einzelkornsaat mit mechanischen oder pneumatischen Einzelkornsämaschinen gesät (österreichisch: gesetzt); die Bestandsdichte ist sorten- und regionsabhängig und beträgt im Durchschnitt etwa 10 (7,5–11) Pflanzen/m<sup>2</sup>. Der Reihenabstand beträgt etwa 75 cm, der Säabstand etwa 10 bis 15 cm.

Die Ernte des Silomais findet in Deutschland Mitte September bis Anfang Oktober statt (der optimale Erntetermin liegt bei etwa 30 % Trockensubstanz der Gesamtpflanze), Körnermais wird in klimatisch bevorzugten Gebieten ab Ende September bis Ende November geerntet. Trotzdem liegt der Feuchtigkeitsgehalt der Körner mit etwa 25–35 % noch so hoch, dass eine entsprechende Trocknung notwendig ist. Haltbar sind Einzelkörner mit max. 16 % Feuchtigkeit; werden ganze Kolben in durchlüfteten Drahtgittersilos eingelagert, so darf die Feuchtigkeit etwas höher sein. Der Hektarertrag von Körnermais liegt bei der Ernte zwischen 80 und 120 dt/ha.



Junge Maispflanzen



Maisfeld



Maiskolben

Bis Mitte des 20. Jahrhunderts waren offen abblühende Maissorten im Anbau, wie zum Beispiel der gelbe badische Landmais. Durch die Züchtung von Mais-Hybriden wurde der Maisanbau ab ca. 1960 auch nördlich des 50. Breitengrads (Mainz) sinnvoll, die Erträge sind 2–3 mal höher als bei den alten Landsorten, die keine Bedeutung mehr haben. Maishybride bringen dank Heterosis-Effekt sehr hohe und sichere Erträge, ein Nachbau der geernteten Körner führt jedoch zu einem geringeren Ertrag; der entsprechende Ertragsverlust ist größer als die Kosten, die für neues Saatgut entstehen. Deshalb muss das Saatgut jährlich zugekauft werden, was von einigen NGOs vor allem im Hinblick auf Entwicklungsländer beklagt wird.



Durch Züchtung entstandene Maissorten

Der Verkehr mit Mais-Saatgut ist im Sortenschutzgesetz und Saatgutverkehrsrecht geregelt, deren Einhaltung durch das Bundessortenamt geregelt und durch Länderbehörden überwacht wird. Die zugelassenen Sorten werden in der Europäischen Sortenliste periodisch veröffentlicht.

Die weltweit im Anbau befindlichen Sorten werden mit einer dreistelligen Reifezahl von 100–900 beschrieben. Von den neun Reifegruppen reifen die 100–300er Sorten mit weniger Sonnenenergie in Norddeutschland als Silomais und in Süddeutschland als Körnermais ab. Das hohe Ertragspotential der Reifegruppen höher 400 setzt hohe Sonnenenergie voraus, die nur in Regionen bis zum 40. Breitengrad der Erde erreicht wird, z.B. im mittleren Westen der USA oder südlich von Rom.

### Kornformen

Mais wird teilweise über die Form, die Zusammensetzung und die Verwendung der Maiskörner definiert. Die Form des Korns wird durch das Nährstoffgewebe bestimmt. Folgende Klassifizierung ist üblich ((engl. Bezeichnungen in Klammern):

1. Hartmais (flint = Kiesel, Feuerstein, flach, rund)
2. Zahnmais (dent). Die meisten Sorten im europäischen Anbau sind Zahnmais/Hartmaismischtypen.
3. Puffmais (popcorn)
4. Zuckermais (sweet corn)
5. Stärkemais (flour corn)
6. Wachsmais (waxy corn)
7. Spelzmais (pod corn)

## Krankheiten und Schädlinge

Zu den Krankheiten von Kulturmais gehören Auflaufkrankheiten, Keimlings-, Wurzel-, Stängel- und Kolbenfäule, Maisbeulenbrand (*Ustilago maydis*), Maisrost (*Puccinia sorghi*, *P. maydis*), Blattfleckenkrankheit (*Helminthosporium sp.*).

Als tierische Schädlinge von Kulturmais gelten Ackerschnecken, (*Deroceras sp.*), Drahtwurm (*Agriotes lineatus*), Fritfliege (*Oscinella frit*), Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*), Westlicher Maiswurzelbohrer (*Diabrotica vigifera*). Der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) bohrt sich in das Innere des Stängels oder des Kolbens und vernichtet dadurch große Teile der Ernte.



Vom Maisbeulenbrand befallener  
Maiskolben

## Nützlinge

Das Bakterium *Paenibacillus brasilensis* lebt oft in Assoziation mit Mais. Er ist wie andere Arten von *Paenibacillus* in der Lage per Stickstofffixierung aus der Luft Stickstoff zu binden. Diese Fixierung von Stickstoff ist auch als Diazotrophie bekannt und für die Pflanze von Vorteil, da ihr damit zusätzlicher Stickstoff in Form von Ammoniak und höherwertigen Verbindungen zu kommt, den sie alleine überhaupt nicht aus der Luft und nur in der lokal typischen Menge aus dem Boden hätte entnehmen können.

## Gentechnisch modifizierte Sorten

*Hauptartikel: Transgener Mais*

Seit Ende der 1990er-Jahre werden mittels Gentechnik hergestellte schädlingsresistente und herbizid-tolerante Maissorten angebaut. Transgener Mais wurde 2008 bereits in 17 Ländern angebaut. Die wichtigsten Anbauländer sind die USA, Brasilien, Argentinien und Kanada. So wird in den USA auf 85% der Maisfläche transgener Mais angebaut. Der Anbau von transgenem Mais ist in den untersuchten Anbauländern kostensparender und/oder ertragreicher, sowie umweltschonender. Kritiker weisen auf mögliche Gefährdungen für Nichtzielorganismen und die Biodiversität von wilden Verwandten des Mais in Mexiko hin.

In der EU muss gentechnisch veränderter Mais in Lebensmitteln kenntlich gemacht werden.

## Wirtschaftliche Bedeutung

Heute wird Mais weltweit angebaut, und ist in vielen Ländern ein Grundnahrungsmittel in Form von Maismehl und darauf basierenden Nahrungsmitteln, Körnermais und Maiskeimöl. In Europa und Nordamerika ist er ein wichtiges Viehfutter, da die Silierung der Maispflanzen die Vorratshaltung für den Viehwirtschaftsbetrieb möglich macht. Zudem ist er als Stärkelieferant auch ein wichtiger Rohstoff zur Herstellung von Bioethanol (vor allem in den USA) und anderen Fermentationsprodukten, Biokunststoffen (vor allem Polylactide) und anderen Anwendungen. In der Nutzung gibt es sehr große Unterschiede zwischen den Entwicklungsländern und den Industrieländern. In den Entwicklungsländern wird der Mais überwiegend für die menschliche Ernährung eingesetzt (Tortillas, Maisbrei) und in den Industrieländern wird ein großer Teil des Mais als Nutztierfutter und in jüngerer Zeit als Energierohstoff (Bioethanol, Biogas) verwendet.

## Die größten Maisproduzenten

2007 wurden laut Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation FAO weltweit 784,8 Mio. t Mais geerntet. Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die 15 größten Produzenten von Mais weltweit, diese produzierten ca. 87 % der Gesamtmenge.<sup>[6]</sup>

### Die größten Maisproduzenten weltweit (2007)

Rang	Land	Menge (kt)	Rang	Land	Menge (kt)
1	 Vereinigte Staaten	332.092	9	 Kanada	10.555
2	 China	151.970	10	 Italien	9.891
3	 Brasilien	51.590	11	 Ungarn	8.400
4	 Mexiko	22.500	12	 Nigeria	7.800
5	 Argentinien	21.755	13	 Südafrika	7.339
6	 Indien	16.780	14		7.045
7	 Frankreich	13.107	15		6.730
8	 Indonesien	12.382		Welt	784.787

Quelle: FAO, Faostat, 2007<sup>[6]</sup>

*Siehe auch:* Die größten Getreideproduzenten, Die größten Weizenproduzenten, Die größten Roggenproduzenten, Die größten Gersteproduzenten, Die größten Reisproduzenten, Die größten Haferproduzenten

## Maisproduktion in Deutschland

Laut Statistischem Bundesamt wurden 2008 in der BRD insgesamt 5.1 Mio. Tonnen Körnermais (einschließlich Corn-Cob-Mix) auf 520.000 ha angebaut (Ertrag: 99,1 dt/ha). 1.567.000 ha wurden zur Silomaisерzeugung (einschließlich Lieschkolben) genutzt,<sup>[7]</sup>.

Für die Biogasproduktion wurden in 2007 239.000 ha Mais angebaut. Das entspricht 12,8 % der gesamten Maisanbaufläche in 2007 und eine Zunahme des Energiemaisanbaus um 48 % gegenüber 2006. Für Biogasanlagen wird hauptsächlich Silomais (Energiemais) angebaut, Körnermais spielt hier eine untergeordnete Rolle<sup>[8]</sup>.

## Nutzung

### Ernährung und Futtermittel

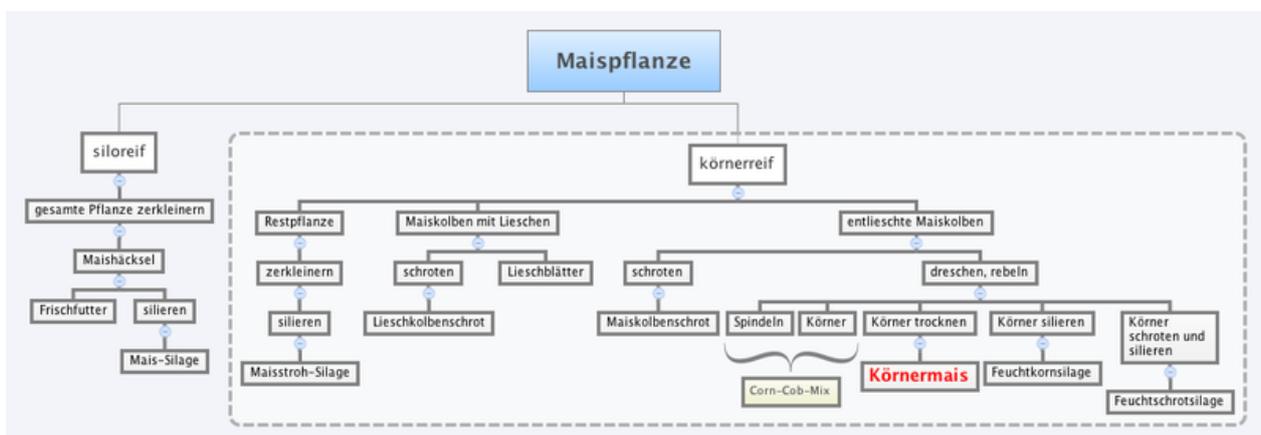
Der größte Teil des in Deutschland angebauten Mais werden für Futterzwecke (Silomais, Körnermais) verwendet. Ein kleinerer, aber stark wachsender Anteil wird zur Energiegewinnung in Biogasanlagen eingesetzt (Energimais). Der Rest wird in Form von Körnermais als Lebensmittel verwendet und dazu zum Großteil in der Lebensmittelindustrie verarbeitet. Die Verarbeitung dieser Körner erfolgt dann entweder in der Trockenmüllerei (Mehle und Grieße) oder in der Nassmüllerei (Stärke) zu Produkten wie Maisstärke (Nebenprodukt Corngluten; proteinreiches Tierfutter) und Maismehl bzw. Maisgrieß (Nebenprodukte Maiskeime und Schalen). Aus diesen Produkten erfolgt die



Verschiedene Maisprodukte: Maisschrot, Maisgrieß, Maisdunst und Maismehl (von links)

Weiterverarbeitung zu Glukosesirup, Maiskeimöl, Cornflakes, Popcorn, Polenta, Erdnussflips, Tortillas u. a. m. Neben dem in Europa vielfach angebauten gelben Mais gibt es auch rote und blaue Sorten, die interessante Farbeffekte in Nahrungsmitteln geben können.

In Ländern, in denen eher selten Mais gegessen wird, wird der Mais einfach zermahlen. Dort, wo Mais ein tägliches Grundnahrungsmittel ist, werden die Körner viele Stunden mit alkalischen Stoffen (wie gebranntem Kalk oder Holzasche) gekocht, enthülst, nass zu einem Teig vermahlen, dann entweder unmittelbar zum Endprodukt weiterverarbeitet oder wieder getrocknet und als Mehl gehandelt; nur so sind einige lebenswichtige Eiweißstoffe (Essentielle Aminosäuren) des Maises für die menschliche Verdauung erreichbar, zudem verbessern sich Geschmack und Backeigenschaften.<sup>[9]</sup> Das so gewonnene Mehl wird in den Südstaaten der USA *hominy grits* und in Mexiko *masa harina* genannt. In Westafrika, wo Mais erst in den letzten Jahrhunderten als Grundnahrungsmittel populär wurde, traten wegen der Unkenntnis dieser Methode häufig Mangelerscheinungen (Pellagra) auf. Ergänzend werden in den meisten Ländern mit hohem Maiskonsum auch viele Hülsenfrüchte gegessen, die ebenfalls die Eiweißarmut des Maises ausgleichen helfen.



Ein weiteres wichtiges Produkt stellt das aus den Maiskeimlingen gewonnene Maiskeimöl dar, das vor allem als Salatöl verwendet wird.

## Nachwachsender Rohstoff

→ *Hauptartikel: Energiemais, Stärke als nachwachsender Rohstoff*

Neben den vorgenannten Anwendungsgebieten in der Ernährung und als Futtermittel wird Mais auch in vielfältiger Weise als nachwachsender Rohstoff verwendet. Dabei gibt es sowohl energetische wie auch stoffliche Verwendungen, die vor allem auf der Maisstärke basieren. Von zentraler Bedeutung ist die Nutzung als Energiepflanze zur Herstellung von Biokraftstoffen (Bioethanol, vor allem in Nordamerika) und als Energiemais zur Herstellung von Maissilage als Biogassubstrat. Als Energiemais wird dabei Mais bezeichnet, der zur Energieerzeugung in Biogasanlagen genutzt wird; Durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wurde die Biogaserzeugung gefördert und damit der Maisanbau ausgeweitet.



Silageproduktion

In der stofflichen Nutzung spielt Maisstärke als Ausgangsprodukt für Biokunststoffe, vor allem zur fermentativen Produktion von Milchsäure als Ausgangsprodukt von Polylactiden (PLA) sowie für extrudierte Maisstärke (bsp. für Essbares Geschirr und als umweltfreundliches Füllmaterial in Verpackungen). Wie Weizenstärke und Melasse kann Maistärke auch als Fermentationsrohstoff für eine Reihe weiterer Feinchemikalien, vor allem Antibiotika und Aminosäuren genutzt werden. Die als Nebenprodukt anfallenden Kolben können zudem als Rohstoff für die Gewinnung von Furfural genutzt werden.

Auf der Basis von Maisspindelgranulat wird Ölbindemittel hergestellt. Die Kolbenspindeln spezieller harter Maissorten werden geschnitzt in den USA als einfache Tabakspfeifen ("Missouri-Meerscham") benutzt und sind auch in Europa im Tabakfachhandel erhältlich.

## Literatur

- *Mais. Geschichte und Nutzung einer Kulturpflanze*, hrg. von Daniela Ingruber und Martina Kaller-Dietrich, Frankfurt am Main: Brandes & Apsel, 2001.

## Weblinks

- Mais- Ernährung und Kolonialismus in Lateinamerika <sup>[10]</sup>
- Animation: Das bunte Leben im Maisfeld. Auswirkungen von gentechnisch verändertem Mais <sup>[11]</sup>
- Wie der Mais nach Europa kam <sup>[12]</sup>, Bundesministerium für Bildung und Forschung
- Deutsches Maiskomitee e.V. <sup>[13]</sup>
- Transport-Information-Service: Fachinformationen zum Transport von Mais <sup>[14]</sup>
- *Mais.* <sup>[15]</sup> In: *Historisches Lexikon der Schweiz.*

## Referenzen

- [1] Doebley, J. (2004). "The genetics of maize evolution." *Annual Review of Genetics* 38: 37-59.
- [2] Grau/Kremer/Möselers/Rambold/Triebel: *Gräser* (Steinbachs Naturführer). Mosaik-Verlag, München 1990. ISBN 3-570-03695-2
- [3] H. Haeupler & T. Muer: *Bildatlas der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands*. Ulmer, Stuttgart 2000. ISBN 3-8001-3364-4
- [4] E. Oberdorfer: *Pflanzensoziologische Exkursionsflora*. Ulmer, Stuttgart 1990 (6. Aufl.). ISBN 3-8001-3454-3
- [5] Wild grass became maize crop more than 8,700 years ago. 23. März 2009. ([http://www.eurekalert.org/pub\\_releases/2009-03/nsf-wgb032309.php](http://www.eurekalert.org/pub_releases/2009-03/nsf-wgb032309.php))
- [6] FAO, Faostat (<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>), Statistik der FAO 2007
- [7] <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/LandForstwirtschaft/Ernte/Tabellen/Content75/FeldfruechteAnbauflaechenErntemengen.psml> Seite des Bundesamts
- [8] [http://www.maiskomitee.de/fb\\_fakten/03\\_02\\_03\\_08.htm](http://www.maiskomitee.de/fb_fakten/03_02_03_08.htm)
- [9] Mexiko-Lexikon (<http://www.mexiko-lexikon.de/mexiko/index.php?title=Nixtamalisation>)
- [10] <http://www.lateinamerika-studien.at/content/geschichtepolitik/mais/mais-sitemap.html>
- [11] <http://www.maissfeld.info/>
- [12] <http://www.biosicherheit.de/de/mais/121.doku.html>
- [13] <http://www.maiskomitee.de/>
- [14] <http://www.tis-gdv.de/tis/ware/getreide/mais/mais.htm>
- [15] <http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D27664.php>

## Maissilage

---

Die **Maissilage** ist eine Silage aus der ganzen Maispflanze, die als Grundfutter für Wiederkäuer und als Substrat für die Biogaserzeugung eingesetzt wird. Als Corn-Cob-Mix (CCM), ein Futtermittel, das nur den Kolben der Pflanze enthält, wird Maissilage auch in der Schweinemast verwendet

### Erzeugung

Der oberirdische Teil der Maispflanze wird mit Ende der Teigreife oder Beginn der Mehltreife (abhängig von Witterung, Maissorte, Aussaatzeitpunkt und Standort in Deutschland meist im September) geerntet und in ca. 5-50 mm große Stücke zerkleinert. Wird der Mais mit mehr als 30 % Trockenmasse gehäckselt, so wird meist zusätzlich ein Corn Cracker (Kornzertrümmerer) für das Zerquetschen oder Zerreiben der dann bereits relativ harten Maiskörner in der Erntemaschine (Maishäcksler) zugeschaltet. Danach wird das Erntegut in Fahrsilos verdichtet, um überschüssige Luft herauszupressen und so den aeroben Abbau durch Pilze und Bakterien zu verhindern.

Die Pflanzenmasse wird unter einer Folie luftdicht abgedeckt und bis zur Verwendung gelagert. Durch den in der Masse enthaltene Restzucker der Maispflanzen und den Sauerstoffmangel beginnt eine Milchsäuregärung, die die Silage ansäuert und dadurch haltbar macht. Ist die Silage zu nass und liegt zu viel Restsauerstoff vor, kann es auch zu einer unerwünschten Essigsäuregärung kommen. Die Silage wird dann zu sauer und ist wegen der enthaltenen Essigsäure (Acetat) für das Vieh nicht mehr schmackhaft.

Die Ernte und Konservierung von Energiemais zur Verwendung in Biogasanlagen ist weitgehend identisch mit dem oben für Futtersilage beschriebenen Verfahren. Das Erntegut wird jedoch meist stärker zerkleinert, um die Abbaubarkeit zu erhöhen. Gelegentlich werden gezielt heterofermentative Milchsäurebakterien zur gehäckselten Pflanzenmasse gegeben, um den Anteil an Acetat in der Silage zu erhöhen. Dieses soll in der Biogasanlage besser umsetzbar sein als die sonst hauptsächlich gebildete Milchsäure (Lactat).

## Vergleich von Biogasrohstoffen

Material	Biogasertrag <sup>[1]</sup> (FM = Frischmasse)	Methangehalt <sup>[1]</sup>
Maissilage	202 m <sup>3</sup> /t FM	52 %
Grassilage	172 m <sup>3</sup> /t FM	54 %
Roggen-GPS	163 m <sup>3</sup> /t FM	52 %
Futtermübe	111 m <sup>3</sup> /t FM	51 %
Bioabfall	100 m <sup>3</sup> /t FM	61 %
Hühnermist	80 m <sup>3</sup> /t FM	60%
Zuckerrübenschnitzel	67 m <sup>3</sup> /t FM	72 %
Schweinemist	60 m <sup>3</sup> /t FM	60 %
Rindermist	45 m <sup>3</sup> /t FM	60 %
Getreideschlempe	40 m <sup>3</sup> /t FM	61 %
Schweinegülle	28 m <sup>3</sup> /t FM	65 %
Rindergülle	25 m <sup>3</sup> /t FM	60 %

## Eigenschaften

Maissilage enthält vor allem Energie in Form von Stärke aus den Maiskörnern. Zudem ist sie wegen der Verwendung der gesamten, relativ großwüchsigen Pflanze auch reich an Rohfaser. Hinzu kommt, dass die Maisstärke bei einer Ernte im mehltreifen Zustand sehr langkettig ist, so dass der Aufschluss anders als bei Getreideschrot nicht bereits im Pansen, sondern erst im Darm von Wiederkäuern stattfindet. Da Wiederkäuer ihre Nahrung nur grob zerkleinern, sind Kühe nicht in der Lage, unzerkleinerte Maiskörner aufzuschließen. Diese werden meist unverdaut wieder ausgeschieden. Eine genaue Bestimmung der Inhaltsstoffe kann durch die Weender Futtermittelanalyse erfolgen. Dabei wird zwischen Rohfaser, Rohfett, Rohprotein, stickstofffreien Extraktstoffen und Rohasche unterschieden.

In der Biogasanlage ergibt Maissilage als Substrat mit 202 m<sup>3</sup> einen sehr hohen Biogasertrag pro Tonne Frischmasse. Der Methangehalt von Biogas aus Maissilage ist allerdings mit 52% eher gering.

## Verwendung

Maissilage wird in der Landwirtschaft vorwiegend an Rinder verfüttert, da sie neben den nahrhaften, leicht zugänglichen Bestandteilen der Maiskörner auch die schwer zugänglichen Faserstoffe aus der Maispflanze teilweise umsetzen können.

In der Schweinehaltung hat etwa seit 1980 der Mais in Form von CCM (Corn-Cob-Mix) Einzug gehalten. Dieses ist eine Silage aus den Maiskolben. Der Schneidvorsatz des Maishäckslers zur Ernte der gesamten Pflanze wird dazu durch einen sogenannten Pflückvorsatz ersetzt. Mit diesem werden nur die Kolben direkt oder nach einem Zerkleinerungsschritt in den Speicher befördert und die Restpflanze gehäckselt. Die Kolben bzw. Kolbenbestandteile (Spindel, Körner und Lieschblätter) werden gemahlen und siliert. Durch entsprechende Umrüstung können auch Mährescher, die für die Getreide- und Körnermaiserte eingesetzt werden, für die CCM-Ernte verwendet werden.

Maissilage ist der am häufigsten genutzte Rohstoff zur Biogasherstellung: Mehr als 90 Prozent der Biogasanlagen in Deutschland, die nachwachsende Rohstoffe einsetzen, nutzen Maissilage als Gärsubstrat<sup>[2]</sup>. An der Masse der zur Biogaserzeugung eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe beträgt der Maisanteil 79 Prozent<sup>[3]</sup>. Gründe dafür sind beispielsweise die hohen Erträge an Trockenmasse pro Hektar, auch auf schlechteren Böden, die Verfügbarkeit

bewährter Anbau- und Erntetechnik und der hohe Gasertrag in der Biogasanlage.

## Referenzen

- [1] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): *Biogas Basisdaten Deutschland Stand: Januar 2008*.
- [2] P. Weiland: Technische Anforderungen an die Vergärung von Energiepflanzen. (<http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/dechema2006/Praesentationen/Weiland.pdf>) (pdf) Präsentation auf der DECHEMA-Fachtagung Bioenergie, Güstrow, 8.-9.3.2009.
- [3] Institut für Energetik und Umwelt, 2008: Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Stromerzeugung aus Biomasse. Endbericht im Auftrag des BMU, S. 54. ([http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/endbericht\\_eeg\\_monitoring.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/endbericht_eeg_monitoring.pdf))

## Maisstroh

Als **Maisstroh** werden die nach der Ernte des Mais (*Zea mays*) auf dem Feld verbleibenden Maisstengel bezeichnet, die als organische Aufkommen in der Landwirtschaft als Nebenprodukte bzw. Erntereste als halmgutartige Biomasse anfallen. Maisstroh fällt nur nach der Ernte von Körnermais sowie von Korn-Spindel-Gemischen (Corn-Cob-Mix, CCM) an, während bei der Nutzung von Energiemais für die Herstellung der Maissilage die gesamte Pflanze genutzt wird.

### Aufkommen und Bergung

Das Korn-Stroh-Verhältnis von Körnermais beträgt etwa 1:1,3, sodass bei einem mittleren Kornertrag von etwa 6,8 t pro ha und Jahr theoretisch 9 t Ernterückstände in Form von Maisstroh an dem Feld zurückbleiben. Aufgrund der Erntetechnik liegt die tatsächliche Rückstandsmenge wahrscheinlich deutlich tiefer. Wie bei anderen Strohfraktionen, vor allem dem Getreidestroh verbleibt auch beim Mais ein großer Teil der anfallenden Strohmenge geheckelt auf dem Acker als humusbildendes Substrat.



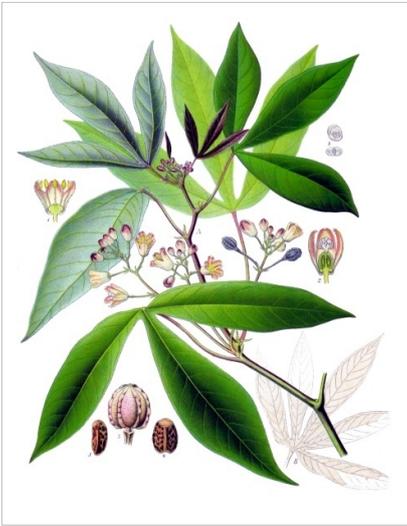
Maisstrohbündel in Minnesota

Eine stoffliche oder energetische Nutzung von Maisstroh erfolgt selten. Dies liegt zum einen an der nur begrenzt möglichen Bergung der Maisstrohaufkommen sowie an dem hohen Wassergehalt der geernteten Biomasse, die zur Aufbereitung eine aufwändige Trocknung der dicken Stängel erforderlich machen würde. In einigen Regionen wird Maisstroh nach der Ernte in Bündeln auf dem Feld getrocknet und kann danach aufgesammelt und genutzt werden. In seinen Brennstoffeigenschaften weicht trockenes Maisstroh allerdings kaum von Getreidestroh ab.

### Literatur

- *Halmgutartige Biomasse: Maisstroh* In: Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer (Hrsg.): *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Springer Verlag, Berlin und Heidelberg 2009; S. 153. ISBN 978-3-540-85094-6.

# Maniok

Maniok

Maniok ( <i>Manihot esculenta</i> ), Illustration aus „Köhler's Medizinal-Pflanzen“
Systematik
<p style="text-align: center;">Rosiden</p> <p style="text-align: center;">Eurosiden I</p> <p><i>Ordnung:</i> Malpighienartige (Malpighiales)</p> <p><i>Familie:</i> Wolfsmilchgewächse (Euphorbiaceae)</p> <p><i>Gattung:</i> <i>Manihot</i></p> <p><i>Art:</i> Maniok</p>
Wissenschaftlicher Name
<i>Manihot esculenta</i>
Crantz

Der **Maniok** (*Manihot esculenta*) ist eine Pflanzenart aus der Gattung *Manihot* in der Familie der Wolfsmilchgewächse (Euphorbiaceae). Andere Namen für diese Nutzpflanze und ihr landwirtschaftliches Produkt (die geernteten Wurzelknollen) sind **Mandioka**, **Kassava**, **Kassave** oder in Lateinamerika **Yuca**. Der Anbau der Pflanze ist wegen ihrer stärkehaltigen Wurzelknollen weit verbreitet. Sie stammt ursprünglich aus Südamerika und wurde schon vor der Entdeckung Amerikas durch die Europäer von den Ureinwohnern zur Ernährung verwendet. Mittlerweile wird sie weltweit in vielen Teilen der Tropen und Subtropen angebaut. Auch andere Arten aus der Gattung *Manihot* werden als Stärkelieferant verwendet.

## Beschreibung

Maniokpflanzen sind Sträucher mit einer Wuchshöhe von 1,5 bis 5 Meter. Alle Pflanzenteile führen Milchsaft. Sämlinge bilden zunächst eine Pfahlwurzel. Die faserigen Seitenwurzeln verdicken sich und bilden große, spindelförmige Wurzelknollen. Die Stängel zeigen je nach Sorte unterschiedliche Wachstumsmuster: mit starker Verzweigung von der Basis oder mit einem durchgehenden, wenig verzweigten Leittrieb. Die Blätter sind handförmig in drei bis neun Segmente geteilt; jedes misst 8 bis 18 Zentimeter in der Länge und 1,5 bis 4 Zentimeter in der Breite. Die Blätter stehen an 6 bis 35 Zentimeter langen Blattstielen. Am Grund des Blattstieles befinden sich zwei dreieckige bis lanzettliche Nebenblätter. Diese werden 5 bis 7 Millimeter lang, sie sind ganzrandig oder sind in wenige stachelspitzige Segmente geteilt. Die Blätter werden bei Trockenperioden abgeworfen.



Kleine Maniokpflanze

Die rispigen, 5 bis 8 Zentimeter großen Blütenstände können endständig sein oder in den Blattachseln stehen. Es gibt männliche und weibliche Blüten, die beide auf einer Pflanze vorkommen (Monözie). Die männlichen Blüten bestehen aus fünf rötlichen Sepalen, die bis zur Hälfte ihrer Länge oder weniger miteinander verwachsen sind. Auf der Innenseite sind sie behaart. Die weiblichen Blüten besitzen ebenfalls fünf miteinander verwachsene Blütenblätter, diese sind mit 1 Zentimeter Länge etwas größer als die der männlichen Blüten. Die Kapsel Frucht ist oval, 1,5 bis 1,8 Zentimeter lang bei 1 bis 1,5 Zentimeter Breite. Sie weist sechs längs verlaufende Rippen auf und enthält drei glatte, leicht dreieckige, etwa 1 Zentimeter große Samen.<sup>[1] [2]</sup>

## Ökologie

Die weiblichen Blüten reifen vor den männlichen (Protogynie), so dass eine Selbstbestäubung vermieden wird. Bei künstlich herbeigeführter Selbstbestäubung kommt es zu Inzuchtdepression. Die Blüten enthalten Nektar, der Insekten als Bestäuber anlockt. Die Früchte platzen bei der Reife auf und schleudern die Samen heraus.

Maniokpflanzen bevorzugen sandige oder sandig-lehmige Böden. Das Wachstum ist auf leicht saurem Substrat am besten, es wird jedoch ein weiterer Bereich von pH-Wert 4 bis 8 toleriert. Maniok kommt gut mit typischen tropischen Böden zurecht, die einen hohen Gehalt an Aluminium und Mangan und wenig verfügbare Nährstoffe aufweisen. Trockenzeiten überstehen sie gut, indem sie das Laub abwerfen, nach dem Einsetzen von Regenfällen treiben sie schnell wieder aus. Maniok verlangt einen sonnigen Standort, Temperaturen unter 10 °C werden nicht vertragen.<sup>[2]</sup>

## Verbreitung

Maniok ist nur aus Kultur bekannt, er ist wahrscheinlich als allotetraploide Pflanze aus südamerikanischen *Manihot*-Arten entstanden. Als Herkunftsregion wird die nördliche Amazonas-Region in Brasilien angegeben. Ein weiteres Zentrum der Sortenvielfalt ist das südwestliche Mexiko. Die Benutzung der Knollen als Nahrungsmittel geht auf die Ureinwohner Südamerikas zurück, die die Pflanzen schon früh im tropischen Amerika verbreiteten.

Die Maniokpflanze wurde im späten 16. Jahrhundert in Afrika eingeführt. Nach Indien kamen erste Pflanzen zu Anfang des 19. Jahrhunderts. Heute wird Maniok verbreitet in den Tropen angebaut, vor allem in Regionen mit einer trockenen Jahreszeit.<sup>[2]</sup>

## Wirtschaftliche Bedeutung

Im Jahr 2008 wurden weltweit rund 233 Mio. t Cassava (Maniok) geerntet. Die 15 größten Produzentenländer ernteten zusammen rund 202 Mio. t, was ca. 86,3 % der Welternte ausmacht.<sup>[3]</sup>

### Die größten Maniokproduzenten

Rang	Land	Menge in t
1	 Niger	44.582.000
2	 Thailand	27.565.636
3	 Brasilien	25.877.918
4	 Indonesien	21.593.052
5	 Demokratische Republik Kongo	15.019.430
6	 Ghana	9.650.000*
7	 Vietnam	9.395.800
8	 Indien	9.053.900
9	 Angola	8.840.000*
10	 Tansania	6.600.000*
11	 Uganda	5.072.000
12	 Mosambik	5.038.623*
13	 Paraguay	4.800.000*
14	 China	4.361.573*
15	 Kambodscha	3.676.232
	Welt	232.950.180

\*) Schätzwert FAO

## Verwendung

### Nahrungsmittel

Verwendet werden hauptsächlich die Wurzelknollen als Nahrungsmittel, gelegentlich auch die Blätter als Gemüse. Die 15 bis 100 Zentimeter langen und 3 bis 15 Zentimeter dicken Knollen können ein Gewicht bis zu 15 Kilogramm erreichen. Sie werden von einer verkorkten, meist rötlich braunen äußeren Schicht umgeben, innen sind sie meist weiß, gelegentlich auch gelb oder rötlich.<sup>[2]</sup>

### Inhaltsstoffe

100 g Maniok (essbarer Anteil) enthalten <sup>[2]</sup>		
Bestandteil	Menge in der Knolle	Menge im Blatt
Wasser	60 g	84,2 g
Proteine	1,2 g	7,0 g
Kohlenhydrate	35 g	18,3 g
Fette	0,3 g	1,0 g
Ballaststoffe	1,4 g	3,2 g
Phosphor	75 mg	116 mg
Kalzium	35 mg	297 mg
Eisen	0,7 mg	7,8 mg
Vitamin A	Spuren	12450 IE
Vitamin C	36 mg	316 mg
Vitamin B1	0,05 mg	0,26 mg
Vitamin B2	0,03 mg	0,5 mg
Niacin	0,7 mg	3 mg

Im rohen Zustand sind die Wurzelknollen giftig, da sie Glucoside, hauptsächlich Linamarin, enthalten. Dieses cyanogene Glykosid wird in der Vakuole der Pflanzenzelle gespeichert und hat keine toxische Wirkung. Wird die Pflanze jedoch verletzt (z. B. durch Fraßfeinde), gelangt die Substanz in Kontakt mit dem Enzym Linamarase und D-Glucose wird abgespalten. Das nun entstandene Acetoncyanhydrin kann spontan oder katalysiert durch das Enzym Hydroxynitril-Lyase zu Aceton und Blausäure zerfallen.<sup>[4]</sup> Der Gehalt an giftigen Stoffen ist stark sortenabhängig, sogenannte „süße“ Sorten enthalten nur wenig Glucosid.

Vergiftungserscheinungen sind Ataxie und Amblyopie. Blausäure verflüchtigt sich zwar bei Zimmertemperatur, um jedoch ein vollständiges Ausgasen zu bewirken, muss die Knolle gründlich zerkleinert werden. Methoden, die Pflanzen zu entgiften, bestehen darin, die Pflanze zu Mehl zu mahlen und dann mit kochendem Wasser auszuwaschen, im Fermentieren und im Erhitzen.<sup>[2]</sup> Eine alternative Methode wurde von Howard Bradbury u. a. entwickelt. Die Pflanze wird zu Mehl gemahlen und mit Wasser vermischt. Anschließend wird das Gemisch im Schatten dünn (ca. 1 cm) ausgebreitet. Dort lässt man es für fünf bis sechs Stunden ruhen. So kann fast die gesamte Blausäure ausgasen.<sup>[5]</sup>

Da Maniok einen geringen Gehalt an Protein (ca. 2–3 % der Trockenmasse) und nur sehr wenige essenzielle Aminosäuren (Gefahr des Kwashiorkor-Syndroms) hat, empfiehlt sich bei stark maniokbasierter Ernährung z. B. der zusätzliche Verzehr der proteinreichen (ca. 30% der Trockenmasse) Maniok-Blätter, um Mangelerscheinungen entgegenzuwirken.<sup>[2]</sup>

100 g Maniok-Knollen haben einen Brennwert von 620 kJ (148 kCal), die Blätter entsprechend 381 kJ (91 kCal).<sup>[2]</sup>

## Zubereitung

Traditionell werden die Knollen geschält, zerrieben oder geraspelt und dann eingeweicht. Nach einigen Tagen presst man die Masse aus, wäscht sie durch den sogenannten Tipití und röstet sie in Öfen. Die in der Presse zurückbleibende Masse liefert das Maniok- oder Mandiokamehl (*farinha*).

Maniokmehl kann ähnlich wie Weizenmehl verwendet werden. Menschen mit Allergien gegen Weizen und andere Getreide verwenden deshalb häufig Maniokmehl als Ersatz.

Ein Nebenprodukt der Herstellung von Maniokmehl ist Stärke (*Polvilho*), die nach dem Rösten *Tapioka* genannt wird.



Die Wurzelknollen nach der Ernte

In anderen Regionen erhält man nach modifiziertem Verfahren etwas andere Produkte; auch bereitet man aus dem Mehl Kuchen (zum Beispiel die *Beijús*), die unserem Brot mehr oder weniger ähnlich sind, und auf den Antillen mischt man das Mandiokamehl mit Weizenmehl und backt daraus Brot (*Conaque*).

Die frische Wurzel benutzt man als Heilmittel bei Geschwüren. Die Samen einiger Sorten wirken abführend und brechreizerregend.

Produkte, die in Brasilien aus Maniok hergestellt werden, sind u. a. das Gebäck *Beijú*, die Beilage *Farinha Farofa* und das Getränk *Tarubá*. In Sudan werden Würfel der Knolle frittiert. Ein vor allem in Peru äußerst beliebtes Gericht ist *Yuca á la Huancaína*; *Yuquitas* gibt es dort bei allen großen Fastfood-Ketten als Snack.

In Afrika (vor allem Kamerun, Gabun und Kongo) wird das Mehl für eine Art Kloßteig (*Fufu*) verwendet. Die Knolle wird gerne im Dampf oder in Wasser gekocht oder auch frittiert. Sehr beliebt (und für europäische Gaumen sehr gewöhnungsbedürftig) sind in Palmblätter eingewickelte Maniokstangen, die *Bibolo* genannt werden.

## Futtermittel

Maniok bzw. Tapioka wird vermehrt auch als Futtermittelzusatz für die Fleischproduktion in den Industrienationen verwendet, da es ein billiger Rohstoff ist. Dies führt in den Erzeugerländern zu exportorientierten Monokulturen und kann damit durch Flächen- und Nutzungskonkurrenz die Ernährung der Menschen gefährden. Etwa 25% der weltweiten Maniokproduktion werden heute für Futtermittel verwendet. In Afrika und Asien beträgt dieser Anteil 17% bzw. 24 %, in Lateinamerika 47%.<sup>[6]</sup> Der Anteil von Maniok in der Mischfutterzusammensetzung der EU-27 betrug 2007 lediglich 0,5%. Anfang der 90er Jahre betrug der Anteil noch 6%. Von den gesamten Futtermittelimporten machte Maniok 2007 gerade noch 0,2% aus.<sup>[7]</sup>

## Nachwachsender Rohstoff

Ein großes Potenzial wird Maniok für die Bioethanolproduktion beigemessen. Derzeit findet die Ethanolproduktion aus Maniok allerdings nur in China und Thailand statt. Die Produktionskosten von Ethanol liegen bei etwa 0,27 €/l und der Ethanolertrag bei 3,5 bis 4 m<sup>3</sup>/ha. Als erzielbaren Kraftstofftertrag aus Maniok in Asien werden etwa 78 GJ/ha angegeben<sup>[8]</sup>.

Maniok spielt auch als Stärkelieferant für die Fermentationsindustrie eine Rolle. Die Maniokstärke kann zur Herstellung von Biokunststoffen (Polylactid auf der Basis von Milchsäure) verwendet werden, wie dies zum Beispiel in Thailand geplant ist. Dadurch könnte sich das Marktvolumen der thailändischen Maniok-Industrie nach Schätzungen der National Innovation Agency (NIA) auf fast 3 Mrd. € mehr als verdoppeln<sup>[9]</sup>.

Auch die Food and Agriculture Organization (FAO) sieht ein großes Potenzial für die Nutzung von Maniok als nachwachsenden Rohstoff vor dem Hintergrund, dass derzeitige Erträge nur bei 20% des unter optimalen Bedingungen erreichbaren Niveaus liegen. Allerdings dürfte die Tatsache, dass Maniok etwa 1 Mrd. Menschen mit

bis zu einem Drittel ihrer täglichen Kalorienaufnahme versorgt und damit ein wichtiges Grundnahrungsmittel ist, der weiteren Nutzung als nachwachsender Rohstoff vor dem Hintergrund der Diskussion um den Konflikt zwischen Nahrungsproduktion und industrieller Nutzung entgegenstehen.<sup>[10]</sup>

## Einzelnachweise

- [1] Bingtao Li, Michael G. Gilbert: *Manihot esculenta*. In: Wu Zhengyi, Peter H. Raven, Hong Deyuan (Hrsg.): *Flora of China*. Bd. 11, Missouri Botanical Garden Press, St. Louis 2008, S. 275 ( efloras.org ([http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=2&taxon\\_id=200012596](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=200012596))).
- [2] Vincent E. Rubatzky, Mas Yamaguchi: *World Vegetables: principles, production and nutritive values*. 2. Auflage. Aspen Publishers, Gaithersburg 1999, ISBN 0-8342-1687-6, S. 147–161, S. 812.
- [3] Offizielle [[FAO (<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#anchor>)]-Statistik, aufgerufen am 7. Februar 2010]
- [4] Dimuth Siritunga, Richard Sayre: *Engineering cyanogen synthesis and turnover in cassava (Manihot esculenta)*. In: *Plant Molecular Biology* Bd. 56, 2004, S. 661-669. PMID 15630626
- [5] A. Cumbana, E. Mirione, J. Cliff und J. H. Bradbury: *Reduction of cyanide content of cassava flour in Mozambique by the wetting method*. In: *Food Chemistry* Bd. 101, 2007, S. 894–897, ISSN 0308-8146 (<http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=0308-8146>).
- [6] A. Prakash 2008: *Cassava: International market profile* ([http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:j\\_VsvqdkpIkj:siteresources.worldbank.org/INTAFRICA/Resources/2579941215457178567/Cassava\\_Profile.pdf+\"Cassava:+International+market+profile\"&hl=de&gl=de&pid=bl&srcid=ADGEESjREyVIIIbSridnI8mi0LJslzk\\_OJnzt08lsRjK\\_01nYYgJdAFh6XLXjE3icfatKJQaa2W1gkqw4ut5PigGfh882I2uI5VMYf8E3A4MTss-9gm2B6QPsig=AHIEtbQ2cmjSNpIpfywx141t0AVyvr2XJQ](http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:j_VsvqdkpIkj:siteresources.worldbank.org/INTAFRICA/Resources/2579941215457178567/Cassava_Profile.pdf+\)), Hintergrundpapier für die Studie Competitive Commercial Agriculture in Sub-Saharan Africa der FAO.
- [7] FEFAC (Fédération Européenne des Fabricants d'Aliments Composés) 2008: From Farm to Table: key figures 2007 (<http://www.fefac.org/statistics.aspx>).
- [8] Méo 2008: Biokraftstoffe: Eine vergleichende Analyse für Entscheidungsträger in Politik, Verwaltung und Wirtschaft. Unveröffentlichte Studie.
- [9] Plasticker.de (<http://plasticker.de>) 2008: *Thailand: Herstellung von neuen Biokunststoffen soll gefördert werden* ([http://plasticker.de/Kunststoff\\_News\\_6053\\_Thailand\\_Herstellung\\_von\\_neuen\\_Biokunststoffen\\_soll\\_gefoerdert\\_werden?div=n&start=10&anzeige=39&begriff=Thailand](http://plasticker.de/Kunststoff_News_6053_Thailand_Herstellung_von_neuen_Biokunststoffen_soll_gefoerdert_werden?div=n&start=10&anzeige=39&begriff=Thailand)), Pressemitteilung vom 15. August 2008.
- [10] Agra-Europe 2008: Bedeutung von Maniok unterstrichen. Kurzmeldung vom 28. Juli 2008.

## Weblinks

- Maniok – eine giftige Nahrungspflanze ([http://www.giftpflanzen.com/manihot\\_esculenta.html](http://www.giftpflanzen.com/manihot_esculenta.html))
- Purdue University: Cassava (englisch) (<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/cropfactsheets/cassava.html>)
- Maniokverarbeitung in Afrika (PDF) ([http://www.koord.hs-mannheim.de/horizonte/h22\\_Dantse.pdf](http://www.koord.hs-mannheim.de/horizonte/h22_Dantse.pdf)) (162 kB)
- Maniok und Malaria (<http://www.dradio.de/dlr/sendungen/mahlzeit/153011/>)
- Konzo ([http://www.itg.be/itg/DistanceLearning/LectureNotesVandenEndenE/47\\_Medical\\_problems\\_caused\\_by\\_plantsp13.htm](http://www.itg.be/itg/DistanceLearning/LectureNotesVandenEndenE/47_Medical_problems_caused_by_plantsp13.htm))

# Matratze

**Matratzen** sind Polster, die man meist auf Lattenroste oder Unterfederungen (früher auch auf Drahtgeflechte) legt, um ein komfortables Liegen und Schlafen zu ermöglichen. Die Kombination von Matratzen mit dazu passenden Lattenrosten bezeichnet man als *Bettsysteme*. Gemeinsam mit dem Rahmen oder Gestell bilden diese Komponenten das Bett.

Der Matratzenkern aus Schaumstoff, Latex, Naturprodukten oder Federkern wird mit einem Drellbezug o.ä. ummantelt, der je nach Bedürfnis mit Schafwolle, Vlies, Baumwolle, Wildseide oder auch Rosshaar versteppt ist. Bezüge von Komfortmatratzen bestehen heutzutage nur noch selten aus Drell, einem sehr festen Gewebe, sondern aus 3-dimensional elastischen Stoffen wie Frottee oder (zunehmend) mehrlagigem Jersey.

Matratzen sind heute häufig in drei bis sieben Liegezonen eingeteilt, die den unterschiedlichen Bedürfnissen der einzelnen Körperregionen auf Stützung gerecht werden sollen. Es wird immer mehr zum Standard, dass der Matratzenbezug abnehmbar ist und gewaschen bzw. gereinigt werden kann.

Matratzen werden heute fast ausschließlich einteilig hergestellt. Dies wurde durch die insgesamt leichteren verwendeten Materialien ermöglicht. Früher gab es häufig zwei- oder dreiteilige Matratzen, um das Wenden, Lüften und Ausklopfen zu erleichtern. Zum Teil haben Matratzen eine Sommer- und eine Winterseite. Haltegriffe an den Seiten ermöglichen ein leichteres Hantieren von schweren und unhandlichen Matratzen.



Matratze



Muster eines Matratzenkerns mit Polsterung

## Herkunft und Geschichte

Das Wort Matratze kommt von dem früh-italienischen Wort *materazzo*, das seinerseits auf das arabische Wort *matrah* / حراطم / *matrah* / „Bodenkissen“ zurückgehen soll. Vorläufer heutiger Matratzen gab es schon im Altertum.

Das Bett des Odysseus war nach der Homerischen Überlieferung ein verziertes vierfüßiges Rahmenwerk, bespannt mit Riemen aus purpur-schillernder Stierhaut und bedeckt mit Fellen und Teppichen, mit leinenem Überzug und wolligem Mantel als Decke. Die Griechen hatten hölzerne Bettstellen, oft mit reich verzierten Füßen und lehnenartiger Erhöhung am Kopfende. Auf Gurten ruhten die mit Wolle oder Naturfasern gefüllten Matratzen.

Das Bett der Römer war ähnlich konstruiert und oft mit großem Luxus ausgestattet. Es trug auf Gurten die mit Schilf, Heu, Wolle oder Federn von Gänsen oder Schwänen gefüllte Matratze (*culcita*, *torus*). Bei Ausgrabungen in Herculaneum, das dem Vesuvausbruch im Jahre 79 zum Opfer fiel, wurde im Hause eines ehemaligen Sklaven eine Kinderwiege entdeckt, in der eine Matratze aus Pflanzenfasern lag. Dies bedeutet, dass auch das gemeine Volk sich diesen Komfort schon leistete.

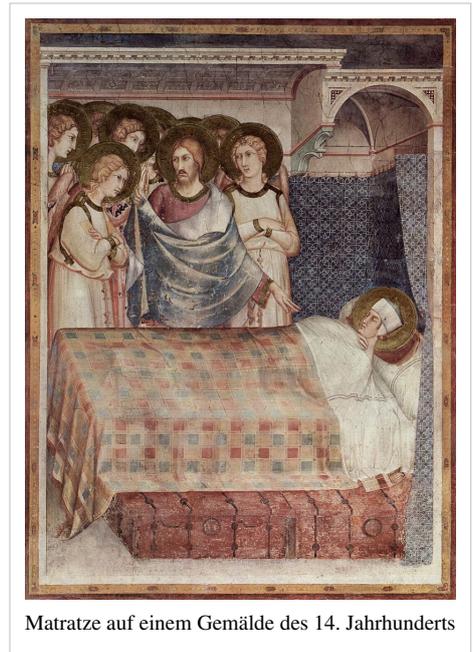
Schon zu Zeiten der Kreuzzüge im 12. und 13. Jahrhundert waren Matratzen in der arabischen Welt üblich. Sie wurden so bzw. über den Kulturaustausch am damaligen Hof von Friedrich II. in Sizilien den Rittern bekannt und gelangten dadurch nach Europa.

Matratzen, die dem heutigen Typ nahekommen, waren zumindest in Deutschland bis in die Neuzeit purer Luxus und nur den höheren Schichten vorbehalten und bestanden meist aus Kissen. Das gemeine Volk schlief auf mit Seegrass, Schilf, Stroh oder Spreu gefüllten Säcken, auf harter Unterlage. Ab Ende des 19. Jahrhunderts wurden Matratzen, die meist von Sattlern hergestellt und oft dreiteilig waren, auch bei der bürgerlichen Schicht populär. Seit dem Zweiten Weltkrieg sind die Ansprüche an Matratzen (und Lattenroste) deutlich gestiegen. Neue Füllstoffe wie Latex oder PUR sind heute marktbeherrschender Standard.

## Standardgrößen

Unter Standardgrößen versteht der Handel die Maße, die von den Produzenten in der Regel ab Lager lieferbar sind. Bei Sondergrößen ist dagegen mit zum Teil deutlichen Preisaufschlägen und längerer Lieferzeit zu rechnen.

In Deutschland haben sich die Standardgrößen für Matratzen im Laufe der letzten fünfzig Jahre verändert, was einerseits auf die gestiegenen Körpergrößen der Käufer, andererseits auf den Wunsch nach mehr Komfort zurückzuführen ist. Die derzeit gängigen Maße sind



Matratze auf einem Gemälde des 14. Jahrhunderts

Breite in cm	Länge 140 cm	Länge 190 cm	Länge 200 cm	Länge 220 cm
70	70 x 140			
80		80 x 190	80 x 200	
90		90 x 190	90 x 200	90 x 220
100		100 x 190	100 x 200	
120			120 x 200	
140			140 x 200	140 x 220
160			160 x 200	160 x 220
200			200 x 200	200 x 220

70 x 140 cm ist dabei das übliche Maß für Kindermatratzen. Alle übrigen Größen gelten bei den Herstellern meist als Sondermaße.

Seit einiger Zeit wird auch angeboten, dass Matratzenkerne und Matratzenbezüge getrennt geliefert und erst beim Kunden zusammengefügt werden. Auf diese Weise können auch zwei Matratzenkerne unterschiedlicher Härtegrade in einem gemeinsamen Matratzenbezug kombiniert werden, so dass optisch eine einheitliche Liegefläche entsteht und die so genannte *Besucherritze* entfällt. Matratzenkerne aus Kaltschaum werden immer öfter auch zusammengerollt und in einer Folie zusammengepresst angeliefert und erst beim Kunden entrollt. Dies erspart Transport- und Lagerkosten und ermöglicht die Mitnahme im eigenen PKW des Kunden.

## Härtegrade

Matratzen werden in unterschiedlichen Härtegraden angeboten. Diese sind nicht genormt, sondern können sich je nach Produzent erheblich unterscheiden. [1] Meistens werden drei Stufen angeboten. Für die Auswahl der passenden Matratzenhärte wird meist das Körpergewicht des Kunden herangezogen, zum Beispiel

- Härtegrad 1 = weich für Menschen bis 60 kg Körpergewicht,
- Härtegrad 2 = mittel für Menschen bis 80 kg Körpergewicht,
- Härtegrad 3 = hart für Menschen über 80 kg Körpergewicht.

Es gibt auch Matratzen, bei denen der Härtegrad jederzeit veränderbar ist (variabler Härtegrad).

Die grobe Gewichtsregel wird den Bedürfnissen des Kunden oft nicht gerecht. Körperform, Körpergröße, Alter, Gesundheitszustand und Lebens- und Schlafgewohnheiten sowie die Wahl des Matratzentyps spielen ebenfalls eine wichtige Rolle.

Matratzen sollen in Verbindung mit den dafür geeigneten Lattenrosten die Regeneration des Körpers unterstützen. Die Wirbelsäule soll die ihr von Natur aus gegebene Doppel-S-Form einnehmen können und zwischen Kopf und Steißbein eine durchgängig gerade Linie bilden. Vor allem bei Seitenschläfern müssen dementsprechend die Schulter und das Becken so tief in die Matratze einsinken können, dass diese gerade Linie von allein entsteht.

Die Höhe der Matratze spielt eine wichtige Rolle. Je höher sie ist, desto eher kann sie Stauchungen vermeiden, die entstehen, wenn die Matratzenfüllung dem Druck des darauf liegenden Körpers nicht mehr nachgeben kann. 16 cm Höhe oder mehr werden empfohlen.

## Matratzen-Typen

Man unterscheidet u.a.

### Federkernmatratzen mit den Unterarten

- Bonellfederkernmatratzen
- Cosiflexfederkernmatratzen
- Taschenfederkernmatratzen
- Tonnentaschenfederkernmatratzen

### Latexmatratzen mit den Unterarten

- Naturlatexmatratze
- Schichtlatexmatratze

### Schaumstoffmatratzen mit den Unterarten

- Kaltschaummatratze
- Viskoelastische Matratze oder Tempurmatratze

### PS-Matratze Kombination aus Latex- und Schaumstoffmatratze

### Naturmatratzen mit den Unterarten

- Futons
- Rosshaarmatratze

### Wasserbetten

### Dekubitusmatratzen

### Luftmatratzen

Eine exakte Klassifizierung mit den unten beschriebenen Vor- und Nachteilen ist nicht in jedem Fall möglich, da inzwischen von einigen Herstellern verschiedene Materialien und Aufbauten kombiniert werden. Auch unterscheidet sich der individuell empfundene Liegekomfort erheblich.

## Federkernmatratzen

bestehen aus einem Stahlfederkern. Ein **Bonnellfederkern** besteht aus Stahlfedern mit taillierter Form, die durch eine Spirale (siehe Bild) miteinander verbunden sind. Andere Formen sind Federkerne aus Endlosfedern (**continuous coil**) und Leichtfederkerne (LFK) mit mehreren Federn kleineren Durchmessers, deren Endringe im Gegensatz zur Bonnellfeder nicht geschlossen sind.

Am wenigsten punktelastisch ist ein Bonnellfederkern, die Leichtfederkerne und Endlosfederkerne sind vergleichsweise dazu elastischer. Sind die einzelnen Federn in Reihen von Stofftaschen eingenäht und diese Reihen zu einer Fläche in Matratzengröße verklammert oder verklebt, handelt es sich um einen **Taschenfederkern**, der eine gute Punktelastizität aufweist, sich aber für verstellbare Lattenroste nur bedingt eignet. Den höchsten Komfort bietet die **Tonnentaschenfederkernmatratze**, bei der die Metallfedern eine bauchige Form haben und damit bedeutend flexibler sind als Taschenfederkernmatratzen. Wünscht man sich einen Kompromiss zwischen Taschenfederkern und besserer Biegebelastbarkeit, dann kommen Matratzen in Frage, die vom Kopf- bis zum Fußende abwechselnd Reihen aus Taschenfederkernen und Schaumstoff bieten und so die Vor- und Nachteile der einzelnen Matratzentypen vereinen.

Über dem Federkern sind verschiedene Materialien als Polsterung verarbeitet. Eine Filzplatte oder (bei sehr billigen Matratzen) ein dünnes Vlies dienen als Polsterträger, um die Polsterung davor zu bewahren, von den Metallfedern



Einzelelement aus einem Bonnell-Federkern

durchgerieben zu werden. Die Polsterung besteht aus Schaumstoff, darauf liegt der Bezug. In diesen ist häufig Polyesterfaservlies, Baumwolle, Schurwolle oder Rosshaar eingestept. Der Bezugstoff für diese Matratzen besteht zumeist aus Baumwolle oder Baumwolle/Viskose-Gemischen.

### **Vorteile**

- Federkernmatratzen haben ein ausgesprochen gutes Raumklima (bleiben aber kalt, s.u.), da die während der Benutzung eindringende Feuchtigkeit später unproblematisch an die Außenluft abgegeben wird. Schimmelbildung ist daher kaum ein Thema.
- Moderne Federkernmatratzen wie viele der Taschenfederkernmatratzen bieten von Kopf bis Fuß verschiedene Zonen an, um den unterschiedlichen Gewichten der Körperteile und Einsinktiefen gerecht zu werden. Meist sind es 5 oder 7 Zonen.
- Preislich handelt es sich bei der schlichten Federkernmatratze um eine kostengünstige Ware. Taschenfederkern- und Tonnentaschenfederkerne sind dagegen schon erheblich teurer, aber auch bedeutend besser.
- Federkernmatratzen sind robust und behalten viele Jahre ihre ursprüngliche Form, soweit die Metallkonstruktion betroffen ist. Sie sind auch für einfache Lattenroste verwendbar.
- Hochwertige (Tonnen-)Taschenfederkernmatratzen haben eine gute Punktlastizität.

### **Nachteile**

- Einfache Federkernmatratzen bieten keine Punktlastizität, d.h. die Einsinktiefe problematischer Körperzonen wie Schulter und Becken ist nicht optimal. Der Liegekomfort kann darunter stark leiden. Diese Nachteile gelten nicht für hochwertige (Tonnen-)Taschenfederkernmatratzen, die dagegen eine gute Punktlastizität aufweisen.
- Federkernmatratzen sind weniger geeignet in Kombination mit verstellbaren Lattenrosten, weil sie sich nicht so gut einer unebenen Unterlage anpassen. Außerdem können die Liegeeigenschaften vermindert werden, wenn der Druck des Körpergewichts nicht vertikal von oben (genauer: im rechten Winkel) auf die Matratze wirkt.
- Bei einigen Modellen können die Federn mit der Zeit durch die Polsterung drücken und dadurch den Liegekomfort erheblich einschränken.
- Eine Federkernmatratze hat keine Feuchtigkeitsaufnahme wie Schaummatratzen. Dies ist auch nicht nötig, da sie im Inneren einen großen Hohlraum besitzen, der feuchtigkeitsregulierend wirkt.

## **Luftkernmatratzen**

Luftkernmatratzen sind ähnlich aufgebaut wie Federkernmatratzen, haben aber anstelle des Federkerns zwei Luftkerne (elastischer Luftbehälter) deren Härte sich durch Aufpumpen und Ablassen von Luft einstellen lässt.

### **Vorteile**

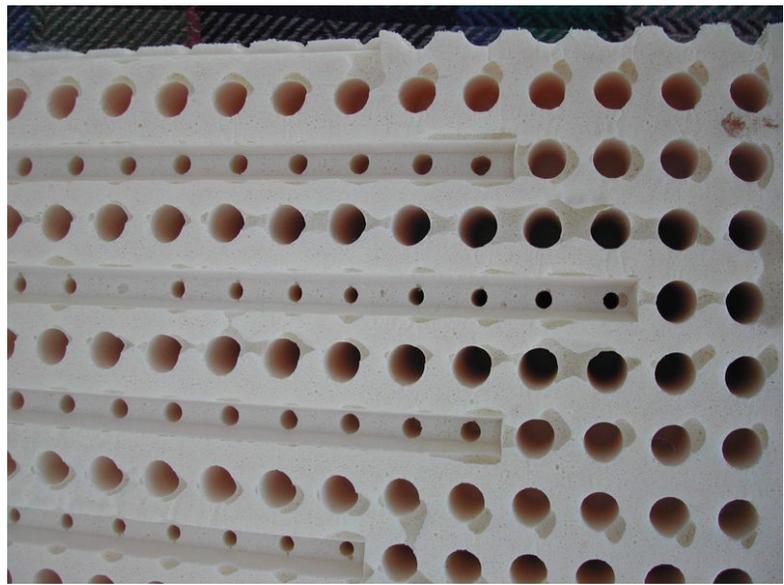
- Der Härtegrad ist direkt regulierbar.

### **Nachteile**

- Luftkernmatratzen bieten keine Punktlastizität, d.h. die Einsinktiefe problematischer Körperzonen wie Schulter und Becken ist nicht optimal. Der Liegekomfort kann darunter stark leiden.
- Am Luftkern staut sich die Feuchtigkeit auf, deshalb kann es zu Schimmelbildung kommen.

## Latexmatratzen

bestehen aus Gummi mit synthetischen oder natürlichen oder gemischten Anteilen. Der Anteil des Naturlatex (auch Kautschuk, aus dem Hevea-Brasiliensis-Baum) ist je nach Qualität sehr unterschiedlich und reicht von 0% (Syntheselatex) bis zu 100% (Naturlatex). Latexmatratzen werden durch Vulkanisation hergestellt, indem die Latexmischung in eine Stahlform gegossen und anschließend erhitzt wird. Die in die Form eingearbeiteten Heizstifte ergeben nachher die charakteristischen Löcher in der Latexmatratze: der sogenannte Stifflatex entsteht.



Stifflatexkern

Als **Naturlatexmatratze** darf eine Matratze nur dann bezeichnet werden, wenn ausschließlich Naturpolymere verwendet werden und kein synthetischer Latex beigemischt wird. Um die Konsistenz zu erzielen, werden zur Vulkanisation etwa 5% Vulkanisiermittel (vorwiegend Schwefel und Salze) hinzugefügt. Das Ergebnis dieser chemischen Reaktion wird dann als Naturlatex bezeichnet, wenn der Polymer-Anteil zu 100% aus Naturpolymeren besteht und die eingesetzten Vulkanisationsmittel 5% nicht übersteigen.

Der Naturlatex/Naturkautschuk weist im Vergleich zu synthetischem Latex eine wesentlich höhere Elastizität (Punktelastizität) auf. Das Raumgewicht des Naturlatex liegt je nach Festigkeitsgrad zwischen 70 und 90 kg/m<sup>3</sup>. Aufgrund des hohen Raumgewichts sind Latexmatratzen deutlich schwerer als etwa Kaltschaummatratzen.

Es gibt unterschiedliche Institutionen, die Naturlatexmatratzen aus unterschiedlichen Blickwinkeln prüfen. Der QUL ("Qualitätsverband umweltverträgliche Latexmatratzen e.V.") beispielsweise ist ein Verband großer Matratzenhersteller, der Qualitätskriterien für die Matratzen seiner Mitglieder aufstellt. Unter anderem prüft der QUL die Zusammensetzung der Matratzen und vergibt den Matratzen, die auch die sonstigen Kriterien einhalten, ein Gütesiegel. Unabhängige Institutionen, wie z. B. Öko-Tex, prüfen auf Schadstoffrückstände, die auch in Naturlatexmatratzen vorhanden sein können.

**Schichtlatexmatratzen** bestehen aus mehreren Schichten von Latex und Schaumstoff-Elementen, die häufig mittels Klebstoffen fest miteinander verbunden sind.

### Vorteile

- Sehr gute Anpassungsfähigkeit an Körperkonturen und Lattenroste
- absolute Geräuschfreiheit
- hervorragende Punktelastizität
- sehr gutes Federungs- und Rückstellungsverhalten bei Liegeveränderung
- bei entsprechender Pflege geringe Anfälligkeit für Milbenbefall

### Nachteile

- Latexmatratzen mit hohem Raumgewicht sind teilweise sehr schwer und unhandlich.
- Teilweise leichter Eigengeruch aufgrund nicht perfekter Vulkanisation. Kann nach kurzer Zeit verschwinden.
- Je nach Zusammensetzung und Raumgewicht des Matratzenkerns stark unterschiedliches Alterungsverhalten.

### Kaltschaumstoffmatratzen

Schaumstoffmatratzen standen lange Zeit zu Recht in schlechtem Ruf. Sie galten als Billigware mit schlechter Haltbarkeit. Dies hat sich in den letzten Jahren durch Neuentwicklungen grundlegend geändert.



Profil einer PUR-Schaumstoffmatratze

Schaumstoffmatratzen bestehen heute

meist aus einem PUR-Kaltschaum/Visco-Matratzenkern. Dessen Qualitäten und Eigenschaften hängen u.a. vom Raumgewicht (RG), der Stauchhärte, der Art der Herstellung und der eingearbeiteten Profile ab.

Unter **Raumgewicht** versteht man das kg-Gewicht pro 1 m<sup>3</sup> aufgeschäumter Rohmasse, oder anders gesagt, so viele Kilogramm wiegt ein Kubikmeter Schaumstoff vor dessen Weiterverarbeitung. Als Faustregel gilt, je leichter ein Schaumstoff ist, desto mehr wurde am Materialeinsatz eingespart, und desto weniger langlebig ist die Matratze.

Die **Stauchhärte** ist die Kraft, die aufgebracht werden muss, um einen Schaum-Rohblock um 40 % einzudrücken. Je niedriger die Stauchhärte (kPa), desto weicher ist der Schaum.

Seit dem weitgehenden Verbot der ozonschädigenden Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW) wird in den meisten Industriestaaten reines Kohlendioxid als Treibmittel beim Aufschäumen verwendet. Bei Kaltschaumkernen wird häufig ganz auf Treibmittel verzichtet, das Aufschäumen erfolgt dann beim Zusammentreffen der chemischen Grundsubstanz mit Wasser. EU-weit gibt es nur wenige Hersteller von PUR-Schaumstoffen für die Matratzenproduktion.

Schaumstoffmatratzen können sich bei Temperaturen >400° entzünden, wenn sie nicht mit feuerhemmenden Zusatzstoffen versehen sind, die aber nach Ökotex Standard 100 nicht zulässig sind. Um das Brandrisiko zum Beispiel in Kinderzimmern zu mindern, kann auch ein schwerentflammbarer Überzug verwendet werden, der nicht einmal mit einem Gasbrenner dauerhaft zu entflammen ist.

### Vorteile

- Sehr gute Anpassungsfähigkeit an Körperkonturen und Lattenroste
- absolute Geräuschfreiheit
- hervorragende Punktelastizität
- sehr gutes Federungs- und Rückstellungsverhalten bei Positionsveränderung
- bei entsprechender Pflege geringe Anfälligkeit für Milbenbefall

*siehe auch:* Hausstauballergie

- Kann zum Transport gefaltet werden
- lange Lebensdauer

**Nachteile**

- Ohne feuerhemmende Zusatzstoffe oder schwerentflammaren Überzug stellen sie ein Brandrisiko dar.
- Der durch chemische Prozesse entstandene, oft stechende Geruch verschwindet häufig erst nach mehrwöchigem Lüften.

**Viskoelastische Matratzen**

Die zunächst unter dem Markennamen Tempur bekannt gewordenen Matratzen aus *Memory Foam* (zu deutsch etwa „Gedächtnis-Schaumgummi“), einem Formgedächtnis-Polymer, haben die Eigenschaft, sich dem Körper des auf ihnen Ruhenden anzupassen. Diese Anpassung erfolgt dadurch, dass die Körperwärme ein Einsinken in die Matratze bewirkt, die sich dann nach der Veränderung der Liegeposition nur verzögert in die ursprüngliche Form zurück stellt. Dies hat je nach Häufigkeit des Wechsels der Schlafposition gewisse Vorteile, aber auch Nachteile. Da es sich um eine Neuentwicklung handelt, kann über die mutmaßliche Lebensdauer dieser Matratze noch keine Aussage gemacht werden. Zum Schwitzen neigende Menschen empfinden sie als zu warm, vor allem wenn die Matratzenumhüllung keine Wattierungsschicht zur Luftzirkulation hat.

Heute werden viskoelastische Matratzen meist aus einer unteren Lage aus gewöhnlichem PUR-Schaum und einer oberen Lage Formgedächtnisschaum hergestellt, was auch den Preis senkt.

**Vorteile**

- Sehr gute Anpassungsfähigkeit an Körperkonturen und Lattenroste
- Druckempfindliche Körperstellen werden mehr entlastet als bei anderen Matratzen
- Absolute Geräuschfreiheit
- Hervorragende Punktelastizität
- Bei entsprechender Pflege geringe Anfälligkeit für Milbenbefall

**Nachteile**

- Relativ hochpreisig
- Verzögerte Rückstellung in die Ursprungsform
- Bei bestimmten Modellen nur einseitig benutzbar (allerdings heute zunehmend beidseitige viskoelastische Schicht, dafür aber nur halb so dick)
- Eindruck von Widerstand gegen Veränderungen der Schlafposition, kann die natürliche Häufigkeit von Positionsveränderungen im Schlaf verringern
- Wärmestau in den entstehenden Kuhlen, sofern der Schaum nicht atmungsaktiv ist.
- Für gerne kalt schlafende Personen und ungeheizte Schlafzimmer nicht geeignet. Dies gilt jedoch nicht, wenn der Schaum klimaausgleichend und atmungsaktiv ist, da er sich dann an der eigenen Körperwärme orientiert.
- Meist gummiartige Oberfläche mit stark eingeschränkter Feuchtigkeitsregulation (heute zunehmend mit Kanälen zur Durchlüftung hergestellt). Es gibt jedoch auch Hersteller, deren Schaum offenporig und damit Luft- und Feuchtigkeitsdurchlässig ist, womit das Mikroklima reguliert wird.
- Ständig neue Entwicklungen, die zur Verbesserung der Produkteigenschaften beitragen, heben mittlerweile viele frühere Nachteile auf. So gibt es Produkte, bei denen der Schaumkern durch Thermofolien von selbst weich wird, ohne Körperwärme zu benötigen. Dadurch lässt sich die Festigkeit gezielt steuern.

## Naturmatratzen

Diese Matratzen enthalten ausschließlich Materialien, die in der Natur vorkommen, wie Naturlatex, Kokosfasern, Rosshaar, Stroh und Seegras. Diese Materialien werden meist in Matten von 1 bis 12 cm Stärke vorgefertigt. Durch die Kombination verschiedener Schichten lassen sich bei der fertigen Matratze unterschiedlichste Härtegrade erzeugen.

### Vorteile

- keine Metalle oder chemischen Stoffe werden verwendet
- keine chemischen Substanzen können ausgasen
- unproblematisches Rückführen in den biologischen Kreislauf
- Naturmatratzen können in verschiedenen Härtegraden produziert werden

### Nachteile

- schlechte Anpassung an verstellbare Lattenroste
- Gefahr des Einliegens (Kuhlenbildung)
- Naturprodukte unterliegen verstärkt den Gesetzen des natürlichen Alterns und Verschleißes
- Gefahr der Ansiedlung von zum Beispiel Milben und Pilzen
- Gefahr dauerhafter Geruchsbildung, speziell in zu wenig gelüfteten oder feuchten Räumen

## Naturölmatratzen

Die neuerlich angebotenen Naturölmatratzen sind mit Kaltschaumqualitäten vergleichbar und haben unterschiedlich hohe Anteile an Polyol aus natürlichem Öl. Hier gilt die Faustregel: je jünger das Produkt auf dem Markt, desto mehr nachwachsende Rohstoffe ersetzt das aus Erdölderivaten gewonnene Polyol zur Polymerisation. Die in der Werbung kolportierten "100% Naturöl"-Anteile sind allerdings zur Zeit (Stand 2009) technisch aufgrund der Fettsäurezusammensetzung noch nicht machbar und daher irreführend.

## Futon

Der Begriff Futon (jap. 布団) bezeichnet jegliche Art von Decken. In traditionell japanischen Räumen (so genannte Washitsu) werden spezielle Futons als Schlafunterlage auf den Boden gelegt. Um Platz zu sparen, wird das gesamte Bettzeug tagsüber in Wandschränken (so genannte Oshiire) verstaut. Auf Futons liegt man recht hart. Ein Nachteil besteht darin, dass sie normalerweise auf den Boden gelegt werden und im Winter die kalte Luft direkt über die Schlafstätte zirkuliert. Diese Art des Schlafens hat sich in westlichen Ländern nicht durchgesetzt. Aus Marketinggründen werden hierzulande manchmal etwas dünnere Matratzen als Futonmatratzen bezeichnet.

## Wasserbetten

Grundsätzlich werden Wasserbetten in zwei Hauptkategorien unterschieden.

### *Hardsider*

Der *Hardsider* ist ein Wasserbett in seiner ursprünglichen Form. Auf einem Sockel mit Gewichtsverteilungssystem und oben aufliegender Sockelplatte gelagert, wird das Wasserbett durch einen massiven Bettrahmen mit entsprechenden Eigenschaften in Form gehalten. Die Wassertechnik selbst besteht in dieser Reihenfolge aus einem oder zwei Heizsegmenten, einer Sicherheitswanne, einem oder zwei Wasserkernen und dem oberseitigen Bezugstoff. Letzterer ist entweder über den Wasserkern gespannt oder mittels Reißverschluss an der Sicherheitswanne befestigt. Die Qualitäten reichen von einfachen Frotteeauflagen bis hin zu funktionsreichen Medicott-, Bambus-, Lyocell- oder sogar Kashmirbezügen mit mehr oder minder hohen Spannflächen.

### **Softsider**

Der *Softsider* verzichtet auf das Bettgestell, da der Kern bereits durch einen stabilen Schaumrahmen gehalten wird, wobei hiermit die mögliche Verwendung eines Bettrahmens nicht ausgeschlossen ist. Die Bezugstoffe sind bei älteren Modellen ebenfalls per Spann befestigt, aktuell sind jedoch Reißverschlußbezüge üblich. Die Bezugstypen sind mit denen des Hardsiders vergleichbar. Der Aufbau ist mit dem des Hardsiders identisch.

### **Allgemeines**

Die Wassertechnik ist je nach Verwendung als Mono- oder Dualsystem wählbar. Die Unterschiede machen sich insbesondere in der Nutzung des Bettes von nur einer oder zwei Personen deutlich. Ein Mono-Wasserkern lässt sich auf eine Person gut einstellen, kann jedoch bei Nutzung von zwei Personen Nachteile mit sich führen. Es ist jedoch nicht möglich, ein Wasserbett „platzen“ zu lassen. Bei Beschädigung des Wasserkerns lässt sich dieser mit einem Reparaturkit ähnlich einem Fahrradschlauch flicken. Wasser kann aus einer Schadstelle in der Regel erst dann austreten, wenn der jeweilige Kern belastet wird. Austretendes Wasser wird in einer Sicherheitswanne aufgefangen. Die darunter liegende Heizung wird nicht unmittelbar in Mitleidenschaft gezogen.

### **Vorteile**

- Das Wasserbett kann individuell an die jeweiligen Bedürfnisse, Gewichtsverhältnisse sowie an die persönliche Hautoberflächentemperatur angepasst werden.
- Die sehr hohe Druckentlastung führt zu einem entspannten Schlaf und behindert die Durchblutung verschiedenster Körperteile nicht.
- Die Bewegungen des Schläfers werden weicher, er muss sich weniger drehen und wenden, ohne jedoch den natürlichen Bewegungsdrang zu beeinträchtigen.
- Durch die Füllmenge kann das Wasserbett an die im Laufe der Jahre auftretenden körperlichen Veränderungen angepasst werden.
- Das Nachschaukeln lässt sich mittels der Wahl verschiedener Beruhigungsstufen einstellen.
- Wasserbetten haben eine sehr lange Lebensdauer von ca. 10 - 15 Jahren, z.T. auch wesentlich länger.
- Je nach Typ des Wasserbettes ist ein zusätzliches Bettgestell nicht zwingend erforderlich.
- Der zum Wasserbett gehörende Sockel beinhaltet ein Gewichtsverteilersystem, um das hohe Gewicht gleichmäßig auf dem Boden zu verteilen.

### **Nachteile**

- ähnlich hoher Anschaffungspreis wie vergleichbare Trockenmatratzensysteme
- die konstruktionsbedingt nicht mögliche Verstellung der Matratze (außer: Wasserfilmmatratze)
- Wärme- und Feuchtigkeitsstau
- bei unzureichender Entlüftung ist bei Frottee-Auflagen eine Bildung von Stockflecken und/oder Schimmelpilzbefall nicht gänzlich ausgeschlossen. (anders: Medicott, Bambus, Lyocell, Kashmir)
- Notwendigkeit einer elektrischen Heizung und der damit verbundene Stromverbrauch
- Bei nicht nach DIN-Norm gefertigten Bauten sollte ein Statiker/ Tragwerker zu der Deckenbelastbarkeit befragt werden.
- jährliche Pflege des Wassers mit keimtötenden Mitteln
- Geräusentwicklung möglich

## Sonstige Matratzentypen

### Boxspring

*Siehe auch: #Vereinigte Staaten*

Statt auf einem Lattenrost liegt die (Federkern-)Matratze auf einer (Federkern-)Untermatratze. Dieses System ist in Nordamerika sehr verbreitet. Moderne Interpretationen des Boxsprings verzichten auf die Doppelung des Federkernes, verwenden die Federkernunterfederung weiter und kombinieren mit darauf liegenden höherwertigen Kaltschaum- und Viskoschaumqualitäten.

### Dekubitusmatratzen

Dekubitusmatratzen können vor allem in der häuslichen Pflege hilfreich sein, dürfen aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass ein bewegungsunfähiger Patient alle 30 Minuten umgelagert werden sollte, da sich sonst schon in weniger als einer Stunde ein Dekubitus ausbilden kann.

1. Wechseldruckmatratzen sind die gebräuchlichsten Matratzen bei schwerem Dekubitus. Die Technik der Matratze beruht auf in Querreihen angeordneten Luftschläuchen (ähnlich den Leisten eines Lattenrostes), die in Gruppen mit einem Luftpumpensystem unterschiedlich gefüllt werden. Je nach Schwere des Dekubitus werden die Schläuche in 3 oder mehr getrennt gesteuerte Gruppen zusammengefasst. Durch dieses zeitlich gesteuerte Aufpumpen und teilweise Ablassen von Schlauchgruppen wird der Körper des Liegenden immer wieder neu gelagert. Als Ergebnis werden die Druckstellen am Körper immer wieder entlastet. Als Folge verringert sich das Risiko von Druckwunden bzw. schließen sich Druckwunden wieder. Genutzt wird dieser Matratzentyp hauptsächlich bei Menschen, die über lange Zeit bettlägerig sind und sich nicht selbst in unterschiedlichen Positionen lagern können. Als Nachteile können der hohe Preis und die Geräusentwicklung angesehen werden.
2. Weichlagerungsmatratzen sind viskoelastische Schaumstoffmatratzen, die sich der Körperform besonders anpassen. Als Ergebnis wird die Auflagefläche des Körpers erhöht und damit die Flächenpressung abgesenkt. Seit den 90er Jahren haben diese Matratzen die Wechseldruckmatratze und kleine Wassermatratzen zur partiellen Entlastung des Körpers zunehmend verdrängt.

### Luftmatratze

Luftmatratzen bestehen aus einer Folie die in Kammern unterteilt ist und mit Luft gefüllt wird. Ab einer Höhe von ca 30 cm werden Luftmatratzen auch als Luftbett bezeichnet und vertrieben. Schlecht verarbeitete Luftmatratzen bilden mit der Zeit Risse an den Schweißnähten, durch die Luft entweicht, oder im Inneren der Luftmatratze reißen die Kammern auf, wodurch sich Beulen bilden. Dieses Problem kann auch bei preisintensiveren Modellen auftreten. Modelle aus Gummi sind wesentlich robuster als Modelle aus PVC und ähnlichen Kunststoffen.

Ein weiterer Nachteil von Luftmatratzen ist, dass die Feuchtigkeit an der Liegefläche blockiert wird, da sie aus wasserdichtem Material besteht. Bei niedrigen Temperaturen bildet sich an der Liegefläche trotz der Verwendung von dicken Decken Kondenswasser.

Der Liegekomfort auf Luftmatratzen wird dadurch beeinträchtigt, dass der Körper bei weicher Einstellung der Matratze praktisch nicht unterstützt wird, da schwerere Körperteile naturgemäß tiefer eingedrückt werden als leichtere. Dadurch kommt es zu einem Liegeeffekt, der mit dem Liegen in einer Hängematte vergleichbar ist. Um den Hängematteneffekt zu unterbinden, muss die Matratze so hart aufgepumpt werden, dass sie zu hart für eine volle Entlastung des Körpers ist.

## Hygiene und Haltbarkeit

*Siehe auch Hauptartikel: Matratzenhygiene*

Eine Molton-Spannaufgabe zwischen Matratze und Bettuch verhindert in den allermeisten Fällen die Verschmutzung der Matratzenhülle und das Eindringen von Körperpartikeln und Staub in die Matratze. Diese Spannaufgabe sollte je nach Herstellerempfehlung etwa alle zwei Wochen ausgeschüttelt und wenigstens alle 2 Monate bei 50 bis max. 95 °C gewaschen werden. Es ist eher unwahrscheinlich, dass sich dann Milben ansiedeln und / oder ein Waschen der Matratzenhülle erforderlich wird, außer bei Sondersituationen wie Bettnässen oder ansteckenden Krankheiten. Dann gilt: In der Regel sind Matratzen mit einer waschbaren, abziehbaren Hülle versehen, die man mittels eines Rundum-Reißverschlusses jeweils zur Hälfte abziehen kann. Diese Hälften lassen sich in den Standardgrößen unproblematisch nach den Herstellerangaben entweder bei 60 °C oder in der Allergikerversion bei 95 °Celsius in der Waschmaschine waschen und schleudern. Haushaltswaschmaschinen sind jedoch dafür häufig zu klein, so dass ein Waschsalon aufgesucht werden muss. Die Hüllen sind u.U. nicht für den Trockner geeignet; über zwei Stuhl Rücken gespannt trocknet eine solche Hüllenhälfte i. d. R. binnen 12 Stunden bei Zimmertemperatur.

Die meisten Matratzentypen sollten regelmäßig (nach den Garantiebestimmungen der Matratzenindustrie jeden Monat) abwechselnd gedreht oder gewendet werden, um eine gleichmäßige Abnutzung und damit eine längere Lebensdauer zu erreichen. Hierbei sind leichtere Matratzen in der Handhabung angenehmer. Die Reinigung einer Matratze mit einem Staubsauger schließt u.U. eine Garantie aus; Dabei können Schäden an der Versteppung entstehen.

Auch eine hochwertige Matratze ist selbst bei guter Pflege nach zehn bis vierzehn Jahren erneuerungsbedürftig, zumindest aus hygienischen Gründen. Bei unzureichender Pflege und zum Beispiel dauerfeuchten/mangelhaft gelüfteten Räumen kann dieser Zustand schon nach wenigen Monaten erreicht sein. Spätestens bei sich nicht mehr zurückbildenden Kuhlen nach Drehen und Wenden muss eine Matratze zur Entsorgung. Billige Matratzen zeigen teilweise erheblich schneller Abnutzungserscheinungen und / oder haben einen schlechteren Liegekomfort.

Bei Erwerb einer neuen Matratze nimmt der Händler das ausgediente Stück meist kostenlos zurück. Ansonsten erfolgt die Beseitigung gegen Gebühr bei der nächstgelegenen Sperrmüllsammelstelle.

Wenn der Lattenrost an Vorspannung verloren hat, trägt er Mitschuld am schnellen Ende einer Matratze. Auch zu große Lattenabstände (über 4 cm) verringern die Lebenszeit von Matratzen. Hohe Qualität bieten Tellerlattenroste, auch Lattenroste mit Motorverstellung sind eine Alternative. Wichtig ist auch eine variable Verstellmöglichkeit einzelner Latten, insbesondere im besonders belasteten Mittelteil, umgekehrt sind weichere Latten etwa in der Schulterzone von Vorteil.

## Gütesiegel

### Blauer Engel Umweltzeichen

Seit April 2006 vergibt die Blauer-Engel-Jury ihr Umweltzeichen auch für Matratzen, die über gesetzlich geregelte Bestimmungen hinaus

- umweltfreundlich hergestellt werden – dies betrifft insbesondere Textilien und Polstermaterialien,
- die in der Wohnumwelt aus gesundheitlicher Sicht unbedenklich sind und
- keine Schadstoffe enthalten, die bei der Verwertung erheblich stören.

## Matratzenbezüge

### Webart

**Drell:** Der traditionell bekannteste Matratzenbezug ist ein fest gewebter Stoff, der auch der Matratze straffe Liegeeigenschaften verleiht. Meist als fester Bezug gearbeitet, nicht abnehmbar.

**Velours:** Vorteil ist samtiger Griff, trockene Oberfläche, Haltbarkeit. Nachteil: häufig zu beobachten ist das Wandern von Molton oder Spannbettuch auf der Matratze. Der Effekt ist vergleichbar mit der Teppichbrücke auf dem Teppichboden - auch die muss man immer wieder auf die richtige Stelle ziehen.

**Frottee:** Vorteil ist angenehmer Griff, trockene Oberfläche, Haltbarkeit, Elastizität. Nachteil: evtl. als etwas rau empfunden, möglich ist bei längerer Schlinge das Wandern von Moltonauflage bzw. Laken auf der Matratze.

**Jersey:** Hat vor allem als Doppeltuch-Jersey eigentlich nur Vorteile. Elastisch, atmungsaktiv, haltbar, angenehm im Gebrauch.

### Material

Die als Naturmaterial angesehene Faser aus reiner Baumwolle hat wenig Rückstellkraft und ermüdet bei der ständigen Belastung durch Walken und Dehnen, wenn der Schlafende sich im Bett bewegt. Daher meist Beimischung dehnbarer Materialien wie Polyester oder noch haltbarer Polyamid-Anteilen, z.B. 70% Baumwolle + 30% Polyamid. Zahlreiche Beimischungen werden eingesetzt: Aloe Vera macht das Tuch weich und geschmeidig. Relativ umweltfreundliche Weiterentwicklungen von Viskose wie Modal, Lyocell oder Tencel werden Menschen empfohlen, die zum Schwitzen neigen. Dabei handelt es sich um Fasern, die aus Buchenholz-Abfällen gewonnen werden.

Hinzu kommt eine Vielzahl an Funktionsfasern, die von Schönheit bis Gesundheit fast alles versprechen. Es bleibt zweifelhaft, ob Algenbeimischung durch Molton, Laken und Nachtwäsche hindurch die Haut verjüngen kann, ebenso zumindest im Normalhaushalt, ob ein desodorierender oder bakterientötender Zusatz angebracht ist. Siehe Pflege oben. Allergiker/-innen sollten wie bei allen Artikeln des täglichen Bedarfs beachten, dass Zusatzstoffe gewisse Risiken bergen. Als unverdächtig in dieser Hinsicht gelten Polyester und Polyamid.

### Versteppung

Gute Bezüge bestehen nicht nur aus einfachem Tuch sondern sind mit einem Vlies versteppt. Bei waschbaren Ausführungen handelt es sich dabei in der Regel um PE-Faservlies. Schurwoll-, kamelhaar- oder seidenvliesversteppte Bezüge gibt man bis auf Ausnahmen (waschbare Schurwolle) bei Bedarf zur Reinigung statt in den Waschsalon. Versteppungen mit Wollsiegel-Schurwolle haben mindestens 500 g/m<sup>2</sup> Schurwolle. "Schafwoll"-Versteppungen können aus wiederaufbereiteter Wolle bestehen (das Gegenteil von Schurwolle). Polyester-Faservliese von 200 g/m<sup>2</sup> sind recht schwach, 400 g/m<sup>2</sup> ergibt ein sehr komfortables Feinpolster.

**Schlafklima:** Vliese aus hochwertiger Polyester-Hohlfaser sollen auch dauerhaft fast so atmungsaktiv sein wie Schurwolle und sind angezeigt, wenn Allergiker ihren Matratzenbezug häufig waschen möchten. Eine neue Kaltschaum-Matratze mit Polyester-verstepptem, waschbarem Bezug ist zunächst Allergen-frei; damit das so bleibt, gilt es, das Eindringen von Hautschuppen zu verhindern (Molton). Der Einsatz eines Encasing (milbendichte Hülle, beeinflusst die Liegeeigenschaften) kann damit lange hinausgeschoben werden. Rheumatikern empfiehlt sich wegen hoher Feuchtigkeitsaufnahme und -abgabe ein mit Schurwolle versteppter Bezug, dem besonders trockenes Schlafklima zugeschrieben wird. Hiervon unbeeinflusst ist das auch für die Lebensdauer wichtige regelmäßige Lüften der noch warmen Matratze gleich nach dem Aufstehen. Wer zum Schwitzen neigt, sollte zu einer gut durchlüfteten Kernkonstruktion vor allem eine dicke Versteppung des Bezugs wählen.

Das Faservlies muss mit dem Oberstoff versteppt sein, damit es sich nicht beim Gebrauch verschiebt. Die Steppnähte deuten oft als Muster die Liegezonen an, die man sich vor dem Kauf zeigen und erklären lassen sollte.

## Verarbeitung/Konfektion

Nicht abnehmbare Bezüge sind mitunter mit einem Reißverschluss verarbeitet, der nicht zu öffnen, sondern nur Produktionsmerkmal ist.

Abnehmbare Bezüge haben einen (hoffentlich) durchgehenden/teilbaren Reißverschluss, so dass jede Hälfte für sich gepflegt werden kann. Bei Rundum-Verarbeitung befindet sich dieser auf halber Höhe der Matratze, die dadurch eine abgerundete Kante hat.

Bei guter Border-Verarbeitung befindet sich der Reißverschluss direkt an der Borderkante, die mit einem Keder (textilgefüllte Paspel) verstärkt ist. Ganz hochwertige Matratzen haben an Ober- und Unterseite einen Verschluss, so dass nur die gerade oben liegende Bezugsseite abgenommen werden muss, wenn ein „Malheur“ passiert ist.

**Griffe:** Sie dienen dem Drehen und Wenden, nicht dem Herumtragen. Die ca. 30 € Herstellkosten sind manchen Herstellern Grund zum Einsparen. Um die Garantiebedingungen der Matratzenindustrie einzuhalten, sollen Matratzen ca. alle vier Wochen im Wechsel gedreht oder gewendet werden, ohne funktionale Griffe schwer möglich. Matratzen mit Borderkante können und sollten Griffaschen in ergonomischem Abstand haben.

## Matratzen in anderen Ländern

### Vereinigte Staaten

In den Vereinigten Staaten sind handelsübliche Matratzen dicker als in Europa (15 bis 46 cm; meist ca. 18 cm) und haben auch andere Längen- und Breitenmaße. Eine *Single-* bzw. *Twin Size*-Matratze misst 99×191 cm, eine *Double-* bzw. *Full Size*-Matratze 137×191 cm, eine *Queen Size*-Matratze 152×203 cm und eine *King Size*-Matratze 192×213 cm. Für Kleinkindbetten und vereinzelt auch für Erwachsenenbetten gibt es darüber hinaus noch weitere Formate.

Die Matratze liegt üblicherweise nicht auf einem Lattenrost, sondern auf einer Federkern-Untermatratze (*Box-spring*), d. h. einem mit Stoff bespannten, auf dem Boden aufliegenden Holzrahmen, der ebenfalls Federungselemente enthält, aber weitaus härter ist als die eigentliche Matratze. Die Matratze wird in den USA nicht nur mit einem Spannbettuch bezogen, sondern häufig zuvor auch mit einem *Mattress topper* bedeckt, der – aus Schaum hergestellt – für zusätzlichen Komfort sorgen soll. Oftmals wird die Matratze auch nicht direkt auf die Untermatratze gelegt, sondern ruht auf einem *Bed skirt*, dessen angenähter Volant farblich zur Bettwäsche passt und die Untermatratze verdeckt.<sup>[2]</sup>

Federkernmatratzen bilden den größten Anteil der im Handel befindlichen Matratzen. Daneben werden auch Viskoelastische Matratzen (*Memory Foam Mattresses*), Latexmatratzen und Naturmatratzen gehandelt. Die größten amerikanischen Matratzenhersteller sind *Sealy*, *Serta*, *Simmons*, *Spring Air*, *King Koil*, *Tempur-Pedic* und *Restonic*.<sup>[3]</sup>

## Siehe auch

- Bettware

## Referenzen

[1] <http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/Verbraucher-Matratzen;art131,2937100>

[2] en:Box-spring

[3] en:Sealy Corporation; en:Serta (company); en:Simmons Bedding Company; en:Spring Air Company; en:King Koil; en:Restonic Mattress

# Melasse

**Melasse** (frz. *mélasse*) ist ein honigartiger dunkelbrauner Zuckersirup, der als Nebenerzeugnis in der Zuckerproduktion aus Zuckerrohr, Zuckerrüben und auch Zuckerhirse anfällt. Melasse enthält neben etwa 60 Prozent Zucker (Saccharose und Raffinose) noch organische Säuren, Betain, Vitamine und anorganische Salze <sup>[1]</sup>. Der Zucker kann nicht mehr kristallisiert werden.

Melasse sollte nicht mit Zuckerrübensirup verwechselt werden, der durch Einkochen von Zuckerrüben gewonnen wird. Das Wort „Melasse“ ist ein französisch-spanisches Lehnwort, abgeleitet von *miel* für Honig. In Zuckerfabriken kann der Zucker aus Melasse



Melasse

mittels Chromatographie abgetrennt werden. Aus technischen Gründen muss die Melasse dazu mit Ionenaustauschern enthärtet werden. Traditionell wird dies in Deutschland nicht angewandt, ist aber in den USA, ebenso wie in Frankreich oder Österreich nicht selten.

## Verwendung von Melasse

Der größte Teil der Melasse wird in der Landwirtschaft als direktes Futtermittel sowie als Pelletbilder für Futterpellets für Vieh eingesetzt. Zudem wird sie als zuckerhaltiger Sirup auf vielfältige Weise im Bereich der Nahrungsmittelindustrie eingesetzt und stellt er einen wichtigen Fermentationsrohstoff im Bereich der Biotechnologie dar. In Deutschland wurden bsp. im Jahr 2006/07 über 780.000 t Melasse verwendet, von denen über 530.000 t für Futterzwecke verwendet wurden. In der Hefeproduktion wurden etwa 65.000 t verwendet und fast 10.000 t gingen in Alkoholbrennereien, die restlichen über 170.000 t nutzten sonstige Anwender. <sup>[2]</sup>

Innerhalb der Fermentationsindustrie stellt Melasse neben Zuckerdicksaft die günstigste Kohlenhydratquelle dar, die Hefefermentation ist derzeit neben der Produktion von Bioethanol als

Biokraftstoff das Haupteinsatzfeld für Melasse. Trinkalkohole auf der Basis von Melasse sind vor allem Rum, doch auch Wodka und indischer Whisky sowie reiner Alkohol für Industrie und Medizin wird auf Melassebasis hergestellt. Weitere Fermentationsprodukte sind Glutaminsäure als Vorprodukt bei der Mononatriumglutamat-Produktion, Zitronensäure (siehe Jungbunzlauer) und einige weitere Produkte. Als Restprodukt der Melasse-Vergärung entsteht die Vinasse, die zur Eiweißanreicherung in Futtermitteln oder zur Düngung eingesetzt werden kann.

In der pharmazeutischen Industrie wird Melasse als Nährmedium für Mikroorganismen zur Herstellung von Antibiotika (z. B. Penicillin) und in der biotechnologischen Industrie als Nährmedium für Mikroorganismen zur Herstellung von Enzymen (z. B. Amylasen) genutzt. Außerdem dient sie zur Herstellung von Aromatabak, sowie zur



Beispiele für dunklen, hellen und klaren Rum

Befeuchtung von Wasserpfeifentabak, der in Deutschland nach den Richtlinien für Pfeifentabak verkauft wurde.

Als Nahrungsmittel ist reine Melasse in der Regel in Reformhäusern und in Naturkostläden zu finden. Sie kann als Brotaufstrich oder zum Backen verwendet werden. Zum Trinken löst man etwas Melasse in heißem Wasser auf und gibt einen Schuss Zitronensaft dazu.

## Siehe auch

- Karamell
- Maische
- Vinasse

## Literatur

- Stichwort *Sucrose Molasses*. In: Hans Zobelein (Hrsg.): *Dictionary of Renewable Resources*. 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim und New York 1996; Seite 286-287. ISBN 3-527-30114-3.

## Weblinks

- Melasse Gesundes "Abfallprodukt" der Zuckerindustrie von Karsten Theobald <sup>[3]</sup>

## Referenzen

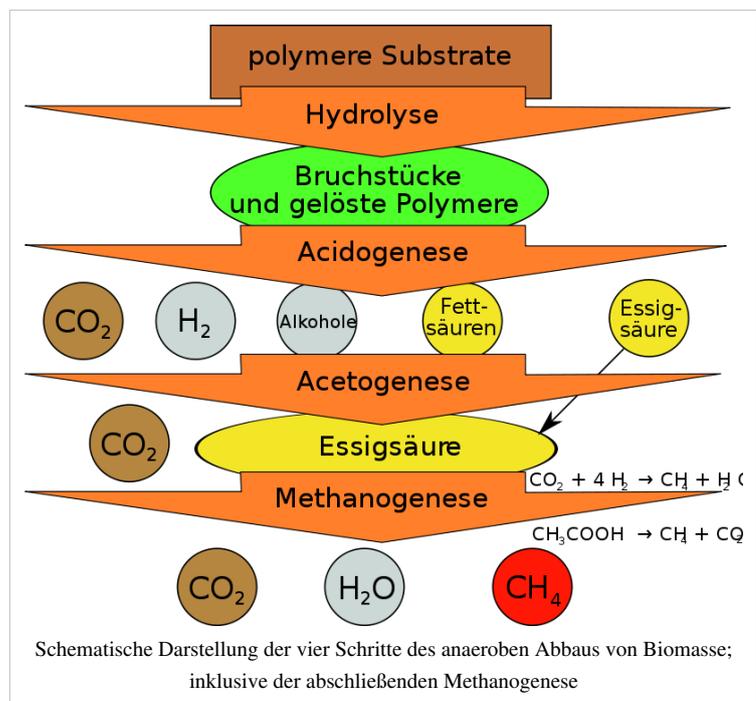
[1] Ternes, Täufel, Tunger, Zobel: Lebensmittel-Lexikon, Behr's Verlag, 2005; ISBN 3-89947-165-2

[2] Wirtschaftliche Vereinigung Zucker & Verein der Zuckerindustrie: *Jahresbericht 2007/08*. S. 26-28.

[3] [http://www.grenzenlos.net/archiv\\_new/arc\\_ges\\_melasse.htm](http://www.grenzenlos.net/archiv_new/arc_ges_melasse.htm)

# Methanbildung

Unter **Methanbildung** (auch **Methanogenese**) versteht man die Bildung von Methan ( $\text{CH}_4$ ) durch den Stoffwechsel von Lebewesen. Sie stellt die letzte Stufe des anaeroben Abbaus von Biomasse dar. Bisher sind nur Archaeen als methanbildende Lebewesen bekannt. In der obligat anaerob ablaufenden Methanogenese wird entweder Essigsäure durch Essigsäure abbauende (acetoklastische) Methanbildner in Methan und Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) umgewandelt oder es wird Methan und Wasser durch Oxidation von Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) durch Kohlenstoffdioxid gebildet. Die Methanbildner (Methanogenen) nutzen die exergone (Energie freisetzende) Methanogenese als Energiequelle.<sup>[1]</sup>



Neben den Bezeichnungen *Methanbildung*

und *Methanogenese* werden weitere für die Bildung von Methan verwendet. Insbesondere in technischen Anwendungen zur Methanerzeugung (Biogasanlage, Klärwerk) spricht man von Methangärung.

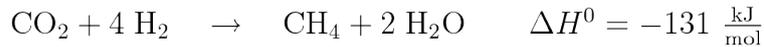
## Chemische Reaktionen

Der anaerobe Abbau von Biomasse findet in den vier Schritten Hydrolyse, Acidogenese, Acetogenese und Methanbildung statt. Die Produkte aus der Acido- und Acetogenese - im Wesentlichen Essigsäure, Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff - werden in der Methanogenese in Methan umgewandelt.

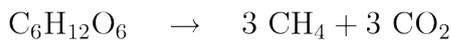
- Essigsäure abbauende (acetoklastische) Methanbildung:



- Methanbildung aus Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff:

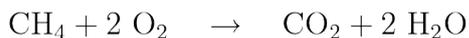


Für Kohlenhydrate als Bestandteile von Biomasse ergibt sich beispielsweise die Summengleichung des Abbaus von Glucose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) oder Fructose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ):



Der Abbau von kohlenhydratreicher Biomasse führt demnach zu einem Produkt mit einem Mol- und Volumen-Verhältnis von Methan zu Kohlenstoffdioxid von etwa 1 : 1. Aus Biomasse mit hohen Anteilen an Protein oder Fett können diese beiden Produkte in anderen Mengenverhältnissen entstehen.

Die Nutzung des Methans in technischen Anwendungen, wie z. B. einem an eine Biogasanlage angeschlossenes Blockheizkraftwerk (BHKW), erfolgt durch Oxidation mit Sauerstoff:



## Biochemische Reaktionen

Bei der Reduktion von Carboxygruppen (-COOH) zu Methan und von Kohlenstoffdioxid zu Methan spielen Enzyme mit charakteristischen Coenzymen eine Rolle. Diese kommen nur bei Methanbildnern vor. Insbesondere sind dies die Coenzyme Tetrahydromethanopterin, Coenzym M und ein Corrin-Enzym, sowie spezielle Elektronen- bzw. Wasserstoffüberträger.

Diese Umsetzungen sind exergon (Energie freisetzend), so dass die Methanbildung den Methanbildnern als Energiequelle dienen kann. Die Änderung der Freien Energie ( $\Delta G_0'$ ) unter Standardbedingungen, jedoch bei pH = 7, beträgt bei der Methanbildung aus Essigsäure  $-36 \text{ kJ mol}^{-1}$  und bei der Methanbildung aus Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff  $-131 \text{ kJ mol}^{-1}$ . [2] In der Natur treten oft deutliche Abweichungen von den Standardbedingungen auf (anderer pH-Wert, andere Temperatur, keine Standardkonzentration von Edukten und Produkten), wodurch sich die Energiebilanz der Methanogenese deutlich ändern kann.



Faulturm einer Kläranlage für die Methanbildung

## Vorkommen und Anwendung

Die Methanbildung kommt in der Natur in anaeroben Milieus vor, in denen ein Abbau von Biomasse stattfindet. Das können beispielsweise Sedimente von Seen, der Pansen von Rindern und der Darm von Termiten sein. Gelangt das Methan in aerobe Bereiche, können Methanotrophe es durch Oxidation mit Sauerstoff zur Energiegewinnung nutzen.

Methan enthält noch einen großen Teil der Energie, die im Ausgangsprodukt Biomasse gespeichert war. Das macht man sich in verschiedenen technischen Anwendungen zu Nutze. So wird in Fermentern von Biogasanlagen, Faultürmen von Klärwerken und in Deponiekörpern die Methanbildung zur Erzeugung von Faulgasen (Biogas, Klärgas, Deponiegas) verwendet. Die dabei eingesetzte Biomasse wäre mit anderen Verfahren nicht oder nur schwierig energetisch nutzbar.

## Quellen

### Literatur

- *Lexikon der Biologie*. Band 9, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2002 ISBN 3-8274-0334-0
- 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

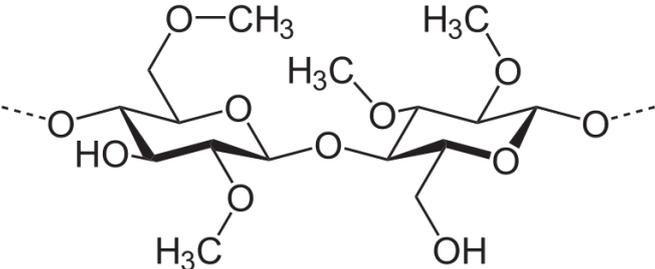
### Siehe auch

- Gärung
- Grubengas

### Referenzen

- [1] "Brock: Mikrobiologie", Madigan et al., Spektrum akademischer Verlag Heidelberg - Berlin, 2001, erste deutsche Übersetzung, 1176 Seiten
- [2] berechnet nach Rudolf K. Thauer, Kurt Jungermann, Karl Decker: *Energy Conservation in Chemotrophic Anaerobic Bacteria*. In: *Bacteriological Reviews*. Bd. 41, Nr. 1, 1977, S. 100-180.

# Methylcellulose

Strukturformel	
 <p>Ausschnitt aus einem Methylcellulosepolymer, Substitutionsgrad 2</p>	
Allgemeines	
Name	Methylzellulose
Andere Namen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E 461</li> <li>• Cellulosemethylether</li> </ul>
CAS-Nummer	9004-67-5 99638-59-2
ATC-Code	A06 AC06 <sup>[1]</sup>
Kurzbeschreibung	weißes Pulver
Arzneistoffangaben	
Wirkstoffklasse	Laxans
Monomer	
Monomer	methylierte Cellobiose
Summenformel	variabel
Molare Masse	variabel
Eigenschaften	
Aggregatzustand	fest
Sicherheitshinweise	
Gefahrstoffkennzeichnung <sup>[2]</sup>	
<i>keine Gefahrensymbole</i>	
R- und S-Sätze	R: <i>keine R-Sätze</i>
	S: <i>keine S-Sätze</i>
Bitte beachten Sie die eingeschränkte Gültigkeit der Gefahrstoffkennzeichnung bei Arzneimitteln	
Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.	

**Methylcellulose** (fachsprachlich, standardsprachlich **Methylzellulose**) ist eine chemische Verbindung, die von Cellulose abgeleitet ist; chemisch handelt es sich um einen Celluloseether mit ähnlicher Bedeutung wie Carboxymethylcellulose. Sie ist ein hydrophiles weißes Pulver und löst sich in kaltem (aber nicht in heißem) Wasser auf und bildet dabei eine zähflüssige Lösung oder ein Gel.

Methylcellulose ist der Hauptbestandteil vieler Tapetenkleister und wird unter einer Vielzahl von Handelsnamen verkauft. Sie dient zudem als Verdickungsmittel und Emulgator in verschiedenen Nahrungsmittel- und Kosmetikprodukten sowie als Bestandteil von Arzneimitteln. Wie Cellulose ist auch Methylcellulose nicht verdaulich, nicht allergen und nicht giftig.

## Gewinnung und Darstellung

Methylcellulose tritt nicht natürlich auf, sondern wird synthetisch produziert, indem Cellulose in eine heiße, alkalische Lösung (eine Lauge, zum Beispiel Natriumhydroxid) gegeben und mit Methylhalogeniden behandelt wird.

Methylcellulose wird technisch durch die Umsetzung von alkalisch vorbehandelter Cellulose mit Methylchlorid bei erhöhter Temperatur unter Druck hergestellt.<sup>[3]</sup>

## Chemische Eigenschaften

Chemisch ist Methylcellulose ein Methylether der Cellulose und entsteht durch Ersatz der Wasserstoffatome der Hydroxygruppen durch Methylgruppen.

Es gibt unterschiedliche Arten von Methylcellulosen, abhängig von der Zahl der Hydroxylgruppen, die ersetzt werden. Cellulose ist ein Kettenmolekül, das aus zahlreichen verbundenen Glucosemolekülen besteht, von denen jedes drei Hydroxylgruppen besitzt. Der Grad des Ersatzes (*degree of substitution*, DS) einer gegebenen Form von Methylcellulose wird wie die durchschnittliche Zahl ersetzter Hydroxylgruppen pro Glucose definiert. Das theoretische Maximum ist folglich ein DS von 3,0, typische Werte liegen im Bereich von 1,3 bis 2,6.

Methylcellulose löst sich in kaltem Wasser auf, wobei die Löslichkeit mit höherem DS-Wert abnimmt, weil die polaren Hydroxylgruppen zunehmend durch unpolare Ethergruppen ersetzt sind. Niedrig substituierte Methylcellulosen mit einem DS-Wert unter 1 benötigen zur Lösung ein alkalisches Milieu. Die Substanz ist in heißem Wasser > 55°C schwerer löslich als in kaltem, was den Effekt hat, dass das Erhitzen einer gesättigten Lösung von Methylcellulose zu deren Ausfällen führt. Die Temperatur, bei der dieser Effekt auftritt, hängt vom DS-Wert ab. Höher substituierte Methylcellulosen sind auch in organischen Lösungsmitteln löslich<sup>[4]</sup>. Da der DS-Wert der Methylcellulose nie einheitlich ist, gibt es immer Partikel, die sich nicht lösen lassen, aus dem Grund werden häufig Mischungen von Celluloseethern produziert, die neben Methylcellulosen auch Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) und Hydroxypropylethylcellulose (HEMC) oder Ethylmethylcellulose (EMC) enthalten.

Aufgrund der unterschiedlichen funktionellen Gruppen -OH und OCH<sub>3</sub> besitzt die Methylcellulose sowohl hydrophile wie hydrophobe Eigenschaften. Dadurch verringert sie in Lösung die Oberflächenspannung und wirkt emulgierend bei Zwei-Phasen-Mischungen. In Betonmischungen erhöht sie die Wasserhaltefähigkeit und verzögert damit die Abbindung, damit die verschiedenen Bestandteile mehr Zeit für chemische Reaktionen mit dem enthaltenen Wasser haben. In Ethermischungen bildet sich ein Film, der über die Zugabe von Formaldehyd reguliert werden kann. Bei Methylcellulosen höherer Substitutionsquoten bildet dieser Film ein thermoplastisches Polymer, das bei Temperaturen von 120 bis 190°C extrudierbar zu wasserlöslichen Folien ist.

## Verwendung

Methylcellulose ist eine vielfältig einsetzbare Verbindung. So werden Methylcellulosen als Verdickungs-, Binde-, Klebe-, Dispergier-, Suspendier-, Emulgier-, Sedimentations-, Filterhilfs-, Flockungs-, Quell-, Gleit- und Wasserrückhaltemittel sowie als Schutzkolloid und Filmbildner eingesetzt. Es wird häufig auch Haarshampoos, Zahnpasten und flüssigen Seifen hinzugefügt, um deren charakteristische, starke Konsistenz zu erzeugen<sup>[4]</sup>.

## Lebens- und Genussmittel

Methylcellulosen (Zusatzstoffnummer *E 461*) wie auch andere chemisch modifizierte Abkömmlinge der Cellulose (*E 463* bis *469*) sind in der EU als Lebensmittelzusatzstoff für verschiedene Verwendungszwecke zugelassen.<sup>[5]</sup> Im Lebensmittelbereich sind sie als Gelier-, Verdickungs- und Überzugsmittel sowie als Emulgator und Stabilisator häufig Bestandteil von Speiseeis, Backwaren, Kuchencremes, Mayonnaise, Instantprodukten und Tiefkühlkost. Folien aus Methylcellulose können als essbare Folien Verwendung finden.

Im Genussmittelbereich dienen sie als Bindemittel für Tabakstücke, um daraus Zigarrenblätter zum Rollen der Zigarren herzustellen. Diese müssen einen Anteil von mehr als 75% Tabak haben, den Rest stellen Bindemittel dar.<sup>[6] [7]</sup>

## Medizin

Wässrige Lösungen der Methylcellulose werden als Augentropfen zur Behandlung des trockenen Auges verwendet („künstliche Tränenflüssigkeit“).<sup>[8] [9] [10]</sup>

Methylcellulose wird nach oraler Gabe nicht durch den Darm aufgenommen, bindet große Mengen Wasser und wirkt deshalb abführend. Sie kann wegen ihrer Quellwirkung als Laxans (Abführmittel) eingesetzt werden,<sup>[11]</sup> um eine Verstopfung zu behandeln, jedoch ist diese Anwendung von untergeordneter Bedeutung<sup>[12]</sup> und in Deutschland eher ungebräuchlich.

In der konventionellen Radiologie wird Methylcelluloselösung als sogenanntes negatives Kontrastmittel eingesetzt. Der Film wird an den Stellen, wo die Methylcellulose sich angereichert hat, stärker belichtet (sie erscheint schwarz am Röntgenbild). Hauptsächlich findet sie Verwendung in der Darstellung des Dünndarms.

## Pharmazie

Neben der Verwendung als Arzneistoff wird Methylcellulose vielfach als pharmazeutischer Hilfsstoff in der Arzneimittelherstellung verwendet: beispielsweise zur Viskositätssteigerung in flüssigen Arzneizubereitungen, zur Stabilisierung von Emulsionen und Suspensionen, als Gelbildner in Cremes und Gelen, als Bindemittel für Tablettengranulate, als Gerüststoff und Sprengmittel für Tabletten sowie als Filmbildner für Lacktabletten.<sup>[8] [13]</sup>

Pharmazeutische Qualitäten der Methylcellulose enthalten gemäß der Charakterisierung im Europäischen Arzneibuch einen Methoxygruppenanteil von 26 % bis 33 %, was einem Substitutionsgrad von etwa 1,6 bis 2,0 gleichkommt. Die mittlere Molmasse liegt bei 10.000 bis 220.000 Gramm pro Mol entsprechend einem Polymerisationsgrad von ungefähr 50 bis 1000.<sup>[8]</sup> Die verschiedenen Typen der pharmazeutisch verwendeten Methylcellulose sind durch die Angabe der Viskosität einer wässrigen Lösung bei vorgeschriebener Konzentration zu kennzeichnen. In kaltem Wasser löst sich Methylcellulose pharmazeutischer Qualität unter Bildung einer kolloidalen Lösung; in heißem Wasser, in Aceton, wasserfreiem Ethanol und Toluol ist sie praktisch unlöslich.<sup>[14]</sup> Der pH-Wert einer 1%igen Lösung liegt zwischen 5,0 und 8,0. Es besteht eine Reihe von Unverträglichkeiten mit anderen Stoffen, die zu Ausfällungen („Verklumpung“) der Methylcellulose führen können.

In ophthalmologischen Zubereitungen wird Methylcellulose in Konzentrationen von 0,5–1,0 % eingesetzt.<sup>[8]</sup>

## Technische und sonstige Verwendung

Methylcellulose ist der Hauptbestandteil vieler Tapetenkleister und kann als milder Klebstoff eingesetzt werden, der mit Wasser abgewaschen werden kann. Zum Beispiel kann sie zur Fixierung bei der Restaurierung empfindlicher Kunstgegenstände Anwendung finden.

In großem Umfang wird Methylcellulose zur Produktion von Baustoffen eingesetzt. So wird sie zum Beispiel trockenen Mörtelmischungen zugefügt, um die Eigenschaften des Mörtels wie Wasserrückhaltung, Viskosität und Adhäsion zu den Oberflächen zu verbessern. Außerdem wird sie aus den gleichen Gründen als Zusatzstoff in Putzmischungen und Kittsubstanzen beigefügt.<sup>[6]</sup> In Wand- und Textilfarben sowie in Tinten dient Methylcellulose als Dickungsmittel und in Reinigungsmitteln und Kosmetika als Emulgator und Stabilisator. Weitere Verwendungen sind als Samenummantelung in der Agrarindustrie und als Zusatzstoff zur Stabilisierung der Monomerlösung bei der Polymerisation von Vinylchlorid zu Polyvinylchlorid (PVC).<sup>[6]</sup>



Tapetenkleister

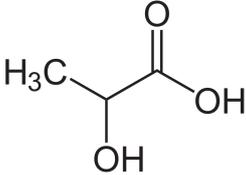
Das schleimige, klebrige Aussehen einer passenden Mischung von Methylcellulose mit Wasser, zusätzlich zu seinen ungiftigen, nicht-allergenen Eigenschaften, macht es zu einer gern benutzten Substanz bei Spezialeffekten in der Fotografie und im Fernsehen, wo Schlamm oder schleimige Substanzen benötigt werden. Im Film *Ghostbusters* beispielsweise war die klebrige Substanz einiger Geister meistens eine konzentrierte wässrige Lösung von Methylcellulose. Methylcellulose wird auch in der pornographischen Industrie häufig benutzt, um Sperma zu simulieren.

Methylcellulose wird wie Agar als Grundstoff in Kulturmedien der Mikrobiologie benutzt, beispielsweise um die Reproduktion von Viren zu untersuchen.

## Referenzen

- [1] [http://www.whocc.no/atc\\_ddd\\_index/?code=A06AC06](http://www.whocc.no/atc_ddd_index/?code=A06AC06)
- [2] Sicherheitsdatenblatt der Firma Carl Roth (<http://www.carl-roth.de/jsp/de-de/sdpdf/8421.PDF>)
- [3] Artikel *Methylcellulose* in der Chemgapedia (<http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/9/mac/funktionspolymere/verdicker/verdickungsmittel.vlu/Page/vsc/de/ch/9/mac/funktionspolymere/verdicker/mecell.vscml.html>)
- [4] Römpp CD 2006, Georg Thieme Verlag 2006
- [5] [zusatzstoffe-online.de \(http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/176.e461\\_methylzellulose.html\)](http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/176.e461_methylzellulose.html)
- [6] Stichwort *Methylcellulose* In: Hans Zobelein (Hrsg.): *Dictionary of Renewable Resources*. 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim und New York 1996; Seite 189-190. ISBN 3-527-30114-3.
- [7] Stichwort *Tobacco Industry* In: Hans Zobelein (Hrsg.): *Dictionary of Renewable Resources*. 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim und New York 1996; Seite 306-307. ISBN 3-527-30114-3.
- [8] *Handbook of Pharmaceutical Excipients*, 5th Edition (2006). Ray C. Rowe (Herausgeber), Paul J. Sheskey (Herausgeber), P.J. Weller (Herausgeber)
- [9] Mutschler, Geisslinger, Kroemer, Schäfer-Korting, Mutschler Arzneimittelwirkungen, 9. Auflage, 2008, ISBN 380471952X
- [10] Arzneimittelinformationssystem bei PharmNet.Bund
- [11] *Methylcellulose* In: Pschyrembel Klinisches Wörterbuch. 257. Auflage, de Gruyter Verlag Berlin 1994. ISBN 3-11-012692-3
- [12] Den trägen Darm ankurbeln (<http://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=5409>), in: Pharmazeutische Zeitung, Ausgabe 13, 2008.
- [13] Kommentar zum Europäischen Arzneibuch 6.1, Loseblattsammlung, 31. Lfg. 2009
- [14] Europäisches Arzneibuch 6. Ausgabe, Grundwerk 2008, 6.0/0345

# Milchsäure

Strukturformel	
	
Allgemeines	
Name	Milchsäure
Andere Namen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-Hydroxypropansäure</li> <li>• 2-Hydroxypropionsäure</li> <li>• (RS)-Milchsäure</li> <li>• (R)-Milchsäure</li> <li>• (S)-Milchsäure</li> <li>• E 270</li> </ul>
Summenformel	$C_3H_6O_3$
CAS-Nummer	50-21-5 10326-41-7 (D-Milchsäure) 79-33-4 (L-Milchsäure) 598-82-3 (Racemat)
PubChem	612 <sup>[1]</sup>
ATC-Code	G01 AD01 <sup>[2]</sup>
Kurzbeschreibung	farblose, fast geruchlose, ölige Flüssigkeit (Racemat) <sup>[3]</sup>
Eigenschaften	
Molare Masse	90,08 g·mol <sup>-1</sup>
Aggregatzustand	flüssig (Racemat) fest (D-Milchsäure) <sup>[3]</sup>
Dichte	1,21 g·cm <sup>-3</sup> (Racemat) <sup>[3]</sup>
Schmelzpunkt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 18 °C (Racemat)</li> <li>• 26 °C (Enantiomere) <sup>[4]</sup></li> </ul>
Siedepunkt	122 °C (20 hPa) (Racemat) <sup>[3]</sup>
Dampfdruck	10 Pa (25 °C) <sup>[3]</sup>
pK <sub>s</sub> -Wert	3,90 (25 °C) <sup>[5]</sup>
Löslichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vollständig mischbar mit Wasser <sup>[3]</sup></li> <li>• löslich in Ethanol <sup>[5]</sup></li> </ul>
Sicherheitshinweise	

Gefahrstoffkennzeichnung<sup>[3]</sup>

Reizend

(Xi)

R- und S-Sätze

R: 38-41

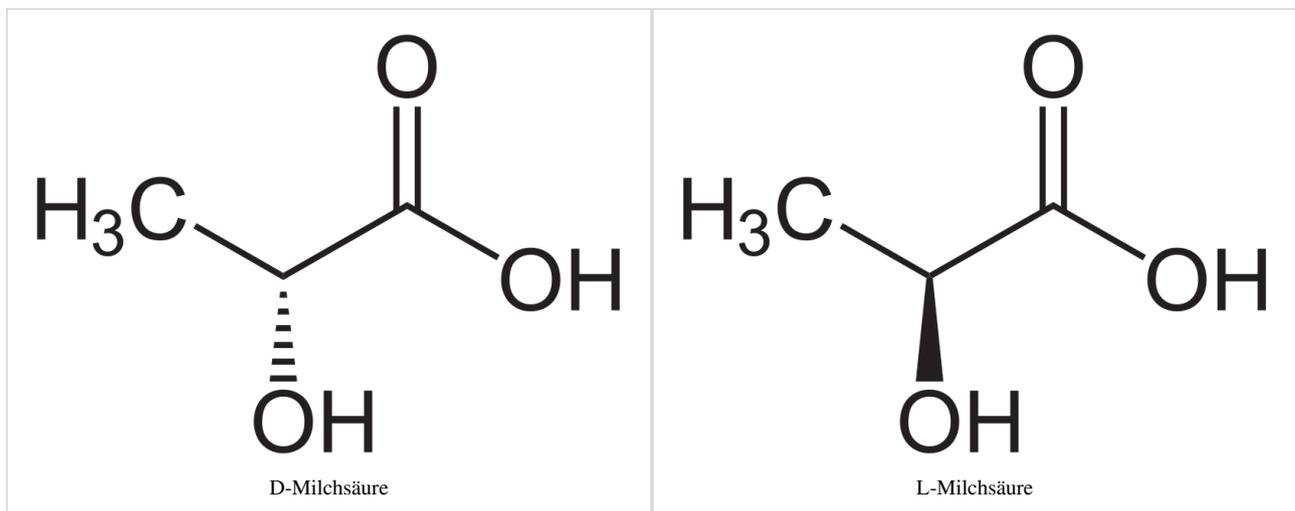
S: 26-39

**Bitte beachten Sie die eingeschränkte Gültigkeit der Gefahrstoffkennzeichnung bei Arzneimitteln**LD<sub>50</sub>3543 mg·kg<sup>-1</sup> (Ratte, oral)<sup>[6]</sup>

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

**Milchsäure** (lat. *acidum lacticum*) ist eine chemische Verbindung, die ein wichtiges Zwischenprodukt im Stoffwechsel darstellt. Milchsäure ist zum Beispiel ein Produkt beim Abbau von Zuckern durch anaerobe Glykolyse. Weltweit werden etwa 150.000 Tonnen Milchsäure produziert,<sup>[7]</sup> die vor allem in der Lebensmittelindustrie sowie zur Herstellung von Polylactiden (PLA) genutzt werden.

Die Milchsäure wird auch als 2-Hydroxypropionsäure bezeichnet, nach den Nomenklaturempfehlungen der IUPAC ist jedoch 2-Hydroxypropansäure zu verwenden. Ihre Halbstrukturformel lautet CH<sub>3</sub>-CHOH-COOH. Die Salze der Milchsäuren heißen Lactate. Die D-(–)-Milchsäure [Synonym: (R)-Milchsäure] wird auch als *linksdrehende Milchsäure*, die L-(+)-Milchsäure [Synonym: (S)-Milchsäure] auch als *rechtsdrehende Milchsäure* bezeichnet.



## Geschichte

Milchsäure wurde historisch sowohl in Europa wie auch in Asien zur Säuerung und Konservierung von Lebensmitteln, insbesondere für Milch (Sauermilch), Gemüse (bsp. Sauerkraut) und auch zur Herstellung von Silagen als Futtermittel bereits seit Jahrhunderten oder Jahrtausenden genutzt.

Die erste Entdeckung und Isolierung der Milchsäure geht auf Scheele im Jahr 1780 aus saurer Milch zurück. Die Fleischmilchsäure [L-(+)-Milchsäure] wurde von Jöns Jakob Berzelius im Jahr 1808 entdeckt und ihre Struktur 1873 von Johannes Wislicenus aufgeklärt. 1856 entdeckte Louis Pasteur die Milchsäurebakterien und entwickelte das Grundverständnis für die Milchsäuregärung. 1895 machte Boehringer Ingelheim die Entdeckung, wie Milchsäure mit Hilfe von Bakterien in großen Mengen hergestellt werden konnte – so wurde das Unternehmen zum Pionier der biotechnologischen Herstellung in industriellem Maßstab.

## Vorkommen

L-(+)-Milchsäure kommt im Schweiß, Blut, im Muskelserum, der Niere, Galle und im Speichel vor. Das Racemat, d. h. die 1:1-Mischung aus D- und L-Form der Milchsäure, stammt aus Sauermilchprodukten, Tomatensaft, Bier.

## Eigenschaften

Der spezifische Drehwert beträgt für D-Milchsäure  $[\alpha]_D^{20} = -2,6$  (H<sub>2</sub>O) und für L-Milchsäure  $[\alpha]_D^{15} = +3,82$  (H<sub>2</sub>O).<sup>[8]</sup>

Milchsäure bildet intermolekular Ester. Unter Abspaltung von Wasser entsteht als dimere Verbindung Lactoylmilchsäure, die beim längeren Stehen oder beim Erhitzen zu Polymilchsäure weiterverester. Diese Makromoleküle erreichen jedoch keine relevante Kettenlängen, um das Produkt technisch verwerten zu können.

In wässriger Milchsäurelösung liegt ein chemisches Gleichgewicht zwischen Milchsäure und ihren Estoliden vor. In 90-%iger Milchsäurelösung findet man etwa 70 % als freie Säure und 20 % als ihre Estolide vor. Aus zwei Milchsäuremolekülen entstehen unter Ringschluss und Abspaltung von zwei Wassermolekülen Dilactid mit einem sechsgliedrigen Ring (Dilacton). Diese Verbindung ist in wässriger Milchsäurelösung jedoch nicht enthalten. Aus Dilactiden lassen sich mittels Ringöffnungspolymerisation hochwertige Polyester erzeugen. Der entstehende Kunststoff ist biologisch abbaubar und zudem immunologisch neutral.

## Herstellung

Etwa 70 bis 90% der Weltproduktion an Milchsäure wird derzeit fermentativ hergestellt,<sup>[9]</sup> wobei beide reinen Enantiomere kommerziell durch Fermentationsverfahren mit Milchsäurebakterien in signifikanten Mengen produziert werden.<sup>[10]</sup> Biologisch entsteht bei der mikrobiellen Fermentation durch Lactobakterien häufig das Racemat der Milchsäure mit Anteilen von 50 bis 90% L-Milchsäure.<sup>[11]</sup>

Industriell erfolgt die Herstellung von Sauermilchprodukten durch Vergärung von Milch oder Molke vor allem durch *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus bulgaricus* und *Lactobacillus helveticus* während für industriell genutzte Milchsäure Zuckerdicksaft oder Stärkehydrolysate und *Lactobacillus delbrueckii* sowie Pentose-haltige Sulfitablaugen und *Lactobacillus pentosus* verwendet werden.<sup>[7]</sup> Die Bakterienstämme werden nach ihrer Eigenart, Glucose entweder nur zu Lactat (homofermentative Stämme) oder auch zu anderen Gärprodukten zu vergären (heterofermentativ), eingeteilt. Dabei werden den homofermentativen Arten neben *Lactobacillus casei* auch *Streptococcus pyogenes* und *Lactococcus lactis*, die pro Mol Glucose zwei Mol Lactat bilden, und den heterofermentativen *Leuconostoc mesenteroides* und *Lactobacillus brevis* mit einem Mol Lactat pro Mol Glucose sowie dem Nebenprodukt Essigsäure oder Ethanol.<sup>[11]</sup>

Synthetisch wird Milchsäure durch Wasseranlagerung an Acrylsäure oder Cyanwasserstoff (Blausäure, HCN) hergestellt.<sup>[7]</sup>

## Verwendung

### Ernährung, Futter- und Genussmittel

Eine Reihe von Lebensmitteln werden direkt durch Milchsäuregärung hergestellt. Darunter fallen vor allem die Sauermilchprodukte wie Sauermilch, Joghurt, Kefir und Buttermilch. Diese werden durch Infektion von pasteurisierter Milch mit Starterkulturen der Milchsäurebakterien hergestellt. Weitere Produkte sind lactofermentierte Gemüse wie Sauerkraut, Borschtsch oder Gimchi sowie Sauerteig und entsprechend Sauerteigprodukte. Auch Silagen, durch Vergärung haltbar gemachte Frischfuttermittel, basieren auf der Milchsäuregärung.<sup>[11]</sup>

Als Lebensmittelzusatzstoff trägt Milchsäure die Bezeichnung E 270. Sie wird in der Lebens- und Genussmittelindustrie vielfältig als Säuerungsmittel eingesetzt, so etwa in Backwaren, Süßwaren und vereinzelt in Limonaden. Durch die Änderung des pH-Wertes in den Lebensmitteln auf einen pH von etwa 4 kommt es zu einer Konservierung der Lebensmittel, da eine Besiedlung mit anderen Mikroorganismen weitgehend ausgeschlossen wird.<sup>[11]</sup>

In Form der Salze Calciumlactat oder Calciumlactatgluconat kann sie zudem zur Calciumanreicherung zugesetzt werden.

### Stoffliche Nutzung

Milchsäure ist das Monomer der Polylactide bzw. Polymilchsäuren (PLA), die als biologisch abbaubarer Biokunststoff vielfältige Verwendung findet. Milchsäure wird weiterhin in antibakteriellen Flüssigseifen, Reinigern und Geschirrspülmitteln verwendet. Die Desinfektionswirkung der Milchsäure entfaltet sich bei einem pH-Wert von 3-4; bereits bei pH 5 fehlt der Effekt allerdings.<sup>[12]</sup> Auch als Kalklöser ist die Milchsäure sehr wirksam.

Milchsäure wird auch in der Gerberei zum Entkalken von Häuten verwendet, weitere Anwendungsmöglichkeiten sind in der Textilindustrie und der Druckerei und Färbetechnik gegeben. Des Weiteren nutzen Imker die Milchsäure zur Behandlung ihrer Bienen gegen die Varroamilbe. Arachnologen verwenden Milchsäure, um die präparierte Epigyne von Spinnenweibchen oder andere Chitinstrukturen aufzuhellen und um Gewebereste aufzulösen, dadurch können sie bsp. zur Bestimmung der Art genauer untersucht werden.

Die Pharmazeutische Technologie nutzt Milchsäure beispielsweise, um in Wasser unlösliche basische Arzneistoffe in Salze der Milchsäure (Lactate) umzuwandeln, die dann besser wasserlöslich sind (Beispiel: Ciprofloxacin).<sup>[13]</sup> In der Kosmetik wird sie z. B. in Hautcremes und anderen Produkten zur Behandlung von Akne genutzt.



Joghurt und andere Sauermilchprodukte basieren auf Milchsäuregärung.



Einkaufsbeutel aus PLA-Blend Bio-Flex

## Physiologie

Bei starker Betätigung der Skelettmuskulatur kann es zum Anstieg des Blut-Lactatgehaltes von 5 mg/dl auf 100 mg/dl kommen. Die Ursache ist, dass bei anaeroben Bedingungen, wie beispielsweise bei schneller Betätigung der Skelettmuskulatur, Energie in Form von  $\text{NAD}^+$  aus der Hydrierung von Pyruvat mittels der Lactatdehydrogenase für die Fortführung der Glykolyse gewonnen werden muss. Die dabei anfallende Milchsäure (Lactat und  $\text{H}^+$ ) wird über den Monocarboxylat-Transporter 1 aus den Zellen geschwemmt. Dieser Vorgang wurde früher als Ursache des Muskelkaters verstanden, jedoch wird diese Theorie heute größtenteils als falsch betrachtet.

Für den Menschen ist die rechtsdrehende L-(+)-Milchsäure die physiologische. Oral eingenommen wird sie im Organismus schneller abgebaut als die linksdrehende D-(-)-Milchsäure<sup>[14]</sup>.

## Siehe auch

- Milchsäurebakterien
- Milchsäuregärung
- Pyruvat
- Pasteur-Effekt
- Enantiomer
- Fischer-Nomenklatur

## Weblinks

- Antibakterielle und konservierende Eigenschaften der Milchsäure<sup>[15]</sup>
- hier<sup>[16]</sup> gibt es eine 3D-Darstellung beider Milchsäuremoleküle zum Vergleich (L- und D-Milchsäure):

## Referenzen

- [1] <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=612>
- [2] [http://www.whocc.no/atc\\_ddd\\_index/?code=G01AD01](http://www.whocc.no/atc_ddd_index/?code=G01AD01)
- [3] Eintrag zu *Milchsäure* (<http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=id&id=biadb:r:013000&t=main-h.htm>) in der GESTIS-Stoffdatenbank des IFA, abgerufen am 2. Dez. 2007 (JavaScript erforderlich)
- [4] Brockhaus ABC Chemie, F.A. Brockhausverlag Leipzig 1971
- [5] Thieme Chemistry (Hrsg.): *RÖMPP Online - Version 3.5*. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart 2009.
- [6] *Lactic acid* (<http://chem.sis.nlm.nih.gov/chemidplus/direct.jsp?regno=50-21-5>) bei ChemIDplus
- [7] 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.
- [8] *Milchsäure*. In: *Römpf Chemie-Lexikon*, Thieme Verlag, 2009 ( online (<http://www.roempp.com/prod/index1.html>))
- [9] Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths: *Technische Biopolymere*. Hanser-Verlag, München 2009; Seite 103. ISBN 978-3-446-41683-3
- [10] J. Crosby: *Chirality in Industry – An Overview*. In: A. N. Collins, G. N. Sheldrake und J. Crosby (Hrsg.): *Chirality in Industry*. Wiley, Heidelberg 1992; S. 10. ISBN 0-471-93595-6.
- [11] Rolf D. Schmid: *Taschenatlas der Biotechnologie und Gentechnik*. 2. Aufl. Wiley-VCH, Weinheim 2006; S.12-13. ISBN 978-3-527-31310-5.
- [12] <http://www.diss.fu-berlin.de/2004/204/litavm.pdf>
- [13] Axel Kleemann, Jürgen Engel, Bernd Kutscher und Dietmar Reichert: *Pharmaceutical Substances*, 4. Auflage (2000), 2 Bände erschienen im Thieme-Verlag Stuttgart, ISBN 978-1-58890-031-9, S. 482-484; seit 2003 online mit halbjährlichen Ergänzungen und Aktualisierungen.
- [14] Dr. Dieter Thierbach, <http://www.rp-online.de/public/article/wissen/umwelt/166072/Was-ist-rechtsdrehende-Milchsaeure.html>>
- [15] <http://www.diss.fu-berlin.de/2004/204/litavm.pdf>
- [16] <http://www.cup.uni-muenchen.de/cicum/tutor/enantio/milchsre.html>

# Mindergetreide

Als **Mindergetreide** werden Partien von Getreidekörnern bezeichnet, die den Qualitätskriterien für die Verwendung als Lebens- oder Futtermittel nicht entsprechen, weil sie zu stark verunreinigt sind oder Feuchtigkeitsschäden aufweisen. Auch zu hoch mit Schimmeligkeiten belastetes Getreide wird meist zum Mindergetreide gezählt.

## Aufkommen

Der Anteil von Mindergetreide und mit Schimmeligkeiten (Fusarientoxine) belastetem Getreide an der gesamten Getreideernte wird auf rund 7 Prozent geschätzt. Das entspricht etwa 3 Millionen Tonnen pro Jahr in Deutschland. Mit der Verschärfung der Qualitätsstandards für Futtermittel in Bezug auf Fusarientoxine<sup>[1]</sup> ist das Aufkommen an entsprechenden nicht marktfähigen Partien gestiegen. Je nach Witterungsverlauf in der Vegetationszeit und während der Ernte schwankt der Anteil an Mindergetreide stark von Jahr zu Jahr.<sup>[2]</sup>



Mit Mutterkorn verunreinigter Roggen

## Verwendung

Anfallendes Mindergetreide muss entsorgt werden und stellt daher einen Kostenfaktor dar, wenn es keiner anderen Verwertung zugeführt werden kann. Für Mindergetreide, das auf dem Markt abgesetzt werden kann, wurden die Marktpreise im Jahr 2002 auf rund 20 bis 60 Prozent des Preises für einwandfreie Getreidekörner geschätzt.<sup>[3]</sup>

Wegen des dezentralen Anfalls direkt beim Landwirt und des geringen Marktwertes sowie wegen der nicht vorhandenen Nahrungsmittelkonkurrenz gilt Mindergetreide als besonders geeigneter Einsatzstoff für die Getreideverbrennung zur dezentralen Wärmeerzeugung. Aufgrund der seit 2006 stark gestiegenen Preise für Konsumgetreide sind für die Getreideverbrennung inzwischen vor allem Mindergetreide und Getreide-Ausputz (Reste aus der Getreidereinigung: Klein- und Bruchkorn, Spelzen, Unkrautsamen) vorgesehen.

In Ethanolanlagen lässt sich Mindergetreide nicht, in Biogasanlagen nur bedingt einsetzen.

## Literatur

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): Heizen mit Getreide und Halmgut. Broschüre, August 2007. (PDF-Dokument <sup>[4]</sup>)

## Referenzen

- [1] Verordnung (EG) Nr. 856/2005 der Kommission vom 6. Juni 2005 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 466/2001 in Bezug auf Fusarientoxine ( PDF-Datei ([http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/oj/2005/l\\_143/l\\_14320050607de00030008.pdf](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/oj/2005/l_143/l_14320050607de00030008.pdf)))
- [2] Andreas Schütte: Vortrag zum Fachseminar "Energetische Nutzung von Getreide und alternativen Biobrennstoffen in Kleinfeuerungsanlagen" am 21. Juni 2007 in Berlin, Folie 8. ( Powerpoint-Datei (<http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/getreideverbrennung2007/Schuette.ppt>))
- [3] Biomasse Info-Zentrum (BIZ) am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart: Getreideheizung - Rechtliche und technische Aspekte. 2002 ( PDF-Datei ([http://www.bayray.de/typo3v4/dlp/BIZ\\_Aspekte.pdf](http://www.bayray.de/typo3v4/dlp/BIZ_Aspekte.pdf)))
- [4] [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_291heizen\\_mit\\_getreide\\_2007.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_291heizen_mit_getreide_2007.pdf)

# Miscanthus

<i>Miscanthus</i>	
	
Chinaschilf ( <i>Miscanthus sinensis</i> )	
Systematik	
	Monokotyledonen
	Commeliniden
<i>Ordnung:</i>	Stüßgrasartige (Poales)
<i>Familie:</i>	Stüßgräser (Poaceae)
<i>Unterfamilie:</i>	Panicoideae
<i>Gattung:</i>	<i>Miscanthus</i>
Wissenschaftlicher Name	
<i>Miscanthus</i>	
Andersson, 1855	

***Miscanthus*** (griech. *mískos* = Stempel, Stiel; τὸ ἄνθος *to ánthos* = „die Blume“, „die Blüte“ u. a.), zu Deutsch auch „Stielblütengras“, ist eine Pflanzengattung aus der Familie der Poaceae (Stüßgräser), die je nach Quelle zwischen 14 und 20 Arten umfasst.<sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup> Die Gattung ist vorwiegend in feuchten Wiesen und Sümpfen von Afrika bis Ostasien beheimatet, insbesondere findet sich eine Reihe von Arten in China und Japan.<sup>[2]</sup> Während das Chinaschilf (*M. sinensis*) vor allem als Zierpflanze genutzt wird, ist das Riesen-Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*) eine bedeutende Energiepflanze.

## Beschreibung

Bei den Arten der Gattung handelt es sich um ausdauernde, laubwerfende oder immergrüne, büschelige oder rhizombildende Gräser. Die schilffartigen Sprosse tragen lineale oder schmal lanzettliche, gefaltete, überhängende Blätter, die von hell- oder mittelgrüner oder blau bis purpurgrüner Farbe sein können.

Die Gattung kann leicht anhand ihres Blütenstandes erkannt werden.<sup>[2]</sup> Die Blütenstände bestehen aus dichten, endständig angeordneten, überhängenden Rispen, die sich aus den paarig angelegten und basal lang seidig behaarten Ährchen bilden. Die Blütenstände erscheinen im Spätsommer und Herbst und tragen nach langen, heißen Sommern vermehrt Blüten.



Blüte des Miscanthus

## Verwendung

Der auch als Riesen-Chinaschilf bekannte schnellwüchsige Hybrid *Miscanthus* × *giganteus* (aus *M. sacchariflorus* und *M. sinensis*) bietet wegen seines hohen Brennwertes und seiner günstigen Kohlendioxidbilanz günstige Voraussetzungen zur Verwendung als nachwachsender Lieferant von Biomasse, Brennstoff oder Baustoff.<sup>[3]</sup>

Als Zierpflanzen werden *Miscanthus*-Arten als Solitärpflanzen oder in Misch- und Krautrabatten gepflanzt. Chinaschilf ist auch zur Bepflanzung von Gewässerrändern und als Sichtschutz für die Sommerzeit geeignet. Die Blütenstände können als Schnittblumen geerntet werden. Die genutzten *Miscanthus*-Arten sind voll frosthart bis frosthart und vertragen fast alle Kultur-Bedingungen.

## Artenliste (Auswahl)

- *Miscanthus capensis* (Nees) Andersson<sup>[1]</sup>
- *Miscanthus floridulus* (Labillardière) Warburg ex K. Schumann & Lauterbach<sup>[2]</sup>
- *Miscanthus nepalensis* (Trinius) Hackel in A. Candolle & C. Candolle<sup>[2]</sup>
- *Miscanthus oligostachys* Stapf<sup>[1]</sup>
- *Miscanthus purpurascens* (Nees) Andersson
- *Miscanthus sacchariflorus* (Maximowicz) Hackel in Engler & Prantl<sup>[2]</sup>
- *Miscanthus sinensis* Andersson<sup>[2]</sup>
- *Miscanthus tinctorius*

## Belege

### Einzelnachweise

Die Informationen dieses Artikels entstammen zum größten Teil den unter Literatur angegebenen Quellen, darüber hinaus werden folgende Quellen zitiert:

- [1] USDA, ARS, National Genetic Resources Program. Germplasm Resources Information Network - (GRIN) [On-line Datenbank]. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. URL: <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/splist.pl?7661> (17 February 2008) und URL: <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/genus.pl?7661> (17. Februar 2008)
- [2] Chen Shouliang & Stephen A. Renvoize, 188. *Miscanthus Andersson*, *Öfvers. Kongl. Vetensk.-Akad. Förh.* 12: 165. 1855, *Flora of China*, 22, 2006, S. 581–583. ( Online (<http://flora.huh.harvard.edu/china/PDF/PDF22/Miscanthus.pdf>))
- [3] Wolfgang Franke (Begr.), Reinhard Lieberei & Christoph Reisdorff, *Nutzpflanzenkunde*, 7. Aufl., Thieme, Stuttgart & New York 2007, S. 411, ISBN 978-3-13-530407-6

## Literatur

- Christopher Brickell (Hrsg.), Wilhelm Barthlott (Hrsg. der dt. Ausg.), Nadja Biedinger & Rüdiger Seine (Bearb. und Übers. aus dem Englischen), *The Royal Horticultural Society - DuMont's große Pflanzen-Enzyklopädie A-Z - das illustrierte Lexikon der 15000 Garten- und Zimmerpflanzen* [engl. Original: *The Royal Horticultural Society. A-Z Encyclopedia of Garden Plants*, Dorling Kindersley, London 1996], Band 2 K - Z, DuMont, Köln 1998, ISBN 3-7701-4350-7, S. 677

## Weblinks

- [www.miscanthus.de](http://www.miscanthus.de) (<http://www.miscanthus.de/>) - Informationen der Lehr- und Forschungsstation der Universität Bonn zu *Miscanthus sinensis*

# Mitteldichte Holzfaserplatte

Die **mitteldichte Holzfaserplatte** oder **mitteldichte Faserplatte** oder auch **MDF-Platte** (medium density fiberboard) ist ein plattenförmiger Holzwerkstoff aus Holzfasern und Kunstharzklebstoff mit einer Dichte von 150 – 800 kg/m<sup>3</sup>.

## Eigenschaften

Die MDF-Platte verfügt über eine glatte Oberfläche auf beiden Seiten und eine hohe Querkzug- und Biegefestigkeit. Die Biegefestigkeit einer MDF-Faserplatte ist fast doppelt so hoch wie die einer einfachen Holzspanplatte. Im Handel sind Dicken von 2–60 mm erhältlich. Die Zusammensetzung einer MDF-Platte in Bezug auf die verwendeten Zusatzstoffe ist von ihrem Verwendungszweck abhängig. Eine beispielhafte Zusammensetzung für eine MDF-Möbelplatte, welche entsprechend der Emissionsklasse E1 mit einem UF-Leim hergestellt wurde, ist: 80–83 % Holz, 9–10,5 % Bindemittel, 0,5–2,5 % Zusatzstoffe und 6–8 % Wasser.

Nach der DIN EN 316 wird eine Unterscheidung in Hochdichte Faserplatte (HDF) ( $\geq 800 \text{ kg/m}^3$ ), Leicht-MDF ( $\leq 650 \text{ kg/m}^3$ ) und Ultraleicht-MDF ( $\leq 550 \text{ kg/m}^3$ ) vorgenommen. Die genauen Platteneigenschaften und Anforderungen werden in der DIN EN 622-1 (Faserplatten: Allgemeine Anforderungen) und DIN EN 622-5 (Anforderungen an Platten nach dem Trockenverfahren – MDF) für verschiedene Anwendungszwecke definiert.

## Herstellung

### Holz

Faserplatten können aus Nadelhölzern und Laubhölzern hergestellt werden. Die überwiegende Menge der in Europa hergestellten MDF-Platten besteht aus Nadelhölzern. Theoretisch können jedoch fast alle Hölzer zu MDF-Platten verarbeitet werden. Über den Einsatz entscheidet in erster Linie deren Verfügbarkeit.

### Bindemittel und Zusatzstoffe

Zumeist werden Harnstoff-Formaldehyd-Harze (Harnstoffharz) als Bindemittel eingesetzt. Nur in seltenen Fällen werden Melamin und Phenolharze oder Isocyanate (Polymeres Diphenylmethandiisocyanat - PMDI) verwendet. Als Bindemittel aus nachwachsenden Rohstoffen sind Tannine im industriellen Einsatz. Paraffin, welches den größten



Anteil der Zusatzstoffe ausmacht, wird in Form von Schmelzwachs oder Paraffinemulsion als Hydrophobierungsmittel eingesetzt, um die Quelleigenschaften der Platte zu verbessern. Harnstoff wird zum Teil bei den klassischen Formaldehydleimen als Fänger eingesetzt, um die Formaldehydemissionen der Platte zu reduzieren. Ammoniumsulfat oder auch Ammoniumnitrat werden in Spuren als Härter für eine schnellere Abbindung von Formaldehydleimen eingesetzt. Fungizide oder auch Insektizide werden eingesetzt, um die MDF-Platten gegen biologischen Angriff z. B. durch Termiten oder Pilze zu schützen. Im Bereich der Bauverordnung werden für bestimmte Anwendungsfälle schwer entflammable Produkte gefordert. Für diesen Einsatzfall können MDF-Platten mit entsprechenden Brandhemmern versehen werden.

## Herstellungsverfahren

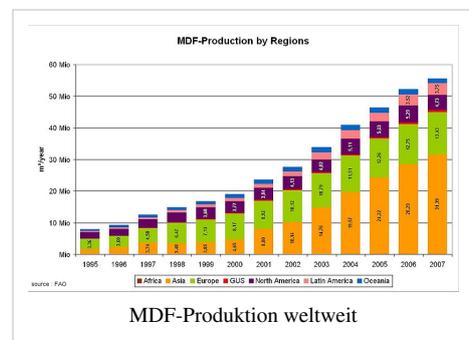
Ein typisches Herstellverfahren besteht darin, dass das Holz zu Hackschnitzeln zerkleinert wird, welche anschließend thermisch erweicht und mechanisch zu Holzfasern aufgelöst und im Trockenverfahren zu einem Vlies verdichtet werden. Die Fasern werden mit einem Bindemittel vermischt, getrocknet und vor dem Pressen zu einer Matte geformt. Diese Matte wird zwischen beheizten und polierten Pressen zu einer Platte der gewünschten Dicke verpresst. <sup>[1]</sup>

## Verwendung

Rohplatten finden im Innen- und Dachausbau Anwendung. Faserplatten in beschichteter Form werden als Trägerplatte für Laminatfußböden und im Möbelbereich für Möbel- und Küchenfronten, im Ladenbau und Lautsprecherbau eingesetzt. Aus MDF-Platten werden ganze Möbelserien gefertigt. Sie eignen sich gut zum Herstellen von Profilverzierungen, zum Beispiel bei Küchenfronten. MDF kann vielseitig mit Farben und Lacken behandelt werden, somit entsteht eine glatte, saubere Fläche mit profilierten Kanten, Ausfräsungen usw.

## Marktentwicklung und wirtschaftliche Bedeutung

Erfunden wurde die MDF-Platte in den 60er Jahren in den USA. In Europa fand sie erst Ende der 1980er Jahre eine größere Verbreitung. Entsprechend dieser Entwicklung weitete sich die weltweite Produktion von MDF aus. Nach anfänglich langsamem Wachstum erreichte die weltweite Produktion von MDF in den 1990er Jahren bereits 10 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr. Anschließend beschleunigte sich die Produktion noch einmal erheblich, so dass bereits im Jahr 2007 weltweit mehr als 55 Mio. m<sup>3</sup> MDF erzeugt wurden (Quelle FAO). Auf Grund ihrer technischen Eigenschaften zählt die MDF-Platte seither weltweit zu den am stärksten wachsenden Holzwerkstoffprodukten. Auch in Deutschland erlangte die MDF-Platte große wirtschaftliche Bedeutung. Nach einem starken Produktionsanstieg in den Jahren 2002-2005 brach die Produktion 2008 jedoch um 9,3% im Vergleich zum Vorjahr auf 3,9 Mio. m<sup>3</sup> ein. <sup>[2]</sup>



## Literatur

- André Wagenführ, Frieder Scholz: *Taschenbuch der Holztechnik*. Fachbuchverlag im Carl Hanser Verlag, Leipzig 2008; S.127-259. ISBN 978-3-446-22852-8
- M. Dunky, P. Niemz: *Holzwerkstoffe und Leime*. Springer, Heidelberg, 2002, ISBN 3-540-42980-8
- Gesamtverband deutscher Holzhandel e.V. (deutsch) <sup>[3]</sup>

## Weblinks

- Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V (deutsch) <sup>[4]</sup>
- European Panel Federation (englisch) <sup>[5]</sup>
- Gesamtverband deutscher Holzhandel e.V. (deutsch) <sup>[6]</sup>

## Siehe auch

- Faserplatte

## Referenzen

[1] <http://www.vhi.de/VHI-SPL-MDF.cfm> Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V (deutsch)

[2] Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrie (VHI). Branchendaten 2008

[3] [http://www.holzhandel.de/faserplatte\\_verwendung.html](http://www.holzhandel.de/faserplatte_verwendung.html)

[4] <http://www.vhi.de>

[5] <http://www.europanel.org/>

[6] <http://www.holzhandel.de>

---

# Mohrenhirse

Mohrenhirse

Zuckerhirse ( <i>Sorghum bicolor</i> ), im Feld.
Systematik
<i>Klasse:</i> Einkeimblättrige (Liliopsida)
<i>Unterklasse:</i> Commelinaähnliche (Commelinidae)
<i>Ordnung:</i> Süßgrasartige (Poales)
<i>Familie:</i> Süßgräser (Poaceae)
<i>Gattung:</i> <i>Sorghum</i>
<i>Art:</i> Mohrenhirse
Wissenschaftlicher Name
<i>Sorghum bicolor</i>
(L.) Moench

**Mohrenhirse** (*Sorghum bicolor*), auch **Durrakorn**, **Besenkorn**, *Great Millet* und *Milo Millet* genannt, ist die wichtigste Hirse-Art in der Gattung *Sorghum* aus der Familie der Süßgräser (Poaceae). Als **Zuckerhirse** bezeichnet man alle stark zuckerhaltigen Formen dieser Art. Weitere Bezeichnungen für Sorten der Art sind **Körnerhirse**, **Faserhirse** oder **Futterhirse**.

Die botanisch gebräuchliche Bezeichnung für die in der Regel als Ungras bekämpfte Sorghumart **Wilde Mohrenhirse** lautet *Sorghum halepense*.

## Beschreibung

Dieses einjährige Rispengras erreicht Wuchshöhen von 2,50 bis 5 Meter. Der Pflanzenaufbau ist Mais etwas ähnlich. Aus einem kräftigen Wurzelsystem bilden sich zwei bis drei Triebe. Am etwa 1,5 cm starken, markgefüllten Stängel sind die Laubblätter zweizeilig angeordnet. Die Blüten werden in kompakten bis lockeren Rispen gebildet. Die runden Karyopsen haben Durchmesser von 4 bis 8 mm, sie können je nach Sorte weiß, gelb oder rot sein.

## Verbreitung und Standortansprüche

Die Art stammt aus Afrika und ist dort sowie in Amerika, Asien und Europa in trockneren, warmen und gemäßigten Klimagebieten als Futtergras verbreitet. Die Standortansprüche der wärmeliebenden und frostempfindlichen Pflanze sind gering, lediglich staunasse, kalte Böden meidet sie. Tiefgründige (sandige) Lehmböden sind ideal. Die ausgeprägte Trockenheitstoleranz der Mohrenhirse wird gefördert durch die Fähigkeit, das Wachstum bei Trockenheit zu unterbrechen und später wieder aufzunehmen.

## Geschichte

Afrikanische Sklaven brachten die Zuckerhirse anfangs 17. Jahrhunderts in die USA. Dort wurde sie zuerst als *Guinea corn* bekannt. Ab 1850 wurde sie verbreitet kultiviert und als Süßungsmittel, vor allem in Form von Melasse, gebraucht. Die Sirupproduktion in den USA erreichte 1879 mit 28 Mio. Gallonen (entspricht etwa 108.000 t Zucker) seinen Höchststand.<sup>[1]</sup> Da die Produktion des Sirups sehr arbeitsintensiv war, sank das Produktionsvolumen während des Zweiten Weltkriegs drastisch ab. Heute werden in den USA jährlich weniger als 1 Mio. Gallonen produziert, doch damit sind die USA auch heute noch der größte Produzent von Sirup aus Zuckerhirse. Anbauggebiete für Zuckerhirse zur Herstellung von Sirup sind heute noch in Alabama, Arkansas, Georgia, Iowa, Kentucky, Mississippi, North Carolina und Tennessee zu finden.



Rispe der Mohrenhirse



Zuckerhirse *Sorghum bicolor*, Ausschnitt aus dem Fruchtstand.

## Anbau

### Wirtschaftliche Bedeutung

Weltweite Anbauzahlen speziell zur Mohrenhirse liegen nicht vor, nur zur gesamten Gattung der Sorghumhirsen (siehe dort).

Der weltweite Anbau von Zuckerhirse wird ebenfalls statistisch nicht erfasst. Die Anbaufläche in den USA wird auf ca. 8.000 ha geschätzt.<sup>[2]</sup> Eine weitere Quelle schätzt die Anbaufläche in Indien auf 1.600 ha.<sup>[3]</sup> China hat Pläne veröffentlicht, nach denen 4,8 Mio. l Ethanol aus Zuckerhirse erzeugt werden sollen. Bei Ethanolerträgen von etwa 6.000 l/ha entspräche dies einer Anbaufläche 800 ha.<sup>[4]</sup> Diese Zahlen zeigen, dass der Anbau von Zuckerhirse weltweit erst sehr geringe Flächen beansprucht.

### Fruchtfolgeanforderungen

Mohrenhirse ist selbstverträglich und auch als Zweitfrucht im Anschluss an eine Hauptkultur möglich. Sie passt in eine Fruchtfolge mit Soja und Mais, sollte aber nicht nach Tabak angebaut werden. Je nach Standortbedingungen und Anbauzeitpunkt sind unterschiedliche Sorten erhältlich.

### Aussaat

Die Aussaat erfolgt spät ab Mai, da zur Keimung Bodentemperaturen von mindestens 12 bis 15 °C erforderlich sind. Die Aussaat erfolgt in ein im vorangegangenen Herbst gepflügtes Saatbett in eine Tiefe von 2 bis 3 cm bei einem Reihenabstand von 25 bis 50 cm und ca. 20-25 Körnern/m<sup>2</sup> (7-8 kg/ha). Anschließend ist eine Rückfestigung des Saatbetts erforderlich. In den USA wird die Zuckerhirse zunehmend vorgezogen und mit Tabakpflanzmaschinen verpflanzt.

### Düngung und Pflanzenschutz

Der hohe Stickstoffbedarf wird durch eine bedarfsgerechte Düngung, ähnlich dem Silomais, gedeckt (ca. 180 kg N bei 140 dt Trockenmasse/ha Ertrag). Die Entzüge weiterer Nährstoffe (ca. 15-20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 110-180 kg K<sub>2</sub>O) werden bei ausreichender Versorgung aus den Bodenvorräten gedeckt und im Rahmen der Fruchtfolgedüngung ersetzt. Der Einsatz von Herbiziden oder Maschinenhacke kann wegen der langsamen Jugendentwicklung der Pflanze sinnvoll sein, allerdings besitzen nur wenige Mittel eine Zulassung für die Anwendung in Sorghum.

### Ernte und Konservierung

Die Ernte erfolgt bei einem Trockensubstanzgehalt der oberirdischen Biomasse zwischen 28 und 35 %, der zwischen Mitte September und Ende Oktober erreicht ist. Sie sollte vor den ersten Nachtfrierten erfolgen. Ein reihenunabhängiger Erntevorsatz am Feldhäcksler ermöglicht eine saubere Ernte.

Das Technologie- und Förderzentrum Straubing führt seit 2006 umfangreiche Sortenversuche mit Sorghumhirsen durch. Getestet wurden insgesamt 278 Sorten der Arten *Sorghum bicolor*, *Sorghum sudanense* sowie Kreuzungen dieser Arten, die auf 52 unter den Standortbedingungen vielversprechende Sorten reduziert werden konnten. 2008 lagen die Erträge zwischen 10,9 und 24,5 t/ha, mit großen Unterschieden zwischen Sorten und Standorten.<sup>[5]</sup>

Die Konservierung erfolgt wie bei Silomais durch einsilieren (milchsaure Vergärung unter Luftabschluss). Die beiden Substrate können auch vermischt werden.

## Verwendung

In Westafrika, insbesondere in der Sudanzone, ist *Sorghum bicolor* ein wichtiges Getreide, aus dem z. B. *Tô* (Hirsebrei) und *Dolo* (Hirsebier) hergestellt werden.

## Zuckerhirse

### Durchschnittliche Zusammensetzung der Zuckerhirse

Wasser	in % FM	70 - 76
Zucker	in % TM	18 - 20
Rohprotein	in % TM	7,5 - 9,5
Fett	in % TM	1,1 - 1,5
Rohfaser	in % TM	32 - 38
Asche	in % TM	8,0 - 8,5

Zuckerhirse wird zur Sirupproduktion (Melasse), als Grünfütter und als Silage genutzt, in Entwicklungsländern auch als Brennstoff und Baumaterial (Decken von Dächern). Anfang des 19. Jahrhunderts war die Sirupgewinnung aus Zuckerhirse noch wirtschaftlich bedeutsam, wurde dann aber von Zuckerrübe und Zuckerrohr verdrängt. Heute sind die USA der größte Produzent von Sirup aus Zuckerhirse.

In Deutschland wird Zuckerhirse versuchsweise in trockenen Lagen angebaut zur Verwendung als Silage in der Tierfütterung oder als Biogassubstrat. Bei der Biogaserzeugung lassen sich ähnliche Methanausbeuten wie bei der Vergärung von Maissilage erzielen. Nach <sup>[6]</sup> liegen diese bei 300 bis 360 Liter Methan/kg organischer Trockenmasse gegenüber 295 bis 380 Liter Methan/kg organischer Trockenmasse bei Mais.

In den USA wird Zuckerhirse auch zur Herstellung von Bioethanol genutzt. Ein wichtiger Grund für die zunehmende Beachtung der Zuckerhirse liegt darin, dass sie mit ihrem zuckerhaltigen Stängel den Grundstoff für Bioethanol und in eingeschränktem Umfang Nahrungsmittel aus den Körnern liefert. Anders als Mais, Weizen oder Zuckerrohr erlaubt Zuckerhirse damit eine gleichzeitige Erzeugung von Nahrung und Energie.

Nach M. Kaltschmitt <sup>[6]</sup> werden Zuckergehalte von 35 % in der Trockenmasse (TM) der Gesamtpflanze und 8 bis 9 % in der Frischmasse (FM) erreicht. Folgende Tabelle zeigt die Anteile der wichtigsten Inhaltsstoffe der Zuckerhirse, ebenfalls zitiert nach <sup>[6]</sup>. Der Zuckergehalt setzt sich aus ca. 63 % Saccharose, 21 % Glucose und 16 % Fructose zusammen. Nach der Zuckersaftgewinnung verbleibt als Rest die Bagasse, die hauptsächlich aus Cellulose, Hemicellulose und Lignin besteht.

## Faserhirse

Die Faserhirse, die auf besonders hohen Gehalt an Cellulosefasern gezüchtet wird, wird ebenfalls überwiegend zur energetischen Nutzung angebaut.<sup>[7]</sup> Daneben gibt es auch traditionelle stoffliche Verwendungen wie die Herstellung von Besen, die Nutzung als Baumaterial oder zur Papierherstellung.<sup>[8]</sup>

## Krankheiten und Schädlinge

- Anthraknose durch *Colletotrichum graminicola*
- Welke durch *Helminthosporium*
- Schwarzfäule, ...
- Heuschrecken, Gallmücken (*Cecidomyiidae*), Vögel

## Literatur

- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft: Anbautelegramm Zucker-/ Futterhirse.<sup>[9]</sup> (pdf) Januar 2008 (328 kB)

## Weblinks

- Kurzinformation zum Anbau<sup>[10]</sup>
- Informationen zur Art (Nutzpflanzen-Datenbank Universität Marburg)<sup>[11]</sup>
- *Sorghum bicolor*.<sup>[12]</sup> In: U. Brunken, M. Schmidt, S. Dressler, T. Janssen, A. Thiombiano, G. Zizka: *West African plants - A Photo Guide*. Forschungsinstitut Senckenberg, Frankfurt/Main 2008.<sup>[13]</sup>

## Referenzen

- [1] R. A. Ballinger: "A history of sugar marketing through 1974", U.S. Department of Agriculture, Economics, Statistics and Cooperatives Service, Agricultural Economic Report No. 382, 1975. <http://www.ers.usda.gov/publications/aer382/aer382.pdf>
- [2] M. Bitzer (National Sweet Sorghum Producers and Processors Association, U.S.A.): Persönliche Mitteilung, 15. Oktober 2008.
- [3] Agribusinessweek: "Sweet Sorghum: A New 'Smart Biofuel Crop'", <http://www.agribusinessweek.com/sweet-sorghum-a-new-smart-biofuel-crop/>, aufgerufen am 15. Oktober 2008.
- [4] Biofuels Digest: "China to produce 3.8 million metric tons of ethanol from sweet sorghum stalks", <http://www.biofuelsdigest.com>, 31. August 2007, aufgerufen am 24. Oktober 2008.
- [5] A. Roller: Anbaueignung von Energiehirse in Bayern. In: *Nachwachsende Rohstoffe* Nr. 50, Dezember 2008, BLT Wieselburg, S. 14.
- [6] 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
- [7] Technologie- und Förderzentrum Straubing: Symposium Energiepflanzen, 24. Oktober 2007 (<http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/energiepflanzen2007/beitraege/Roller.pdf>)
- [8] A. Belocchi, F. Quaranta, V. Mazzon, N. Berardo, E. Desiderio: *Fibre sorghum: influence of the harvesting methods on plant moisture and fibre content*, International South Europe Symposium Non-Food Crops: From Agriculture to Industry, Bologna, Italien, 15.-16. Mai 2003
- [9] <http://www.tll.de/ainfo/pdf/hirs0708.pdf>
- [10] <http://www2.mpiz-koeln.mpg.de/pr/garten/schau/Sorghumbicolor/Mohrenhirse.html>
- [11] <http://cgi-host.uni-marburg.de/~omspezbo/nutzpflanzen/details.cgi?id=454&lemma=sorghum+bicolor%22,%20%22details%22,%20700,%20600Allgemeine>
- [12] [http://www.westafricanplants.senckenberg.de/root/index.php?page\\_id=13&preview=true&searchTextMenue=Sorghum+bicolor&search=Wikitemplate](http://www.westafricanplants.senckenberg.de/root/index.php?page_id=13&preview=true&searchTextMenue=Sorghum+bicolor&search=Wikitemplate)
- [13] <http://www.westafricanplants.senckenberg.de/>

# Molke

**Molke** (auch *Käsewasser*, *Sirte* oder *Schotte* genannt) ist die wässrige grünlich-gelbe Restflüssigkeit, die bei der Käseherstellung entsteht. Sie besteht zu 94 % aus Wasser, zu 4–5 % aus Milchzucker und ist nahezu fettfrei. Außerdem enthält sie Milchsäure, die Vitamine B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> (dies bewirkt die grünliche Farbe) und B<sub>6</sub>, Kalium, Calcium, Phosphor und andere Mineralstoffe, doch vor allem 0,6–1 % Molkenprotein. Das ist deutlich weniger Eiweiß als in der Milch. Dort ist das Kasein Haupteiweiß.



Frische Molke aus der Ziegenkäseherstellung

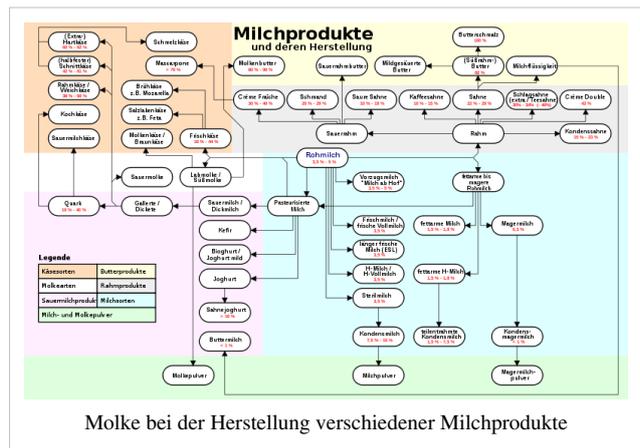
## Eigenschaften

Es gibt zwei Sorten von Molke. Das ist zum einen die Lab- oder Süßmolke, die entsteht, wenn man Milch mit Lab zur Käseherstellung dicklegt. Die zweite Sorte, die Sauermolke, entsteht, wenn Milch mit Milchsäurebakterien behandelt wird. Nachdem das Eiweiß (der Käse oder Quark) abgetrennt wurde, bleibt die Molke übrig.

## Verwendung

### Landwirtschaft und Ernährung

Molke wird heute hauptsächlich in der Schweinezucht verwendet, vor allem als Molkepulver. Viele Käseereien arbeiten daher eng mit Schweinemästereien zusammen. Sie ist zudem der Rohstoff für die Gewinnung von Milchserum, einer beinahe farblose Flüssigkeit, die durch Abtrennen der in der Molke noch vorhandenen Eiweiße gewonnen wird. Milchserum enthält nur noch die wasserlöslichen Bestandteile der Milch: Lactose, Mineralstoffe und wasserlösliche Vitamine. Werden dem Milchserum Fruchtkonzentrat, Gewürze, Aromen und Zucker beigegeben, erhält man ein erfrischendes Milchserumgetränk.



Molke bei der Herstellung verschiedener Milchprodukte

Molke wird auch verschiedenen Erfrischungsgetränken (z. B. Rivella, diese enthält das sog. Milchserum, oder Lattella) zugesetzt. Aus der Molke wird teilweise noch Molkenkäse hergestellt, wie der norwegische Braunkäse. Molke wirkt abführend. Am Ende des 19. Jahrhunderts wurde Molke als Lebenselixier entdeckt und angepriesen. Es sind zahlreiche Kuranstalten entstanden, um die Zivilisationskrankheiten zu heilen. Die Molkekur war ein Programm und ein Teil der damaligen Lebensreform-Bewegung.

### **Industrielle Nutzung**

In der Kosmetik wird Molke ebenfalls verwendet: Sie wird zum größten Teil auch als Trockenpulver für industrielle Anwendung zwischengelagert. Das eiweißhaltige Molkepulver findet zum Beispiel in Bäckereien, bei der Fertignahrungsherstellung und in den Molkereien selbst Anwendung. Aus Molke wurde auch schon – in Notzeiten – Bier gebraut. Molke kann auch als Dünger verwendet werden. Eine weitere Anwendung findet die Molke als Komplexmedium (C-Quelle) in der Biotechnologie.

Darüber hinaus wird Molke als Stickstoffträger in der Bauindustrie verwendet, um in Energiesparhäusern die Brennbarkeit des Dämmstoffes Holzspäne zu reduzieren. Dabei werden die Holzspäne in Molke getränkt und getrocknet.

### **Literatur**

- H.G. Kessler: *Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik, Molkereitechnologie*. 1996, Verlag A. Kessler, München, ISBN 3-9802378-4-2
- Walstra, P.; Wouters, J.T.M.; Geurts, T.J.: *Dairy Science and Technology*. 2006, CRC Press, Boca Raton FL, ISBN 0-8247-2763-0
- Sienkiewicz, T.; Riedel C.: *Whey and Whey Utilization*. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen-Buer 1990, ISBN 3-7862-0086-6
- Fachhochschule Augsburg, Grundlagen des Brandschutzes: Brandschutzklassen, Kapitel 28.1.4, unter Tabelle 28.1 [http://www2.hs-augsburg.de/architektur\\_bau/holzbau/Vorlesungen/Skripte/28\\_Brandschutz\\_1.pdf](http://www2.hs-augsburg.de/architektur_bau/holzbau/Vorlesungen/Skripte/28_Brandschutz_1.pdf)

# Mulchfolie

---

Als **Mulchfolien** oder **Gartenbaufolien** werden in der Landwirtschaft Kunststofffolien bezeichnet, die der Abdeckung von Beeten oder Ackerflächen dienen. Sie werden vor allem im Gemüseanbau genutzt.

## Wirkung

Die Abdeckung führt zu einer Erwärmung der unter der Folie befindlichen Erdoberfläche von etwa 2° gegenüber der Umgebung, wodurch die Pflanzen bei kühlen Temperaturen bessere Wachstumsbedingungen erhalten – im Sommer ist dabei auch eine zu starke Erwärmung der obersten Bodenschicht möglich. Wegen der homogenen Bedingungen unter der Folie ist der Wachstumsverlauf der Nutzpflanzen gleichmäßiger. Der Boden unterhalb der Mulchfolie bleibt locker und trocknet weniger schnell aus. Außerdem vermeidet die Folie Unkrautwuchs auf den abgedeckten Flächen und kann damit den Einsatz von Herbiziden verringern. Auch die Ausbreitung bestimmter Pflanzenkrankheiten (z.B. Rhizoctonia, Sclerotinia) sowie die Auswaschung von Nährstoffen werden verringert. Das Ergebnis ist eine Ertragssteigerung sowie eine frühere Reife der Früchte. Die äußere Qualität der Früchte wird verbessert, da die Mulchfolie ein Verschnutzen oder Versanden des Ernteguts verhindert.

## Materialien

Mulchfolien werden im Regelfall aus einer Polyethylen-Folie hergestellt, wodurch sie teilweise jahrelang zur Unkrautunterdrückung unter Kieswegen oder Mulchbeeten liegen bleiben können, ohne zu verrotten.

Alternativ können Mulchfolien aus biologisch abbaubare Biokunststoffen bestehen, z.B. aus nachwachsenden Rohstoffen. Der Hauptvorteil dieser Folien ist ihre Kompostierbarkeit. Die Folien verrotten im Regelfall nach etwa drei Monaten und ersparen so vor allem in Großbetrieben das Einsammeln der Folien nach der Ernte; die verrottenden Reste können problemlos untergepflügt oder im Kompost entsorgt werden. Neben biologisch abbaubaren Folien aus Stärkepolymeren sind seit 2007 auch Folien auf Milchsäurebasis (Polylactid-Polymere oder PLA) erhältlich, die wegen eines langsameren biologischen Abbaus eine längere Nutzung erlauben<sup>[1]</sup>.

Die Reißfestigkeit biologisch abbaubarer Mulchfolien ist wegen ihrer Dehnbarkeit höher als die von Polyethylen-Mulchfolien vergleichbarer Dicke, deshalb ist durch die Verwendung geringerer Materialstärken eine Materialeinsparung von rund 50% möglich.

Aufgrund ihres deutlich höheren Preises ist der Einsatz von Mulchfolien auf Basis Nachwachsender Rohstoffe jedoch bislang nur in bestimmten Anwendungen kostensparend und ihr Marktanteil entsprechend klein. Bei einem direkten Kostenvergleich 2006 wurde für den Einsatz einer biologisch abbaubaren Mulchfolie etwa der doppelte Preis berechnet wie für eine vergleichbare Polyethylen-Folie.<sup>[2]</sup> In eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung müssen jedoch auch die Kosten für die Einsammlung, die Reinigung und die Entsorgung der Polyethylen-Mulchfolien einfließen.

## Einsatz

In Deutschland wurden Mulchfolien im Jahr 2008 auf 3.935 Hektar eingesetzt.<sup>[3]</sup> Für 2010 wird Mulchfolien aus nachwachsenden Rohstoffen ein Marktumsatz in Deutschland von 18 Mio. Euro und für 2020 von 100 Mio. Euro prognostiziert.<sup>[4]</sup>

## Literatur

- Forschungsgemeinschaft Biologisch Abbaubare Werkstoffe e.V. und Staatliche Forschungsanstalt für Gartenbau Weißenstephan (2009): Biologisch abbaubare Mulchfolien aus nachwachsenden Rohstoffen – Informationen und Verwendungshinweise. (PDF<sup>[5]</sup>)

## Weblinks

- Mulchfolienrechner (zip-Datei)<sup>[6]</sup> (Kostenvergleich biologisch abbaubare Mulchfolie vs. PE-Mulchfolie vs. unbedeckter Boden)

## Referenzen

- [1] FKUR: Kompostierbare Mulchfolien aus PLA-Blends. (<http://plasticker.de/news/shownews.php?nr=3496&min=&div=n&special=k07&select=&sort=&begriff=Mulchfolie&max=&stag=&smon=&sjahr=&etag=&emon=&ejahr=&backto=/news/searchnews2.php>) Plasticker.de vom 2007-08-27
- [2] Matthias Geuder: *Biopolymere - Eine Perspektive für die Landwirtschaft?* Master-Thesis an der Universität Hohenheim, 2007
- [3] Forschungsgemeinschaft Biologisch Abbaubare Werkstoffe e.V. und Staatliche Forschungsanstalt für Gartenbau Weißenstephan (2009): Biologisch abbaubare Mulchfolien aus nachwachsenden Rohstoffen – Informationen und Verwendungshinweise. S. 5
- [4] Michael Nusser, Patrick Sheridan, Rainer Walz, Philipp Seydel, Sven Wydra: *Makroökonomische Effekte des Anbaus und der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen*. (<http://www.isi.fhg.de/t/projekte/Makro-NAWARO-Endbericht.pdf>) (PDF, 8 MB) Endbericht einer Studie für das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), Karlsruhe Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft der Justus-Liebig-Universität, Gießen. Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, 2007.
- [5] [http://www.fbaw.uni-hannover.de/fileadmin/fbaw/pdf/Infobroschuere\\_Biologisch\\_abbaubare\\_Mulchfolien.pdf](http://www.fbaw.uni-hannover.de/fileadmin/fbaw/pdf/Infobroschuere_Biologisch_abbaubare_Mulchfolien.pdf)
- [6] <http://www.fbaw.uni-hannover.de/fileadmin/fbaw/pdf/Mulchfolienrechner.zip>

---

## - N -

---

# Nachwachsender Rohstoff

---

**Nachwachsende Rohstoffe** (abgekürzt **NaWaRo**, **NawaRo** oder **Nawaro** oder **NR**) sind organische Rohstoffe, die aus land- und forstwirtschaftlicher Produktion stammen und vom Menschen zielgerichtet für weiterführende Anwendungszwecke außerhalb des Nahrungs- und Futterbereiches verwendet werden.<sup>[1]</sup>

Die größte Bedeutung hat heute die Verwendung von Rohstoffen pflanzlicher Herkunft sowie biogener Abfallprodukte. Diese werden sowohl energetisch als auch stofflich genutzt. Die energetische Nutzung erfolgt in flüssiger Form (Biokraftstoff), in fester Form (Biogener Brennstoff), sowie gasförmig (Biogas). Von stofflicher Nutzung spricht man bei der Herstellung von technischen Ölen, Textilien, Faserstoffen,



Wald als wichtigste Quelle nachwachsender Rohstoffe in Deutschland

Kunststoffen, chemischen Grundstoffen und anderen Produkten. Deziert für eine energetischen Nutzung angebaute Pflanzen werden als Energiepflanzen bezeichnet, Pflanzen für die stoffliche Nutzung sind Industriepflanzen.

Mit der Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen macht sich der Mensch eine Syntheseverleistung der Natur zu nutzen, die Umwandlung von Sonnenenergie in energiereiche, organische Verbindungen.

Im Zuge der Rohstoff- und Energiewende sollen Nachwachsende Rohstoffe andere Rohstoffe und/ oder fossile Energieträger (Erdöl, Erdgas) teilweise ersetzen können. Wegen der dadurch zunehmenden Flächen- und Nutzungskonkurrenz stehen einzelne Anwendungen in der Diskussion.

In Anlagen wie Biomasseheizkraftwerken, Biogasanlagen, etc. können NaWaRos zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Die Vergütung des Stroms kann teilweise oder vollständig den Regelungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) unterliegen. Dabei kann auch ein Anrecht auf den sogenannten Nawaro-Bonus bestehen. Die Definition von NaWaRos nach diesem Gesetz weicht teilweise von der Definition in diesem Artikel ab.

## Geschichte

Bereits lange vor der Schöpfung des Begriffs *NaWaRo* hatten Rohstoffe tierischer und pflanzlicher Herkunft eine große Bedeutung. Bereits vor Jahrtausenden wurden z. B. Leder und tierische oder pflanzliche Fasern als Kleidung und Holz als Brennstoff eingesetzt. Bis zur Industrialisierung im 19. Jahrhundert waren NaWaRos die wichtigste Energiequelle (Brennholz, Holzkohle) und die wichtigsten Rohstofflieferanten für die chemische und pharmazeutische Industrie (z. B. Waltran). Mit der Industrialisierung gewann zunächst Kohle als Energieträger eine dominierende Bedeutung. Im 20. Jahrhundert wurde Erdöl zunächst ein wichtiger und durch die billige Förderung und Erschließung neuer Vorkommen ab etwa 1950 der dominierende



Historischer Trankocher in Ilulissat, Grönland

Energieträger und wichtigster Rohstoff für die chemische Industrie (Petrochemie). Das Streben nach nationaler Autarkie durch technische Synthesen und die Verwendung lokal verfügbarer (natürlicher) Rohstoffe spielte aber bereits in der (nicht nur jüngeren) deutschen Technikgeschichte eine wichtige Rolle. Die Autarkie durch den Ersatz von importierten Rohstoffen durch heimische Rohstoffe wie Kohle und vor allem auch Nawaros war ein zentrales Thema der nationalsozialistischen Forschungspolitik. Der Begriff „nachwachsender Rohstoff“ selbst wurde in den Jahren 1973/74 bzw. 1979/81 in Folge des hohen Ölpreises während der Ersten bzw. Zweiten Ölkrise im deutschsprachigen Raum etabliert.<sup>[1]</sup> International ist *renewable resource* gebräuchlicher als die wörtliche Entsprechung *renewable raw material*. Ab der Mitte der 1980er war der Erdölpreis erneut sehr niedrig, so dass NaWaRos weniger konkurrenzfähig wurden und zunächst an Bedeutung verloren.

Aufgrund wiederum gestiegener Ölpreise in den 2000ern und des mittelfristig erwarteten Globalen Ölfördermaximums ("Peak Oil") und der Globalen Erwärmung gewinnen NaWaRos derzeit wieder stark an Bedeutung. Mögliche Verknappungen der fossilen Energieträger und Chemiegrundstoffe lassen eine zunehmende Verwendung nachwachsender Rohstoffe (Rohstoffwende) notwendig erscheinen. Weitere Faktoren sind eine größere Rohstoffdiversifizierung und größere Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen bzw. deren Exporteuren. Die Gewinnung von Strom, Wärme und Kraftstoffen aus NaWaRos und Abfallprodukten der Land- und Forstwirtschaft sollen zudem zur wirtschaftlichen Stärkung des ländlichen Raumes beitragen.

Die Rolle von Land- und Forstwirtschaft nimmt mit dem weltweit zunehmendem Bedarf an Nahrungs- und Futtermitteln sowie NaWaRos zu.

## Kategorien nachwachsender Rohstoffe

Beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe wird oft zwischen der energetischen und der höherwertigen, stofflichen Nutzung unterschieden. Bei der energetischen Nutzung steht häufig der Energiegehalt der verwendeten Biomasse im Vordergrund. Bei der stofflichen Nutzung dagegen sind die chemische Zusammensetzung und andere Eigenschaften für die weitere Verwendung und Verarbeitung von hoher Bedeutung. Bei einer Kaskadennutzung können stoffliche und energetische Nutzung miteinander kombiniert werden, wie z. B. bei der Verbrennung von Altholz. Bei vielen stofflichen Nutzungen fallen zudem Abfälle bzw. Nebenprodukte (Kuppelprodukte), wie z. B. Sägemehl, an, die noch energetisch verwertbar sind.

## Stofflich genutzte nachwachsende Rohstoffe

Im Folgenden sind die wichtigsten Kategorien nachwachsender Rohstoffe genannt. Da diese sich unterschiedlich, z. B. an Herkunft, Inhaltsstoffen oder Verwendung orientieren, überschneiden sie sich teilweise. Da die energetische Nutzung oft eng mit der stofflichen Nutzung verknüpft ist, wird diese z. T. auch aufgeführt.

### Holz

Der wichtigste und am häufigsten genutzte NaWaRo ist Holz. Es ist seit der Vorzeit als Rohstoff des Menschen nachweisbar und bis heute auch in Industrieländern einer der wichtigsten und vielseitigsten Rohstoffe. In Deutschland machte Wald 2002 mit 11,1 Mio. ha fast ein Drittel der Landesfläche aus,<sup>[2]</sup> während weitere NaWaRos in Deutschland 2008 auf etwa 17 Prozent der Ackerfläche (rund 2 Millionen Hektar) angebaut wurden.<sup>[3]</sup> In der gesamten Holzwirtschaft sind laut dem Interessenverband der Waldbesitzer, der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Waldbesitzerverbände (AGDW) mehr als eine Million Beschäftigte bei einem jährlichen Umsatz von mehr als 100 Milliarden Euro zu finden.

Holz wird sowohl stofflich genutzt, z. B. für Bauholz und Möbel, für Holzwerkstoffe und für die Zellstoff- und Papierindustrie, als auch energetisch als Brennstoff.

- Der größte Anteil des Holzes (2005 in Deutschland etwa 37 Prozent)<sup>[4]</sup> wird dabei in der Holzindustrie verwendet (Nutzholz) und zu Schnittholz verarbeitet.
- Ein beinahe ebensogroßer Anteil des Holzes wird in Mitteleuropa für die Energiebereitstellung verwendet. Dabei handelt es sich vor allem um Brennholz und in den letzten Jahren zunehmend auch um Hackschnitzel oder Holzpellets. Neben Privathaushalten nutzen auch Biomasseheizwerke und Biomasseheizkraftwerke große Mengen an Holz.
- Etwa 20 Prozent des Holzes wird für die Herstellung von Holzwerkstoff eingesetzt, vor allem in der Produktion von Spanplatten (Holzspanwerkstoff), aber auch für Vollholzwerkstoffe (Sperrholz, Schichtholz), Holzfaserverwerkstoffe (verschiedene Faserplatten) und Verbundwerkstoffe (z. B. Wood-Plastic-Composite (WPC) aus Holzmehl und Kunststoff).
- Der Rest wird vor allem zur Produktion von Zellstoff und Holzstoff (z. B. Holzschliff) genutzt.
- Holzrasche war früher die einzige Quelle für die Herstellung von Pottasche, einem wichtigen Chemiegrundstoff

Teilweise ist eine mehrfache Nutzung (Kaskadennutzung) möglich, z. B. durch Recycling von Altholz bei der Herstellung von Spanplatten oder durch die energetische Nutzung von Altholz.

Holzähnliche Werkstoffe wie Bambus, Reet und Stroh finden Verwendung zur Dachdeckung. Aus Rattan, Peddigrohr und Weidenruten werden Korbwaren und Möbel hergestellt.



Haus in Holzbauweise



Buchen-Brennholz im Wald aufgearbeitet

## Naturfasern

(siehe Artikel *Faserpflanze*)

Naturfasern werden durch aufwändige Bearbeitung, der Rohstoffpflanzen - den so genannten Faserpflanzen - gewonnen. Der wichtigste Faserrohstoff weltweit ist die Baumwolle, die vor allem in tropischen und subtropischen Gebieten angebaut wird. Baumwolle wird vorwiegend zur Herstellung von Kleidung sowie für andere Textilien verwendet. Weitere Anteile werden zur Herstellung von Vliesen oder Garnen genutzt. Ein ähnliches Verwendungsspektrum hat auch die Wolle, die zum größten Teil durch die Schur von Schafen aber auch von anderen Haustieren wie Lamas, Alpakas oder Angorakaninchen gewonnen wird. Einen weiteren Faserwerkstoff tierischen Ursprungs stellt die Seide dar, die ebenfalls für Textilien verwendet wird.

Wichtige Faserpflanzen in gemäßigten Zonen sind vor allem der Gemeine Lein (Flachsfaser) und Nutzhanf (Hanffaser). Ihre Bastfasern können zur Herstellung von Bekleidungstextilien genutzt werden und stellt für Flachs-Lang- und Kurzfasern aktuell auch die Hauptverwendung dar. Flachskurzfasern werden außerdem mit einem signifikanten Anteil zur Herstellung von Spezialpapieren und für Verbundwerkstoffe (Naturfaserverstärkte Kunststoffe) genutzt. Den Hauptproduktionsbereich für Hanffasern stellen Spezialpapiere, darunter zu einem signifikanten Anteil Zigarettenpapier, dar. Weitere Anwendungen sind die Produktion von Dämmstoffen und Verbundwerkstoffen.

Fasern tropischen Ursprungs, wie etwa Jute, Abacá, Kokosfasern, Kopra, Sisal und Kenaf, finden, je nach Faserqualität, in ähnlichen Produkten Verwendung. Abacá kann zudem aufgrund seiner Wasserbeständigkeit auch für Seile und Taue auf Schiffen oder für Teebeutel verwendet werden. Bambus- und Holzfasern werden auch in Verbundwerkstoffen genutzt.

## Pflanzenöle

(siehe Hauptartikel *Pflanzenöl*)

Pflanzenöle werden vor allem energetisch, aber auch stofflich verwendet.

Der größte Teil wird in Deutschland für die Herstellung von Biokraftstoffen, wie Pflanzenöl-Kraftstoff und vor allem Biodiesel, verwendet.<sup>[5]</sup> Biodiesel ist auch weltweit der am häufigsten verwendete Biokraftstoff, wobei die Bedeutung von Bioethanol aus Zucker und Stärke stark zunimmt. In Europa wird Biodiesel vor allem aus Rapsöl hergestellt, während international vor allem Palm- und Sojaöl verwendet werden. In der Europäischen Union (EU) war bis 2007 die Flächenstilllegung eines Anteils der landwirtschaftlichen Anbaufläche obligatorisch und wurde mit einer Prämie ausgeglichen.

Da der Anbau von NaWaRos auf diesen Flächen zulässig war, wurden z. B. Ölpflanzen, wie Raps und Sonnenblume, für die Biokraftstoffherstellung in großem Maßstab angebaut. Nach Abschaffung der Pflicht zur Stilllegung nahm die Anbaufläche an Winterraps in Deutschland 2008 um 11 % ab.<sup>[6]</sup>



Baumwolle (*Gossypium spec.*)



Nutzhanffeld in Frankreich



Raps als Energiepflanze

Pflanzenöle dienen in der Oleochemie als Rohstoff für unterschiedlichste Produkte. So werden z. B. Kokos- und Palmöl für Tenside (z. B. Zuckertenside) genutzt, die in der Waschmittelindustrie, aber auch im Bereich der Kosmetika und Pharmaprodukte Verwendung finden. Für Farben, Druckfarben und Lacke werden Pflanzenöle vor allem als Additive und Bindemittel verwendet. Ein bereits historisch bedeutsamer Anwendungsbereich, der seit dem 19. Jahrhundert vom Erdöl eingenommen wurde, stellen Biogene Schmierstoffe dar, zu denen etwa Hydraulik-, Motor-, Sägeketten-, Schal- und Metallbearbeitungsöle gehören. Weitere Produkte sind der Bodenbelag Linoleum, für den vor allem Leinöl verwendet wird, sowie Faktis als Kautschukadditiv und Weichmacher für Kunststoffe. Mit moderner Technologien ist es zudem heute möglich, Polyole für die Herstellung der Kunststoffe Polyurethan und Polyester auf der Basis von Pflanzenölen zu produzieren.<sup>[7]</sup>

## Zucker und Stärke

### *Hauptartikel: Zucker als nachwachsender Rohstoff und Stärke als nachwachsender Rohstoff*

Die weltweit bedeutendste Zuckerpflanze ist Zuckerrohr, während in gemäßigten Klimazonen die Zuckerrübe dominiert. Stärke wird aus verschiedenen Getreidepflanzen (z. B. Weizen, Triticale, Mais, Reis) und anderen Feldfrüchte gewonnen (z. B. Maniok, Kartoffeln). Da Stärke ein Polysaccharid aus Zuckermolekülen ist, kann bei vielen Anwendungen sowohl Zucker als auch Stärke eingesetzt werden.

Der größte Teil der technischen Stärke wird in der Papierindustrie als Papierstärke eingesetzt. Als Rohstoff der chemischen Industrie wird Stärke z. B. für die Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln, organischen Säuren, Pharmaka und Kosmetika genutzt. Stärke dient zudem direkt als Rohstoff für die Herstellung für Biokunststoffen, wie z. B. Thermoplastischer Stärke. Auch indirekt, nach fermentativer (biotechnischer) Umsetzung von Stärke oder Zucker, können aus den Zwischenprodukten Biokunststoffe wie Polylactid (PLA) und Polyhydroxybuttersäure (PHB) erzeugt werden. Zucker wird zudem in der Bauchemie als Abbindeverzögerer und Einschlagmittel genutzt.

Große Mengen Zucker bzw. Stärke werden zu Bioethanol vergoren, das neben Biodiesel und Pflanzenöl-Kraftstoff ein wichtiger Biokraftstoff ist. Bedeutende Herstellerländer sind Brasilien und die Vereinigten Staaten mit den Rohstoffen Zuckerrohr bzw. Maisstärke. In der Zuckerindustrie in Brasilien wird fast die Hälfte des geernteten Zuckerrohrs zu Bioethanol verarbeitet. Heute ist in vielen Ländern die Nutzung eines Anteils an Biokraftstoff oder konkret von Bioethanol in Kraftstoffen verpflichtend.<sup>[8]</sup> Der 2007 zeitweilig stark angestiegene Getreidepreis machte die Bioethanolproduktion zeitweise unwirtschaftlich, so dass beispielsweise die Ethanolfabrik Zörbig (Deutschland) vorübergehend nicht mehr produzierte.<sup>[9] [10]</sup>

Eine wachsende Bedeutung wird für die Verwendung von Stärke, Zucker (und anderen NaWaRos) in der Weißen Biotechnologie (Industrielle Biotechnologie) erwartet. Bereits heute werden Stärke und Zucker (auch in Form von Melasse) für fermentative und biokatalytische Prozesse, z. B. zur Herstellung von Bioethanol (s.o.), aber auch höherwertige Verbindungen, wie Grundchemikalien oder pharmazeutischen Produkten, eingesetzt.



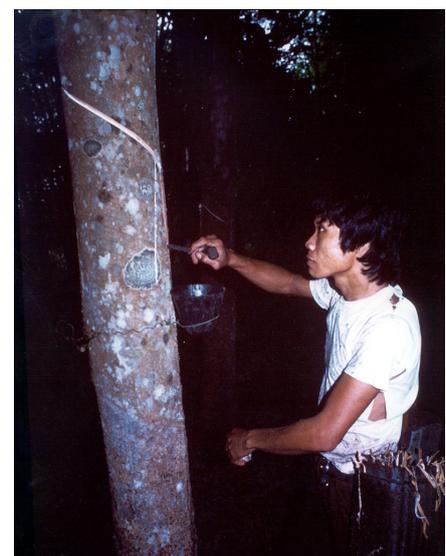
Geerntetes Zuckerrohr

### Chemische und pharmakologische Grundstoffe

Aus einigen Pflanzen und Tieren können Inhaltsstoffe und Materialien mit besonderen Eigenschaften gewonnen werden. Zu diesen Stoffen gehören vor allem Kautschuk, Harze und Wachse, Gerbstoffe, verschiedene Farbstoffe und Rohstoffe für die pharmazeutische Industrie. Auch Genussmittel und Drogen werden dieser Gruppe zugeordnet. Kautschuk stellt ein natürliches Elastomer dar, das vor allem aus dem Milchsaft des südamerikanischen Kautschukbaumes (*Hevea brasiliensis*) gewonnen wird. Färberpflanzen liefern Farbstoffe zum Färben von Textilien, für Malfarben und andere Anwendungen. Sie spielten eine wichtige Rolle als NaWaRo, bevor es im 19. Jahrhundert gelang, Farbstoffe synthetisch herzustellen. Im Mittelalter begann man in Europa, Färberpflanzen, wie z. B. Färberwaid für Blau, Färberkrapp für Rot und Färberresede für Gelb, anzubauen. Vor allem Indigo aus der indischen Indigopflanze wurde bis in das späte 20. Jahrhundert industriell genutzt, um Jeans zu färben. In der Malerei wurden vor allem Farblacke verwendet, bei denen der Pflanzenfarbstoff auf ein Substrat wie Kreide oder Bleiweiß aufgezogen wurde, um anschließend wie ein Pigment vermalt werden zu können. Pflanzenfarben können aber auch ohne Substrat lasurartig aufgetragen werden. Aus Arzneipflanzen können eine Reihe von Pflanzenwirkstoffen (Phytopharmaka) gewonnen werden, die bisher nicht oder nicht wirtschaftlich synthetisch herstellbar sind. Daher wird eine Vielzahl von Arzneipflanzen angebaut und genutzt, um deren Inhaltsstoffe für Medikamente, Genussmittel und Drogen nutzen zu können, wie z. B. Tabak und Hopfen oder illegale Drogen wie Cannabis, Koka und Opium.



Opiumerte 2007



Latexgewinnung 1984

### Rohstoffe tierischer Herkunft

Nachwachsende Rohstoffe tierischer Herkunft sind heute weniger präsent als pflanzliche NaWaRos, haben aber historisch wie aktuell eine große Bedeutung.<sup>[11]</sup>

In der Antike wurde der Farbstoff Purpur aus großen Mengen von Purpurschnecken gewonnen und war nur den höchsten Würdenträgern vorbehalten. Ein weiterer Farbstoff ist Karmin, der z. B. aus der Cochenilleschildlaus gewonnen wird. Diese Farbstoffe und andere Rohstoffe wie Elfenbein, Leder, Fischleder, Felle Bienenwachs und Horn waren wichtige Handelsgüter. Historisch wichtig war auch die Verwendung von Tierdarm und Tierhaaren für Waffen, Mess- und Musikinstrumente. Der vom 18. bis zum beginnenden 20. Jahrhundert sehr bedeutende kommerzielle Walfang lieferte Rohstoffe wie Fischbein, Ambra, Walrat, Tran und Glycerin, die als Chemiegrundstoff, Brennstoff, Schmiermittel, Vorläufer verschiedener Kunststoffe und Rohstoff zur Sprengstoffherstellung (Nitroglycerin/Dynamit) verwendet wurden. Sie bildeten im 19. Jahrhundert die Grundlage der Entwicklung der heutigen petrochemischen Industrie.

Die wichtigsten Rohstoffe tierischen Ursprungs sind tierische Fette, Öle, Wachse und Bindemittel, Leder, Felle verschiedener Pelztierarten und tierische Fasern wie Wolle, Seide und Borsten. Gülle und Mist werden weltweit als Düngemittel genutzt. Guano stellt dabei einen Grenzfall zu den mineralischen Rohstoffen dar. Ganze Klassen von Wirkstoffen auch tierischer Herkunft entstammen den Giften von Schlangen, Bienen und Fröschen. Insuline und Hormone wie Östrogen waren vor deren gentechnischen Herstellung nur aus tierischen Quellen, wie z. B. Bauchspeicheldrüsen von Schweinen, zu gewinnen.

Im Rahmen der Tierkörperverwertung hergestellte Tiermehle und Knochenschrote werden seit einigen Jahren nicht mehr an Wiederkäuer verfüttert sondern häufig verbrannt. Die früher essentielle Herstellung von Knochenleimen ist heute Nischenanwendungen vorbehalten. Talg hingegen wird nach wie vor als Chemiegrundstoff in der organischen Chemie und Industrie, um Biogene Schmierstoffe, Tenside, Fette für Kosmetikartikel, Reinigungsmittel und Seifen herzustellen.

Federn, die in großen Mengen bei der Geflügelverarbeitung anfallen, werden vor allem als Füllmaterialien für Kissen und Decken genutzt - zukünftig könnten sie zudem als Keratinquelle zur Herstellung von Biokunststoffen verwendet werden. Auch Chitinpanzer von Krebsen, die als Abfallprodukt in der Krustentierverarbeitung anfallen, können als Chitosan für die Biokunststoffproduktion gebraucht werden.

Aus menschlichen Quellen ist heutzutage, neben der medizinischen Verwendung und Weiterverarbeitung etwa von Blut und Blutprodukten, Menschenhaar für Perücken oder modische Haarverlängerungen von gewisser wirtschaftlicher Bedeutung.



Leder und moderne Lederbearbeitung



Bienenwachs

## Energetisch genutzte nachwachsende Rohstoffe

(siehe Artikel *Bioenergie, Biokraftstoff und Biogener Brennstoff*)

Neben dem bereits genannten Holz und den Rohstoffen zur Biokraftstoffherstellung sind auch andere NaWaRos energetisch als sogenannte Biogene Brennstoffe nutzbar. Diese Verwendungsweise ist meist weniger hochwertig als die stoffliche Nutzung, so dass vor allem organische Abfälle und Reststoffe (bzw. Kuppelprodukte) wie z. B. Stroh verwendet werden. Auch eine Kaskadennutzung, wie z. B. bei der Verbrennung von Altholz, findet statt. Steigende Energiepreise und die politische Förderung von Erneuerbaren Energien unter anderem der Bioenergien, z. B. in Deutschland durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), führten und führen zu einem starken Ausbau. Eine erhöhte Vergütung für den erzeugten Strom und weitere Förderungen machen bisher ungenutzte Biomassefraktionen wirtschaftlich nutzbar. Dabei ergeben sich z. T. Synergieeffekte zwischen Abfallentsorgung und Energiegewinnung. Hintergrund der Förderungen sind z. B. Bemühungen zum Umweltschutz, Klimaschutz, zur Ressourcenschonung, Verringerung der Abhängigkeit von Energieexporteuren und die Förderung ländlicher Regionen. Bei biogenen Festbrennstoffen findet eine verstärkte Nutzung von Abfällen der Forstwirtschaft (z. B. Schlagabraum) und der Holzindustrie (z. B. Sägemehl, Verschnitt, Schwarten, etc.) statt. Auch Altholz wird z. B. in Biomasseheizwerken oder Biomasseheizkraftwerken in erhöhtem Maß genutzt. Hinzu kommt die gezielte Erzeugung von Hackschnitzeln aus Wald- oder aus Kurzumtriebsholz. Auch die Erzeugung von biogenen Flüssigbrennstoffen wie Biomass to Liquid (BtL) aus fester Biomasse ist in der Entwicklung bzw. Erprobung. Stark an Bedeutung gewinnt die Gewinnung biogener Brenngase (Biogas, Biomethan) in Biogasanlagen. Als Substrat wird vor allem feuchte Biomasse eingesetzt, die in Verbrennungen nicht eingesetzt werden kann. Es werden Abfälle, z. B. aus der Lebensmittelindustrie, oder ungenutzte Pflanzenreste aus der Landwirtschaft, wie z. B. Gülle, Mist, Rübenblatt etc. verwendet. In Deutschland werden verstärkt auch NaWaRos, wie vor allem Mais, speziell für die Verwendung in Biogasanlagen angebaut.



Biogasanlage

## Perspektive

(siehe auch Artikel *Biomassepotential und Bioenergie*)

Derzeit wird die Nutzung von NaWaRos aus den oben genannten Gründen (siehe *Geschichte*) forciert. Letztlich soll die Nutzung vor allem von Erdöl, aber auch Erdgas und Kohle, als Energieträger sowie als Rohstoff der chemischen Industrie verringert werden. Die stoffliche Nutzung von Erdöl, z. B. zur Herstellung von Kunststoffen, macht dabei nur einen sehr kleinen Anteil aus. Das Biomassepotential ist jedoch begrenzt, so dass keine vollständige Substitution möglich ist. Eine verstärkte Nutzung von Nachwachsenden Rohstoffen führt zu höheren Flächenbedarfen und steht daher zunehmend in Konkurrenz z. B. zu Umweltschutzbelangen (beispielsweise Erhaltung der Biodiversität) und der Erzeugung von Lebensmitteln (Flächen- und Nutzungskonkurrenz). Die Verwendung von Biokraftstoffen sowie von Biomasse zur Strom- und Wärmebereitstellung wird derzeit stark ausgebaut. Da die Nachhaltigkeit durch die Flächen- und Nutzungskonkurrenzen fraglich war, soll diese z. B. in der EU durch die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EG) sichergestellt werden. Mit der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung und der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung wurden diese Aspekte der EU-Richtlinie in deutsches Recht umgesetzt.

Die Biospritindustrie in Deutschland ist nach wie vor auf Subventionen angewiesen. Sie stand angesichts geplanter Verringerungen des Biokraftstoffanteils bei Treibstoffen vor dem Aus.<sup>[12] [13]</sup> Mit der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EG) wurde jedoch ein deutlicher Ausbau des Biokraftstoffanteils in der EU auf 10 % bis 2020 beschlossen. Teilweise wird der Bedarf der EU und insbesondere von Deutschland durch preiswertere

Exporte von Ölsaaten bzw. Öl gedeckt.<sup>[14]</sup>

Für die Zukunft wird eine wachsende Bedeutung des Konzepts der Bioraffinerie erwartet. Biomasse bzw. Nachwachsende Rohstoffe sollen in diesen Anlagen einer vollständigeren und höherwertigeren Nutzung zugeführt werden. So sollen z. B. Grundchemikalien, Kraftstoffe, Biopolymere etc. gewonnen werden.<sup>[15]</sup>

## Interessen- und Industrieverbände

In Deutschland ist als staatlicher Projektträger auf Bundesebene beim Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) eingerichtet worden, um bundesweit Forschung, Entwicklung und Markteinführung im Bereich Nachwachsende Rohstoffe zu unterstützen. Ein weiterer Schwerpunkt der FNR ist außerdem das umfassende Beratungs- und Informationsangebot in den Bereichen nachwachsende Rohstoffe und Bioenergie. Auf Länderebene sind Ansprechpartner zu nachwachsenden Rohstoffen bei den jeweiligen Forst- bzw. Landwirtschaftsministerien, den Direktionen für ländliche Entwicklung sowie teilweise bei den lokalen Industrie- und Handelskammern zu finden. In Bayern ist unter anderem das Centrale Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk C.A.R.M.E.N. aktiv. Es gibt zahlreiche Interessenverbände, die sich für eine stärkere Nutzung NaWaRos verschiedener Art und zu verschiedenen Zwecken einsetzen. Die Arbeitsgemeinschaft Deutscher Waldbesitzerverbände (AGDW) und der Deutsche Forstwirtschaftsrat (DFWR) setzen sich vor allem für die stoffliche, aber auch für die energetische Nutzung von Waldholz ein. Der Bundesverband BioEnergie e.V. (BBE) engagiert sich für die Nutzung von Nawaros als Energieträger. Auch der Vorsitzende des Interessenverbandes Eurosolar, Hermann Scheer, und der Buchautor Franz Alt gehören seit längerem zu den Verfechtern vor allem der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Alt behauptet, nachwachsende Rohstoffe wären in der Lage, Rohstoffkonflikte und kriegerische Auseinandersetzungen künftig zu vermeiden. Diese These wird angesichts der historischen Erfahrungen etwa mit Baumwolle und Naturlatexkautschuk in Zweifel gezogen.

In Österreich betreibt die Umweltschutzorganisation Global 2000 eine Kampagne zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

## Geschichte und aktuelle Situation in Deutschland

Bereits zu Anfang des 20. Jahrhunderts gab es in Deutschland Bemühungen zur verstärkten Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen. Hintergrund waren Autarkiebestrebungen sowie Embargos gegen das Deutsche Reich, nachdem es mit dem Überfall auf Polen den Zweiten Weltkrieg ausgelöst hatte.

Aktuell wird die Forschung an bzw. die Nutzung von Nachwachsenden Rohstoffen vor allem aus Gründen der Ökologie und Nachhaltigkeit verstärkt.

## Nachwachsende Rohstoffe in der Weimarer Republik und im Deutschen Reich

Während die Forschung zur Pflanzenzucht vor 1918 insbesondere auf wirtschaftlich nutzbare Pflanzenarten in den deutschen Kolonien ausgerichtet war, verschob sich nach dem Ersten Weltkrieg mit dem Verlust der Kolonien der Schwerpunkt auf heimische Nutzpflanzen und eine agrarische Selbstversorgung Deutschlands. Ein Vorreiter war Erwin Baur, der bereits 1914 als Leiter des Instituts für Vererbungswissenschaft in Berlin systematisch genetische Erkenntnisse für landwirtschaftliche Zwecke genutzt hatte.<sup>[16]</sup> Baur, ursprünglich Arzt<sup>[17]</sup> forderte in der Weimarer Zeit öffentlich eine Autarkie von ausländischen Rohstoffen und begrüßte die Machtübernahme der Nationalsozialisten.<sup>[18]</sup> Bekannt wurde er unter anderem mit der Züchtung der bitterstoffreduzierten Süßlupinen, in die große Hoffnungen als *Soja des Nordens* gesetzt wurden. Nach Baur's Tod 1933 wurde Züchtungsforschung im Sinne der NS-Autarkiebestrebungen mit umfangreichen Fördermitteln unterstützt.

Konrad Meyer, Agrarwissenschaftler, SS-Oberführer, Autor des Generalplan Ost und Begründer des Fachs Raumplanung in Deutschland bestimmte zwischen 1933 und 1945 als Vizepräsident der Deutschen

Forschungsgemeinschaft maßgebend die agrarwissenschaftlichen Studiengänge wie die Organisation der Landbau-Forschung in Deutschland. Meyer gelang es, fast ein Drittel der Forschungsmittel des Reichsforschungsrats im Bereich *Landwissenschaft und Allgemeine Biologie* zu konzentrieren.<sup>[18]</sup> Institutionell gehen Gründung wie Ausbau etlicher heutiger Forschungseinrichtungen auf die damaligen Aktivitäten zurück. Im Reichsnährstand wie im Vierjahresplan wurde die Schließung der *Eiweiß, Öl- und Faserlücke* als strategische Herausforderung angesehen, was unter anderem vergebliche Forschungsprojekte für winterharte Oliven und Sojabohnenanbau in Deutschland hervorbrachte.<sup>[18]</sup> Erfolgreicher war man im Bereich Raps, Lein, Nutzhanf, Rübsen und eiweißhaltigen Futterpflanzen, insbesondere Leguminosen.<sup>[18]</sup> Im Kriegsverlauf griffen Forscher aus Deutschland auf Ressourcen, Sammlungen und Ergebnisse der Forschung in den besetzten Gebieten zurück.<sup>[19]</sup>

Ein zentrales, von Heinrich Himmler persönlich vorangetriebenes Forschungsprojekt war die versuchte Herstellung von Kautschuk aus Kautschuklöwenzahn (*Taraxacum bicorne*). Nachdem 1942 die SS Saatgut der Pflanze in der Sowjetunion erbeutet hatte, wurden unter der Leitung von Joachim Caesar Versuche auf einem Landwirtschaftsbetrieb und Nebenlager des Konzentrationslager Auschwitz durchgeführt. Das zugehörige *Kommando Pflanzenzucht* umfasste noch Anfangs 1945 über 150 weibliche Häftlinge, die aus dem KZ Ravensbrück überstellt worden waren.<sup>[18]</sup> Zusätzlich waren dort russische Wissenschaftler interniert.

## Nachwachsende Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland

	Anbaufläche in 1.000 Hektar
<b>Energetische Nutzung</b>	<b>1.701,5</b>
Raps für Biodiesel/Pflanzenöl	942
Stärke/ Zucker für Bioethanol	226
Pflanzen für Biogas	530
Dauerkulturen für Festbrennstoffe	3,5
<b>Stoffliche Nutzung</b>	<b>294</b>
Industriestärke	130
Industriezucker	22
technisches Rapsöl	120
technisches Sonnenblumenöl	8,5
technisches Leinöl	2,5
Pflanzenfasern	1
Arznei- und Farbstoffe	10

† Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (2009, vorläufige Daten)<sup>[20]</sup>

Der wichtigste NaWaRo in Deutschland ist Holz. Die Waldfläche betrug in 2002 rund 11,1 Mio. ha. In der zweiten Bundeswaldinventur (BWI) wurde festgestellt, dass im Zeitraum 1987 bis 2002 in den alten Bundesländern jährlich 8,3 Vorratsfestmeter (Vfm) pro ha und damit unter 70 % des Zuwachses von 12 Vfm/ ha genutzt wurde.<sup>[2]</sup> Eine deutlich intensivere Nutzung wäre somit möglich.<sup>[2]</sup> Dies geschieht z. B. durch die sogenannte Holzmobilisierung. In 2008 wurden 54,7 Mio. Festmeter (Fm) Holz energetisch genutzt. Jeweils fast die Hälfte davon wurde in Privathaushalten bzw. in Biomasseheizwerken und Biomasseheizkraftwerken genutzt.<sup>[21]</sup> In der Säge- und Holzindustrie werden jährlich 25,1 Mio. m<sup>3</sup> Schnittholz erzeugt, das zu 2/3 in die Bauwirtschaft geht. Für die Herstellung von Zell- und Holzstoff bzw. Papier werden jährlich 10 Mio. m<sup>3</sup> schwache Waldhölzer sowie Sägereststoffe eingesetzt. Für die Produktion von Holzwerkstoffen werden jährlich 20 Mio. m<sup>3</sup> Holz eingesetzt, darunter auch Altholz. Dabei wird ein großer Anteil des Rohstoffs zur Bereitstellung von Strom und Prozesswärme

verbrannt. Es werden 8,1 Mio. m<sup>3</sup> Spanplatten, 5 Mio. m<sup>3</sup> Mitteldichte Faserplatten (MDF), 1,1 Mio. m<sup>3</sup> oriented strand boards (OSB-Platten), 175.000 m<sup>3</sup> Sperrholz sowie andere Produkte erzeugt.<sup>[22]</sup> Zu berücksichtigen ist, dass durch den Import und Export von Holz und durch das Recycling und die energetische Nutzung von Altholz (Kaskadennutzung) die Holzernte und die verarbeitete Holzmenge voneinander abweichen.

Die zweitwichtigste Ressource für NaWaRos ist in Deutschland die Landwirtschaft. 2009 stagnierte die landwirtschaftliche Anbaufläche für NaWaRos bei rund 17 % der Ackerfläche (fast 2,0 Mio ha), nachdem sie von 1997 bis 2007 kontinuierlich von 500.000 auf über 2 Mio. ha gestiegen war.<sup>[20] [23]</sup> Dabei wurden auf rund 85 % dieser Fläche Rohstoffe zur energetischen Nutzung (Energiepflanzen) und auf 15 % der Fläche Rohstoffe zur stofflichen Nutzung (Industriepflanzen) angebaut.

## Literatur

- Julius Wiesner, Die Rohstoffe des Pflanzenreichs. hrsg. von Constantin von Regel. 5. Aufl., Weinheim, J. Cramer, 1962
- Klaus Zuschke: *Positive Gülle- und Abfallumwandlung als regenerative Energieressource*; April 1990
- Produktvielfalt durch Ressourcenvielfalt - Potenziale genetischer Ressourcen - Tagungsband eines Symposiums vom 24.-25. September 2003 im Gustav-Stresemann-Institut in Bonn, Hrsg. F. Begemann, S. Schröder, ISSN 0948-8332, ZADI Bonn, 2004
- Fritsche, U. R., K. Hüneke und K. Wiegmann, Kriterien zur Bewertung des Pflanzenanbaus zur Gewinnung von Biokraftstoffen in Entwicklungsländern unter ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Öko-Institut e. V., Darmstadt. 2004
- Sonja Maria Simon, Szenarien nachhaltiger Bioenergiepotenziale bis 2030 – Modellierung für Deutschland, Polen, Tschechien und Ungarn, Diss. TU München 2006
- Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Biomasseproduktion - der große Nutzungswandel in Natur und Landschaft, Tagungsdokumentation <sup>[24]</sup>, Bonn 2007

## Siehe auch

- Massenrohstoffe, Ökosoziale Marktwirtschaft

## Weblinks

- *Nachwachsende Rohstoffe* <sup>[25]</sup>, Kapitel aus dem jährlichen Bericht der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) zu den Weltagrarmärkten, Bericht 2008 vom März 2009, abgerufen am 26. Januar 2010
- Informationssystem Nachwachsende Rohstoffe <sup>[26]</sup>
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe <sup>[27]</sup>, vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) getragener Verein zur Koordination von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekten im Bereich Nachwachsender Rohstoffe, umfassende Mediathek mit Publikationen zu NaWaRos und ihrer Nutzung
- Aktuelle Fachinformationen zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe <sup>[28]</sup>
- Biomasse-Verein Freiberg/Sachsen: „NawaRoh - Nutzung in der Landwirtschaft: Praxisanlagen und vieles mehr“ <sup>[29]</sup>
- Nachwachsende Rohstoffe - Ökologische Bewertung; Universität Stuttgart, LBP, Abt. Ganzheitliche Bilanzierung <sup>[30]</sup>
- Grafik nachwachsende Rohstoffe in Deutschland: stoffliche Nutzung <sup>[31]</sup>
- Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft: Thesen zur Bioenergiepolitik in Deutschland 2/2006 (pdf) <sup>[32]</sup>
- Nachrichten-Portal Nachwachsende Rohstoffe [http://www.nachwachsende-rohstoffe.biz/wiki-nawaro/ Lexikon Nachwachsende Rohstoffe <sup>[33]</sup> Michael Pankratius

## Referenzen

- [1] Markus Kaup: *Entwicklungs- und Erfolgsfaktoren für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland und der EU im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie*. Kölner Forschungen zur Wirtschafts- und Sozialgeographie Band 52, Wirtschafts- und Sozialgeographisches Institut der Universität Köln 2002.
- [2] *Bundeswaldinventur 2002* (<http://www.bundeswaldinventur.de/enid/e321c6a169b0e83e5d3b54dff9406b0c,56d0ab305f7472636964092d09343938/7q.html>), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), abgerufen am 17. Januar 2010
- [3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., *Entwicklung der Anbaufläche* (<http://www.nachwachsenderohstoffe.de/index.php?id=64>)
- [4] Im Jahr 2005: 37,2 %; Quelle: 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](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_303fg_dafa_071107.pdf)))
- [5] *Daten und Fakten zu Biokraftstoffen* (<http://www.bio-kraftstoffe.info/daten-und-fakten.html>), auf [www.bio-kraftstoffe.info](http://www.bio-kraftstoffe.info), Informationsseite der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), abgerufen am 17. Januar 2010
- [6] *Anbau 2008: Stilllegungsflächen halbiert - Zunahme beim Getreide* (<http://www.innovations-report.de/html/berichte/statistiken/bericht-115332.html>), Bericht auf [innovations-report.de](http://www.innovations-report.de), 1. August 2008, abgerufen am 18. Januar 2010
- [7] *Natural Oil Polyols erschließen Polyurethan-Hartschaum-Anwendungen* (<http://www.innovations-report.de/html/berichte/maschinenbau/bericht-109276.html>), Bericht auf [innovations-report.de](http://www.innovations-report.de), 5.Mai 2008, abgerufen am 18. Januar 2010
- [8] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) *Nachwachsende Rohstoffe* ([http://www.lfl.bayern.de/iem/agrarmarktpolitik/34655/linkurl\\_0\\_8\\_0\\_0.pdf](http://www.lfl.bayern.de/iem/agrarmarktpolitik/34655/linkurl_0_8_0_0.pdf)), Kapitel aus dem jährlichen Bericht zu den Weltagarmärkten, Bericht 2008 vom März 2009, abgerufen am 26. Januar 2010
- [9] [www.maerkischeallgemeine.de](http://www.maerkischeallgemeine.de): *Verbio produziert nur noch in Schwedt Biosprit Hersteller* ([http://www.maerkischeallgemeine.de/cms/beitrag/11298338/485072/Verbio\\_produziert\\_nur\\_noch\\_in\\_Schwedt\\_Biosprit\\_Hersteller.html](http://www.maerkischeallgemeine.de/cms/beitrag/11298338/485072/Verbio_produziert_nur_noch_in_Schwedt_Biosprit_Hersteller.html))
- [10] <http://www.ariva.de>: *VERBIO nimmt Bioethanolproduktion in Zörbig wieder auf* ([http://www.ariva.de/VERBIO\\_nimmt\\_Bioethanolproduktion\\_in\\_Zoerbig\\_wieder\\_auf\\_n2760630](http://www.ariva.de/VERBIO_nimmt_Bioethanolproduktion_in_Zoerbig_wieder_auf_n2760630))
- [11] ([http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/2039\\_1.pdf](http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/2039_1.pdf)) Nachwachsende Rohstoffe tierischen Ursprungs. Von Dr. Michael Grunert. In Fachmaterial, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Februar 2005
- [12] (<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
- [13] (<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
- [14] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) *Ölsaaten und Eiweißpflanzen* ([http://www.lfl.bayern.de/iem/agrarmarktpolitik/34600/linkurl\\_0\\_6\\_0\\_0.pdf](http://www.lfl.bayern.de/iem/agrarmarktpolitik/34600/linkurl_0_6_0_0.pdf)), Kapitel aus dem jährlichen Bericht zu den Weltagarmärkten, Bericht 2008 vom März 2009, abgerufen am 26. Januar 2010
- [15] Kamm, B., Gruber, P., Kamm, M.: *Biorefineries - Industrial Processes and Products*, Wiley-VCH, 2006, ISBN 978-3527310272, umfassendes, zweibändiges Werk zum status quo und zur zukünftigen Entwicklungen des *Konzepts Bioraffinerie*
- [16] Das heutige Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung in Köln arbeitet in direkter Nachfolge eines von Baur 1928 initiierten Instituts
- [17] unter anderem war Baur Assistenzarzt in der Landesirrenanstalt (heute Zentrum für Psychiatrie) in Emmendingen und Mitherausgeber der Zeitschriften *Archiv für Rassen- und Gesellschaftsbiologie* und *Volk und Rasse*
- [18] *Autarkie und Ostexpansion: Pflanzenzucht und Agrarforschung im Nationalsozialismus*, Susanne Heim, Wallstein Verlag, 2002, ISBN 389244496X
- [19] Michael Flitner, *Sammler, Räuber und Gelehrte. Die politischen Interessen an pflanzengenetischen Ressourcen 1895-1995*, Frankfurt/Main 1995
- [20] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Info-Graphik: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (2009) ([http://www.nachwachsenderohstoffe.de/index.php?eID=tx\\_cms\\_showpic&file=uploads/pics/NR\\_Anbau\\_Tabelle\\_2009\\_01.jpg&width=800m&height=600m&bodyTag=<body style="margin:0; background:#fff;">&wrap=<a href="javascript:close\(\);"> | </a>&md5=1475c2707454112085ee10e4266ab8fb](\"javascript:close();\">))
- [21] *Bioenergie - Basisdaten Deutschland* ([http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_92-basisdaten\\_bioenergie\\_2009.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_92-basisdaten_bioenergie_2009.pdf)), Informationsbroschüre der FNR, Stand Oktober 2009, 14-seitig, als pdf erhältlich
- [22] *Die Branche* (<http://www.saegeindustrie.org/sites/branche.php>), Information auf der Internetseite des Bundesverbands Säge- und Holzindustrie Deutschland (BSHD), abgerufen am 20. Januar 2010
- [23] *Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland 1997 bis 2007* ([http://www.nachwachsenderohstoffe.de/index.php?eID=tx\\_cms\\_showpic&file=uploads/pics/RZ\\_Grafik\\_Anbau\\_09\\_rgb\\_300\\_DE\\_01.jpg&width=800m&height=600m&bodyTag=<body style="margin:0; background:#fff;">&wrap=<a href="javascript:close\(\);"> | </a>&md5=43774fffc8fc5866a0bcdb8237481375](\"javascript:close();\">)), Grafik der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), vorläufige Schätzung, abgerufen am 20. Januar 2010
- [24] [http://www.bfn.de/0610\\_v\\_sommerakademie.html](http://www.bfn.de/0610_v_sommerakademie.html)
- [25] <http://www.lfl.bayern.de/iem/agrarmarktpolitik/34655/>
- [26] [http://www.inaro.de/Deutsch/Pflanzen\\_index.htm?](http://www.inaro.de/Deutsch/Pflanzen_index.htm?)

- [27] <http://www.nachwachsende-rohstoffe.de/>  
[28] <http://www.nachwachsende-rohstoffe.biz/>  
[29] <http://www.biomasse-freiberg.de/>  
[30] [http://www.lbgabi.uni-stuttgart.de/deutsch/branchen\\_nawaro\\_d.html](http://www.lbgabi.uni-stuttgart.de/deutsch/branchen_nawaro_d.html)  
[31] <http://www.heise.de/tp/r4/artikel/24/24910/x1.html>  
[32] [http://www.fal.de/nn\\_791716/SharedDocs/11\\_\\_MA/DE/Publikationen/Bereich/download\\_\\_ab\\_\\_02\\_\\_2006\\_\\_de,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/download\\_ab\\_02\\_2006\\_de.pdf](http://www.fal.de/nn_791716/SharedDocs/11__MA/DE/Publikationen/Bereich/download__ab__02__2006__de,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/download_ab_02_2006_de.pdf)  
[33] <http://www.nachwachsende-rohstoffe.info>

## Nadelholz

---

Mit **Nadelholz** im eigentlichen Sinne wird das Holz der Nadelbäume bezeichnet. Verschiedentlich wird der Ausdruck insbesondere in der Pluralform „*Nadelhölzer*“ jedoch auch als Synonym für Nadelbäume verwendet.

Das Holz der Nadelbäume besitzt keine Tracheen, so dass die im Vergleich englumigen Tracheiden neben Festigungsfunktionen auch den Transport des Wassers übernehmen müssen. Hierzu werden im Frühjahr Tracheiden mit größerem Durchmesser und dünnen Wänden als Frühholz gebildet. Sie sind durch zahlreiche Hoftüpfel verbunden. Im Sommer werden die Durchmesser kleiner und die Wandstärken größer. Das dann gebildete Spätholz dient der mechanischen Festigung des Stammes. Der Wechsel zwischen Spät und Frühholz lässt die Jahresringe deutlich hervortreten.



Das Nadelholz besteht zu 90 bis 95 % aus längs verlaufenden Tracheiden und ist somit insgesamt homogener als das Holz der Laubbäume. Der Rohdichtebereich ist mit 0,3 bis 0,6 relativ eng begrenzt. Im Vergleich zu gleichschweren Laubhölzern ist Nadelholz resistenter gegen Witterung und Pilzbefall, ebenso ist es korrosionsbeständiger gegenüber Chemikalien. Auf Grund der meist geringen Schwindung ist es auch form- und dimensionsstabiler. In Verbindung mit der guten Bearbeitbarkeit lassen diese Eigenschaften eine vielseitige Verwendung insbesondere als Bau- und Schnittholz zu.

Zu den wichtigsten heimischen Nadelhölzern Europas gehören Fichten-, Tannen-, Lärchen- und Kiefernholz während andere Laubhölzer wie Eibenholz nur eine geringe Bedeutung haben.

### Literatur

- Rudolf Mombächer: *Holz-Lexikon - Band 2*. 3. Auflage. DRW-Verlag, Stuttgart 1988. ISBN 3-87181-318-4
- Reinhold Erlbeck, Ilse Haseder und Gerhard K. F. Stinglwagner: *Das Kosmos Wald- und Forstlexikon*. Franckh-Kosmos, Stuttgart 1998. ISBN 3-440-07511-7

# Nahwärme

Als **Nahwärme** wird die Übertragung von Wärme zwischen Gebäuden zu Heizzwecken umschrieben, wenn sie im Vergleich zur Fernwärme nur über verhältnismäßig kurze Strecken erfolgt. Der Übergang zur Fernwärme mit größeren Leitungslängen ist fließend.

## Technische Umsetzung

Die Versorgung mit Nahwärme erfolgt über Nahwärmenetze. Durch ein verzweigtes Leitungsnetz wird als Wärmespeicher und Transportmedium Wasser im Heizkreis gepumpt. Über Wärmetauscher wird das Wasser durch die von einem oder mehreren Wärmeerzeugern abgegebene Wärmeenergie erhitzt, die Wärme wird mit dem Wasser zum Verbraucher transportiert (Vorlauf) und dort ebenfalls über Wärmetauscher an den Heizkreislauf des Abnehmers abgegeben. Das abgekühlte Wasser fließt über den Rücklauf zurück.



Nahwärmeverteiler im Keller eines Mehrfamilienhauses mit Wärmezählern für die einzelnen Abnehmer

Im Unterschied zu Fernwärme wird Nahwärme in kleineren Einheiten dezentral realisiert, für Nahwärmenetze typische thermische Leistungen liegen zwischen 50 Kilowatt und einigen Megawatt. Zudem kann die Wärme bei relativ niedrigen Temperaturen übertragen werden. Daher lässt sich neben der in Heizwerken und Blockheizkraftwerken erzeugten thermische Energie auch die bei niedrigeren Temperaturen anfallende Wärme aus Sonnenkollektoranlagen oder niedertemperaturigen Erdwärmeanlagen durch Nahwärme verwerten.

Nahwärmenetze bedienen mehrere Gebäude, ein Wohn- oder Gewerbegebiet oder eine Gemeinde. Der für die Versorgung von Nahwärmenetzen benötigte Leistungsbereich stimmt überein mit der Größenordnung der Leistungsabgabe dezentraler Energieerzeugungsanlagen, wie sie vor allem bei der Nutzung von Bioenergie eingesetzt werden. Daher entstehen Nahwärmenetze oft gemeinsam mit Biogasanlagen und Biomasseheizwerken. Die Integration von Langzeit-Wärmespeichern zur saisonalen Speicherung solarthermisch erzeugter Energie ist bei Nahwärmenetzen eher möglich als bei Heizanlagen einzelner Wohneinheiten. Für die Wärmeverteilung werden wegen der einfachen Verlegung meist flexible Verbundrohre verlegt, daneben kommen auch Kunststoffmantelverbundrohre zum Einsatz.

## Politische Zielsetzungen

Nahwärmenetze werden von der Politik gefördert, da sie eine Möglichkeit bieten, dezentral erzeugte Wärmeenergie zum Nutzer zu transportieren. Dadurch ist ein Energieerzeugungssystem mit insgesamt hoher Energieeffizienz bei hoher Wertschöpfung in den Regionen möglich. Zudem sind Nahwärmenetze, wie unter "Technische Umsetzung" ausgeführt, ein Baustein der politisch gewünschten Ausweitung einer Nutzung erneuerbarer Energiequellen.

## Förderung

In Deutschland wird die Errichtung von Nahwärmenetzen unter bestimmten Voraussetzungen gefördert. Erfolgt die Erzeugung der Wärmeenergie in Kraft-Wärme-Kopplung, sind Investitionszuschüsse durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle möglich<sup>[1]</sup>; wird die Wärme mit Erneuerbaren Energieträgern erzeugt, können öffentliche Förderungen über die KfW Mittelstandsbank in Anspruch genommen werden<sup>[2]</sup>.

## Rechtliches

Rechtlich wird zwischen Nah- und Fernwärme nicht unterschieden. Der Bundesgerichtshof definiert Fernwärme unabhängig von der Entfernung über die Lieferbeziehung:

„Wird Wärme von einem Dritten nach unternehmenswirtschaftlichen Gesichtspunkten eigenständig produziert und an andere geliefert, so handelt es sich um Fernwärme. Auf die Nähe der Anlage zu den zu versorgenden Gebäuden oder das Vorhandensein eines größeren Leitungsnetzes kommt es nicht an.“

Auch die Betriebstemperatur gilt nicht als rechtliches Kriterium für eine Unterscheidung.

## Weblinks

- Nahwärme-Forum <sup>[3]</sup> (mit ausführlichem Leitfaden Nahwärme)
- Portal zur Energieforschung: Thema Solare Nahwärme in neuen Wohnsiedlungen <sup>[4]</sup>
- K.GROUP Projektwebsite für Nahwärmenetze; Thema Nahwärme und Stadtwerke; gefördert vom Umweltministerium Baden-Württemberg <sup>[5]</sup>

## Referenzen

- [1] BAFA: Stromvergütung / Wärmenetze ([http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft\\_waerme\\_kopplung/stromverguetung/index.html](http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft_waerme_kopplung/stromverguetung/index.html)), abgerufen am 24.2.2010
- [2] KfW Mittelstandsbank: KfW-Programm Erneuerbare Energien, Förderbedingungen Premium ([http://www.kfw-mittelstandsbank.de/DE\\_Home/Kredite/Umweltschutz\\_im\\_Unternehmen/KfW-Erneuerbare\\_Energien/Foerderbedingungen\\_Premium.jsp](http://www.kfw-mittelstandsbank.de/DE_Home/Kredite/Umweltschutz_im_Unternehmen/KfW-Erneuerbare_Energien/Foerderbedingungen_Premium.jsp)), abgerufen am 24.2.2010
- [3] <http://www.nahwaerme-forum.de>
- [4] [http://www.bine.info/templ\\_meta.php/publikationen/projektinfo/376/link=clicked&search\\_year=2005/](http://www.bine.info/templ_meta.php/publikationen/projektinfo/376/link=clicked&search_year=2005/)
- [5] <http://www.nahwaerme-bw.de>

# Naturbaustoff

Als **Naturbaustoffe** werden Stoffe bezeichnet, die sich nach den Definitionen für Naturstoffe und Baustoffe beschreiben lassen. Es sind entsprechend natürlich vorkommende Stoffe, die lediglich manuell, mechanisch oder durch Gravitationskraft, durch Auflösen in Wasser, durch Dampfdestillation oder durch Erhitzung zum Wasserentzug verarbeitet wurden.

Naturbaustoffe können sowohl biotische oder biogene (aus der belebten Natur entstammende), z. B. Holz, Schafwolle, Flachs, Hanf, Roggen, Schilf, Seegrass, Wiesengras, Stroh, als auch abiogene (aus der unbelebten Natur entstammende) Stoffe wie zum Beispiel Lehmbaustoffe, Perlitegesteine, Bimssteine u. v. a. sein.



Einfamilienhaus in Holzbauweise

## Definition

Gesetzliche Definitionen für „Naturbaustoffe“ gibt es nicht, entsprechend können alle Baustoffe als Naturbaustoffe bezeichnet werden, die zugleich Naturstoffe sind. Als Naturstoffe sind nach Art. 3 Nr. 37 der EU-RL 67/548/EWG, Anhang V und der REACH-Verordnung 1907/2006 natürlich vorkommende Stoffe, die lediglich manuell, mechanisch oder durch Gravitationskraft, durch Auflösen in Wasser, durch Dampfdestillation oder durch Erhitzung zum Wasserentzug verarbeitet wurden, definiert.

Daraus resultiert, dass alle weiteren Definitionen als Zubereitungen und Erzeugnisse (Produkte) zu betrachten sind und damit den diversen nationalen und europäischen Richtlinien und Verordnungen unterliegen, wie z. B. der Zubereitungsrichtlinie 1999/45/EG oder dem Geräte und Produktsicherheitsgesetz (GPSG).

Für Baustoffe ist darüber hinaus die Bauproduktenrichtlinie (BPR) zu beachten, die Zulassungen und Inverkehrbringung von Bauprodukten („Baustoffen“) regelt. Gute oder weniger gute Bauprodukte, oder schadstoffarme Bauprodukte und sehr schadstoffarme Bauprodukte lassen sich mit dem Begriffszusatz „Natur“ nicht regeln oder differenzieren. Es sind meist die Zugaben und Mischungen die im kleinteiligen Bereich ein Bauprodukt zum Problemprodukt machen können, was sowohl bei „Naturbaustoffen“ als auch bei rein synthetischen Bauprodukten vorkommen kann. Die Eingrenzungen, Zuordnungen und Definitionen sollen künftig in der Bauproduktenrichtlinie Nr. 3 „Hygiene, Gesundheit und Umwelt“ geregelt werden.

Eine entscheidende Rolle bei der entsprechenden Bewertung/ Zertifizierung von „Naturbaustoffen“ spielt die Deklaration und Zuordnung aller eingesetzten Rohstoffe. Auch die Stoffe natürlichen Ursprungs „Naturbaustoffe“ können ein Gefährdungspotenzial aufweisen und sind gemäß den gesetzlichen Vorgaben zu kennzeichnen. Mit der REACH-Verordnung wurde ein neues Regelwerk geschaffen, das sowohl den Konsumenten als auch allen Akteuren entlang der Lieferkette mehr Verantwortung bezüglich der eingesetzten Stoffe auferlegt und zur Substitution verpflichtet, d. h. die Stoffe und Produkte zu empfehlen, die ein geringeres Gefährdungspotenzial aufweisen.

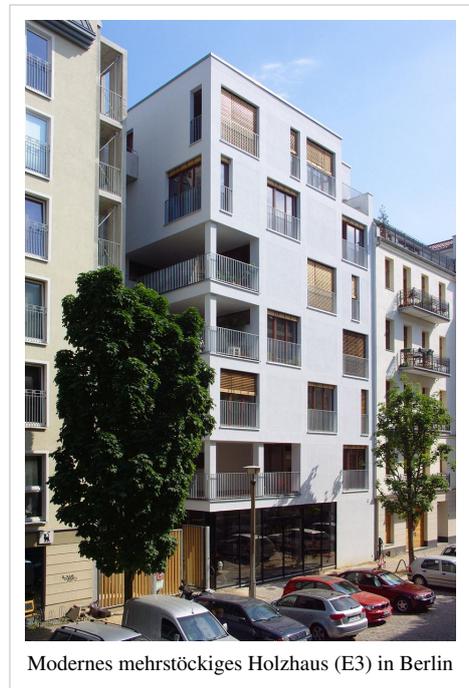
## Anwendungsformen von Naturbaustoffen

Baustoffe und entsprechend auch Naturbaustoffe werden in unterschiedlichen Bereichen des Bauwesens angewendet. Dabei werden alle Rohstoffe, Hilfsstoffe oder Halbzeuge als Baustoffe bezeichnet, die zum Errichten von Bauwerken und Gebäuden benutzt werden. Das Spektrum reicht dabei von dem Baustoffen der elementaren Baukonstruktion (Mauersteine, Holzbalken, Dachziegel, Zement und Mörtel) über den Innen- und Außenausbau (Dämmstoffe, Wandverkleidungen, Treppen, Fensterelemente, Türen) bis hin zu Produkten zur Renovierung (Farben, Lacke, Tapeten).

### Baukonstruktion, Holz und Holzwerkstoffe

Die ältesten Baustoffe, die der Mensch verwendet, sind Hölzer, Lehm, Getreidestroh und Natursteine, die vor allem für die Baukonstruktion genutzt wurde. Bis heute stellt vor allem Holz einen sehr wichtigen Anteil der Rohstoffe in der Baukonstruktion, insbesondere für den Dachstuhl sowie für Außenverkleidungen, Wände, Fenster und Innenausbau (Fußböden wie bsp. Parkett, Treppen, Wandverkleidungen etc.). Daneben werden allerdings auch heute viele Häuser als Holzhäuser gebaut.

Stroh und Lehm, die vor allem beim Fachwerkbau genutzt werden, werden heute dagegen nur noch selten in Nischenbereichen eingesetzt, vor allem im Restaurierungsbereich sowie im Strohballebau.



Modernes mehrstöckiges Holzhaus (E3) in Berlin

Neben diesen traditionellen Baustoffen können jedoch auch Mauersteine, Zement und Mörtel sowie Trockenbauplatten den Anspruch an Naturbaustoffe erfüllen, wenn sie bsp. zu 98 % oder mehr aus unbehandelten mineralischen oder nachwachsenden Rohstoffen bestehen.<sup>[1]</sup> Eine weitere große Gruppe von Baustoffen für den Konstruktionsbau stellen Holzwerkstoffe dar, zu denen unter anderem die im Bauwesen sehr häufig anzutreffenden Grobspanplatten und MDF-Platten gehören. Um als Naturbaustoffe anerkannt zu werden, muss jedoch auch bei der Produktion dieser holzbasierten Baustoffe sichergestellt werden, dass sie keine chemischen Bindemittel, Farbstoffe und Klebstoffe enthalten.<sup>[2]</sup>

## Dämmstoffe

→ *Hauptartikel: Naturdämmstoff*

Naturdämmstoffe werden auf Basis verschiedener Nutzpflanzen wie zum Beispiel Flachsfaser (Faserlein), Getreide, Hanf, Holz, Jute, Kork, Schilfrohr, Sisalfaser, Kokos und Wiesengras hergestellt. Außerdem gibt es Naturdämmstoffe auf Basis tierischer Rohstoffen wie Schafwolle. Teilweise werden auch Dämmstoffe aus Recyclingmaterial als Naturdämmstoffe bezeichnet, sofern diese auf biogenen Rohstoffen bestehen (z.B. Cellulosefasern aus Altpapier).

Zum Schutz gegen Schädlings- und Schimmelbefall und zum Brandschutz sowie teilweise zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften werden Naturdämmstoffen in der Regel geringe Anteile an Zusatzstoffen zugesetzt. Die schützenden Zusätze reichen von Molke, Borsalzen, Soda oder Zement bei Hobelspänen oder Holzwolle-Leichtbauplatten, über Aluminiumsulfat, Paraffin oder Ammoniumsulfat bei Holzfaserdämmplatten. Die meisten der verwendeten Zusätze sind bei Herstellung und Verwendung unbedenklich, in einigen Fällen (zum Beispiel synthetische Faseranteile in Naturfasermatten) behindern die Zusätze allerdings die chemische oder biologische Abbaubarkeit bei der Entsorgung. Um die Formstabilität zu erhöhen werden in zahlreichen Naturdämmstoffen synthetische Polyesterfasern als Stützfasern genutzt. Alternativ hierzu können Kokosfasern, Kartoffelstärke oder Wasserglas eingesetzt werden.



## Sonstige Naturbaustoffe

Neben den benannten Konstruktionsbaustoffen und den Dämmstoffen gibt es eine Reihe weiterer Baustoffe, die als Naturbaustoffe ausgewiesen sein können. Hierzu gehören vor allem die verschiedenen Hilfs- und Zuschlagstoffe, zu denen vor allem Klebstoffe und Bindemittel gehören, sowie Fußbodenbeläge, Wandbeläge, Tapeten und andere Baustoffe, die im Innenausbau und bei der Renovierung genutzt werden.

## Durchsetzung

Zwischenzeitlich haben sich die Anforderungen an Bauprodukte stark verändert. Die REACH-Verordnung regelt die bislang oftmals ideologisch geprägten Produkt- und Werbeaussagen, die bei genauer Prüfung den Anforderungen nicht stand hielten. (Siehe ÖKO-TEST-Bewertungen zu Lacken und Farben 2006/2007). Neben Fragen der Umweltverträglichkeit und vor allem der Langlebigkeit und Gebrauchstauglichkeit stellt die Frage der Gesundheits- und Allergieverträglichkeit auch die Kennzeichnung der gefährlichen Stoffanteile eine wesentliche Position in der Bewertung dar.

Die erste Bauuniversität, die Bauhaus-Universität Weimar, schuf 1997 bereits einen eigenen Lehrstuhl zum Thema „ökologisches Bauen“<sup>[3]</sup> und hob damit das Thema aus einem ursprünglich sehr ideologisch besetztem Nischendasein heraus.

Auch der Baustoff-Fachhandel hat sich dieses Themas stark angenommen, Projektentwicklungs- und Ausbildungsinstitutionen bieten zwischenzeitlich internationale Kompetenzträger als Projekt- und Ausbildungspartner an; Produkte werden ständig in ihrer Nachhaltigkeit optimiert und öffentliche Förderungen helfen bei der Markteinführung.

Vor allem im Bereich der Dämmstoffe nehmen „Naturdämmstoffe“ aus nachwachsenden Rohstoffen einen steigenden Marktanteil ein und bieten neben ihren besonderen Vorteilen für das Raumklima vor allem der regionalen Landwirtschaft neue Einkommensquellen.

## Weblinks

- APUG Studie – „Umweltzeichen für Bauprodukte“<sup>[4]</sup> (PDF-Datei; 1,32 MB)
- „Zertifizierung von Naturbaustoffen“<sup>[5]</sup> durch natureplus
- Nicolas Kerz, IEMB „Umweltzeichen/Ökolabel im Baubereich“<sup>[6]</sup> (PDF-Datei; 101 kB)

## Literatur

- Gerhard Holzmann, Matthias Wangelin: *Natürliche und pflanzliche Baustoffe. Rohstoff - Bauphysik - Konstruktion*. Vieweg und Teubner / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009. ISBN 978-3-8351-0153-1.
- Kora Kristof, Justus von Geibler: *Zukunftsmärkte für das Bauen mit Holz*. DRW-Verlag, Karlsruhe 2008. ISBN 978-3-87181-711-3.

## Referenzen

- [1] natureplus e.V.: *Vergaberichtlinien für Mauer- und Mantelsteinesteine zur Vergabe des natureplus-Qualitätszeichens für Naturbaustoffe* ([http://www.natureplus.org/uploads/tx\\_usernatureplus/RL1100Mauersteine.pdf](http://www.natureplus.org/uploads/tx_usernatureplus/RL1100Mauersteine.pdf)), Januar 2005.
- [2] natureplus e.V.: [*cat* ([http://www.natureplus.org/natureplus/vergaberichtlinien/?user\\_natureplus\\_pi3\)=02&cHash=21989ccc72](http://www.natureplus.org/natureplus/vergaberichtlinien/?user_natureplus_pi3)=02&cHash=21989ccc72) *Vergaberichtlinien für Holz- und Holzwerkstoffe zur Vergabe des natureplus-Qualitätszeichens für Naturbaustoffe*], Januar 2005.
- [3] Bauhaus-Universität Weimar ([http://www.uni-weimar.de/architektur/oekologisches\\_bauen/start\\_de.htm](http://www.uni-weimar.de/architektur/oekologisches_bauen/start_de.htm))
- [4] <http://www.apug.nrw.de/pdf/bauprodukte.pdf>
- [5] <http://www.natureplus.de>
- [6] <http://www.iemb.de/veroeffentlichungen/infobl%E4tter/8-02.pdf>

# Naturdämmstoff

Unter dem Begriff **Naturdämmstoffe** werden Dämmstoffe aus Materialien pflanzlicher oder tierischer Herkunft zusammengefasst.

## Inhaltsstoffe

Naturdämmstoffe werden auf Basis verschiedener Nutzpflanzen wie zum Beispiel Flachsfasern (Faserlein), Getreide, Hanf, Holz, Jute, Kork, Schilfrohr, Sisalfasern, Kokos und Wiesengras hergestellt. Außerdem gibt es Naturdämmstoffe auf Basis tierischer Rohstoffe wie Schafwolle. Teilweise werden auch Dämmstoffe aus Recyclingmaterial als Naturdämmstoffe bezeichnet, sofern diese auf biogenen Rohstoffen bestehen (z.B. Cellulosefasern aus Altpapier).

Zum Schutz gegen Schädlings- und Schimmelbefall und zum Brandschutz sowie teilweise zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften werden Naturdämmstoffen in der Regel geringe Anteile an Zusatzstoffen zugesetzt. Die schützenden Zusätze reichen von Molke, Borsalzen, Soda oder Zement bei Hobelspänen oder Holzwole-Leichtbauplatten, über Aluminiumsulfat, Paraffin oder Ammoniumsulfat bei Holzfaserdämmplatten. Die meisten der verwendeten Zusätze sind bei Herstellung und Verwendung unbedenklich, in einigen Fällen (zum Beispiel synthetische Faseranteile in Naturfasermatten) behindern die Zusätze allerdings die chemische oder biologische Abbaubarkeit bei der Entsorgung. Um die Formstabilität zu erhöhen werden in zahlreichen Naturdämmstoffen synthetische Polyesterfasern als Stützfasern genutzt. Alternativ hierzu können Kokosfasern, Kartoffelstärke oder Wasserglas eingesetzt werden.

## Eigenschaften

### Dämmwirkung

Die Wärmedämmwirkung von Naturdämmstoffen entspricht der üblicher mineralischer und fossiler Dämmstoffe (Wärmeleitgruppe 035 bis 055). Im Bereich der Hochleistungsdämmstoffe befinden sich Vakuum-Isolationspaneele aus polymergetränkten Zellulose-Wabenplatten in der Entwicklung, die zumindest teilweise aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen.<sup>[1]</sup> Der sommerliche Wärmeschutz ist bei den meisten Naturdämmstoffen (besonders bei Holzfaserdämmstoffen) deutlich höher als bei den üblichen fossilen und mineralischen Materialien, die gedämmten Räume bleiben daher auch bei hohen Außentemperaturen im Tagesverlauf kühler.

### Feuchtigkeitsaufnahme

Im Gegensatz zu den anderen Dämmstoffen sind die meisten Naturdämmstoffe sorptionsfähig, sie können Feuchtigkeit aufnehmen und abgeben, ohne dass die Dämmwirkung verloren geht. Kurz- bis mittelfristige Feuchteinwirkungen sind in vielen Fällen problemlos und können anschließend wieder abgegeben werden, so dass auch die Gefahr der Schimmelpilzbildung verringert ist. Mehrmonatige ununterbrochene Feuchtigkeit jedoch kann Naturdämmstoffe dauerhaft schädigen.



Wärmedämmung eines Hausdachs mit Holzfaserdämmplatten kombiniert mit Einblasdämmung aus Zellulose.

## Weitere Eigenschaften

Die gängigen Naturbaustoffe sind entweder als normal entflammbar oder als schwer entflammbar eingestuft. Die Schallschutzwirkung unterscheidet sich zwischen den Dämmstoffen erheblich, gute Schallschutzeigenschaften haben u.a Dämmstoffe aus Kokosfasern, Zellulose oder Holzfasern.

## Normen und Zulassungen

Vor allem für eine Reihe von Dämmstoffen auf Basis von Holzprodukten (Holzwolleleichtbauplatte, Holzfaserdämmplatte porös, Holzfaserplatte bitumenhaltig, aber auch für Kokosfasern und Kork existieren einschlägige DIN-Normen. Dämmstoffe, die keiner DIN unterliegen, können eine bauaufsichtliche Zulassung vom Deutschen Institut für Bautechnik erhalten. Eine weitere Form der Qualitätssicherung stellen Übereinstimmungszertifikate dar. Diese werden durch Zertifizierungs- und Überwachungsstellen ausgestellt und bestätigen die Übereinstimmung mit den rechtlichen Anforderungen. Nicht zugelassene Dämmstoffe können über Einzelfallentscheidungen zugelassen werden.

## Einsatzbereiche

Für nahezu alle Anwendungsbereiche können Naturdämmstoffe eingesetzt werden, vom Wärmedämmverbundsystem für die Wand über die Dämmung von Decke und Boden bis zur Dachdämmung. Für Anwendungsbereichen erdberührten oder spritzwassergefährdeten Bauteilen (Perimeterdämmung) sind Naturdämmstoffe wegen der beständigen Feuchtigkeit jedoch nicht geeignet.

## Absatz und Markt

In Deutschland nimmt der Absatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zu. lag der Marktanteil von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen im Jahr 2005 bei 5%. Zum Einsatz kommen vor allem weiche Holzfaserdämmplatten (im Jahr 2006 28% des Naturdämmstoffmarktes), Einblaszellulose (32%), sonstige Leichtbauplatten (20%), Flachs- und Hanfdämmstoffe (9%) sowie Dämmstoffe aus Schafwolle (4%) <sup>[2]</sup>.

## Naturdämmstoffarten

### Holzfaser

Holzfaserplatten bestehen aus Nadelholzresten, die - mit zwei unterschiedlichen Verfahren - behandelt und zerkleinert und mit Zusätzen versehen werden. Holzfaserdämmplatten als dauerhafter und dämmstarker Faserverbund ohne fremde Bindemittel werden in verschiedenen Ausführungen angeboten (u.a. fest und flexibel) und sind universell verwendbar. Die Quadratmeterkosten sind etwas höher, allerdings bei sehr gutem sommerlichem Wärmeschutz und guter Bearbeitbarkeit (ähnlich wie Holzplatten und auch in Eigenleistung verarbeitbar). Als Einblasdämmstoff kommen auch lose Holzfasern zum Einsatz.



Flexible Holzfaserdämmung

## Hobelspäne zum Einblasen

Mit Zusätzen gegen Schädlingsbefall und Schimmel sowie zum Feuerschutz versehene Hobelspäne aus der Holz verarbeitenden Industrie werden als Einblasdämmstoff verwendet. Die Dämmschicht ist dampfdiffusionsoffen und Feuchte ausgleichend. Die Schallschutzeigenschaften und der sommerliche Wärmeschutz sind hoch. Verwendung finden Hobelspäne vor allem bei der Zwischensparrendämmung, im Holzskelettbau und im Holztafelbau.

## Holzwoleleichtbauplatten

Bereits seit 1938 sind Holzwoleleichtbauplatten (HWL-Platten) als Dämmstoff genormt. Die formstabilen und sehr festen Bauteile bestehen aus Holzwole, die mit Zement oder Magnesit als Bindemittel in einer Form gepresst werden und anschließend aushärten. Die Platten sind resistent gegen Fäulnis, Pilze und tierische Schädlinge resistent, feuerhemmend, feuchtigkeitsabsorbierend. Eingesetzt werden sie vor allem als Putzträger - auch im Außenbereich, außerdem für die Dämmung gut wärmeleitender Bauteile im Mauerwerks- und Betonbau und als Beplankung im Holzbau. Ihre wärmedämmende Wirkung ist mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $0,090 \text{ W/m}^2\text{K}$  nur etwa halb so hoch wie die anderer Naturdämmstoffe. Sonderprodukte optimieren die Dämmwirkung durch Einlegen wirksamerer Dämmstoffe zwischen zwei Holzwole-Leichtbauplatten. Unverputzt absorbieren die Platten Schall, als verputzte Bauteile wirken sie schalldämmend. Daher werden Holzwoleleichtbauplatten auch als Akustikplatten eingesetzt. Diese können auch mit speziellen Oberflächenprofilen für den Schallschutz optimiert werden. Herstellung, Verwendung und Entsorgung der Platten gelten als gesundheitlich unbedenklich, der Dämmstoff ist recyclingfähig und kann thermisch verwertet werden.

## Zellulose

Zellulose aus Altpapier wird in Mühlen (zum Beispiel Wirbelstrommühlen) aufgefasernd und mit Zusätzen gemischt. Die losen Flocken werden im Dach- Wand- und Deckenbereich in Hohlräume eingeblasen, als lose Schüttung aufgebracht oder feucht aufgespritzt. Gepresst kommt Zellulose als sehr elastische und formbare Zellulosedämmplatte zum Einsatz. Zellulose hat eine gute Wärmedämm- und Speicherfähigkeit und eine hohe

Setzungssicherheit, der Dämmstoff ist brandwidrig, wiederverwertbar und hat eine hohe Feuchteresistenz bei gleichbleibender Dämmwirkung. Für die Kerndämmung, bei der eine dauerhafte Feuchtigkeitwirkung möglich ist, ist Zellulose allerdings nicht zugelassen. Als reines Recyclingmaterial benötigt Zelluloseeinblasdämmung den geringsten Primärenergieeinsatz aller Dämmstoffe ( $55\text{-}70 \text{ kWh/m}^3$ ), unter den kommerziell erhältlichen Naturdämmstoffen ist sie der preiswerteste.



Holzwole-Leichtbauplatte als Fensterlaibung



Zelluloseflocken werden über den Dosierer (Tonne) eingebracht und durch den Schlauch in Hohlräume eingeblasen.



Dämmstoffblock aus Hanffasern

## **Flachs und Hanf**

Hanf- und Flachsfasern werden in zu Dämmmatten verarbeitet, die bei der Hanffasererzeugung als Koppelprodukt anfallenden Schäben benutzt man gemischt mit Bitumen und Tongranulat als Schüttdämmstoffe oder man presst sie zu festen Platten. Die Dämmstoffmatten finden in Wand, Dach und Boden Verwendung. Interessant ist die angenehme Verarbeitung (hautverträglich, staubarm). Vor allem die Dämmprodukte mit Hanfschäben bieten neben der wärmedämmenden Wirkung auch eine hohe Schalldämmung.

## **Weitere Naturdämmstoffe**

Roggenschrot kann in Granulatform als Schüttdämmung, Ein- oder Aufblasdämmung verwendet werden. Schafwolle, Strohballen, Korkplatten oder Korkgranulat, Schilfmatten, Kokosfasern und -matten sind Beispiele von Naturdämmstoffen, die in Nischenmärkten oder in Spezialeinsatzbereichen verwendet werden.

## **Umweltaspekte**

Gegenüber mineralischen oder synthetischen Dämmstoffen ist die Umweltbelastung von Naturdämmstoffen in der Regel weitaus geringer, sowohl bei der Produktion als während des Einsatzes und bei der Entsorgung. Statt begrenzter fossiler oder mineralischer Rohstoffe kommen nachwachsende Rohstoffe zum Einsatz. Da die Schadstoffbelastung von Naturdämmstoffen in der Regel sehr gering ist, werden sie als baubiologisch vorteilhaft eingestuft. Wegen der natürlichen Materialbasis bereiten Naturdämmstoffe nach der Verwendung keine Entsorgungsprobleme, viele sind biologisch abbaubar.

Der Energieeinsatz bei der Herstellung und damit der Ausstoß klimarelevanter Gase liegt um ein Mehrfaches bis Vielfaches unter dem anderer Dämmstoffe. In Bezug auf die Energie- und Klimabilanz spielt neben dem Energieverbrauch der Dämmstoffe bei Herstellung, Anwendung und Entsorgung die Einsparung von Energie (zum Beispiel von Heizenergie) durch die Verwendung der Dämmstoffe eine wesentliche Rolle. Da in der Gesamt-Energiebilanz der Energieverbrauch der Herstellung bereits nach wenigen Wochen bis Monaten des Einsatzes durch die eingesparte Heizenergie ausgeglichen wird, ist die erreichte Dämmwirkung entscheidend für die Gesamtbilanz. Bei baulich begrenzter Dämmstoffdicke kann die Verwendung synthetischer oder mineralischer Hochleistungsdämmstoffe mit besonders hoher Dämmwirkung (zum Beispiel Plattendämmstoffe bis Wärmeleitgruppe 023, Vakuum-Isolationspaneelle bis 0,004) energetisch positiver sein als die Verwendung von Naturdämmstoffen. Wo ausreichende Dämmstoffdicken möglich sind, bleiben Naturdämmstoffe jedoch deutlich im Vorteil.

## Literatur

- aid e.V., 2005: Bauen auf die Kraft der Natur. Baumaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen. ISBN 3830805438
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2009: Dämmstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen. 3. Auflage, 67 Seiten. (pdf <sup>[3]</sup>)

## Links

Naturdämmstoffe im Informationsportal Natur-Baustoffe der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) <sup>[4]</sup>

## Referenzen

- [1] Profact.de: Produktion der SwissCell angelaufen. 2009-01 (<http://www.profact.de/aktuell.ihml?id=318>)
- [2] 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, S.180f
- [3] [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_317-brosch\\_daemmstoffe2009.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_317-brosch_daemmstoffe2009.pdf)
- [4] <http://www.naturdaemmstoffe.info>

# Naturfarbe (Anstrichmittel)

---

Als **Naturfarben** (Bio-Anstrichmittel) lassen sich Anstrichmittel klassifizieren, die aus natürlichen Basismaterialien vorwiegend pflanzlicher, aber auch mineralischer Herkunft produziert werden. Natürliche Rohstoffe werden in Anstrichmitteln vor allem aufgrund ihrer Kohlendioxid-Neutralität, aufgrund der nachhaltigen Herstellung, zur Substitution petrochemischer Produkte und zur Schonung der Ressourcen bei Erdöl und seltenen mineralischen Stoffen genutzt.

## Arten und Zusammensetzung

Zu den Naturfarben gehören vor allem Alkydharze auf Basis von Lein-, Soja- oder Sonnenblumenöl. Vor allem Leinöl war und ist noch immer das wichtigste Bindemittel für Ölfarben. Es wird von alters her in der Kunstmalerei, neuerdings aber auch wieder zur Holzkonservierung, zum Beispiel für Fachwerk, Fenster, Türen und Holzfassaden, verwendet. Der Anteil natürlicher Komponenten kann dabei variieren und beträgt im Regelfall 50 Prozent. Bei zweikomponentigen Polyurethan-Systemen tragen pflanzliche Öle zum Aufbau der Beschichtung bei. Weitere Anstrichmittel auf der Basis von pflanzlichen Ölen sind Firnisse, Imprägniermittel, Hartöl, Lasuren, Versiegelungswachse auf der Basis von Naturharz und Bienenwachs sowie Parkett- und andere Pflegemittel.

Unterschiede gibt es bei den Anteilen natürlicher Inhaltsstoffe in Naturfarben. Während häufig synthetische Inhaltsstoffe wie Isoaliphate, Azo-Pigmente, Biozide und Antihautmittel eingesetzt werden, verzichten einige Hersteller weitgehend oder komplett auf synthetische Zusätze. So kommen für Naturlacke auf Citrusbasis neben Pflanzenölen und Naturharzen ätherische Öle sowie Erd- und Mineralpigmente zum Einsatz, bei Naturlacken auf Wasserbasis sind auch die enthaltenen Tenside biogen. Die Volldeklaration aller Inhaltsstoffe ist bei Naturfarben die Regel.

In Lacken auf Basis pflanzlicher Öle werden Cobaltverbindungen als Trocknungsbeschleuniger in kleinsten Mengen als organisch gebundene Additive zugegeben. Eine Alternative ohne gesundheitliche Wirkung ist derzeit nicht verfügbar.

Auch bei anderen Beschichtungsstoffen sind Alternativen auf Basis von Naturstoffen möglich. Bei Dispersionsfarben wird unter anderem auf Casein als Grundstoff zurückgegriffen, das mit Pflanzenfarben abgetönt wird.

## Eigenschaften

In einigen Eigenschaften unterscheiden sich Naturfarben von synthetisch erzeugten Farben. So können natürliche Harze und Öle in Farben zur Oberflächenbehandlung von Holz wegen ihrer geringeren Molekülgrößen weiter in den Untergrund eindringen als Kunstharze, die Verankerung im Untergrund und die Untergrundhaftung werden dadurch erhöht und das Abplatzen verhindert. Die Trocknungszeit von Naturfarben ist meist deutlich verlängert (rund ein Tag), was die Neigung zum Versprüden verringert. Die mechanische Härte und Festigkeit von Naturharzöl-Lacken und -Lasuren ist geringer als die herkömmlicher Produkte. Mit reinen Naturfarben können nicht alle Farbtöne des RAL-Farbsystems exakt gemischt werden.

## Literatur

- *Leitfaden für Bewertungskriterien ökologisch optimierter, gebrauchstauglicher Anstrichmittel für den Innenbereich zur Verarbeitung durch Privatpersonen.* Herausgegeben vom Fachverband der Chemischen Industrie Österreichs – FCIO, Berufsgruppe Lack- und Anstrichmittelindustrie (PDF <sup>[1]</sup>)
- KNR - Kompetenzzentrum Bauen mit Nachwachsenden Rohstoffen, 2007: Oberflächenbeschichtungen und Naturfarben. (PDF <sup>[2]</sup>)

## Weblinks

- Portal Ökologisch Bauen: Informationen zu Naturfarben <sup>[3]</sup>

## Referenzen

[1] [http://www.adler-lacke.com/Documents/leitfaden\\_bewertungskriterien\\_070927.pdf](http://www.adler-lacke.com/Documents/leitfaden_bewertungskriterien_070927.pdf)

[2] [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_163knr\\_oberflaechenbehand07.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_163knr_oberflaechenbehand07.pdf)

[3] <http://www.oekologisch-bauen.info/naturfarben/naturfarben.php>

# Naturfaser

**Naturfasern** sind alle Fasern, die von natürlichen Quellen wie Pflanzen, Tieren oder Mineralien stammen und sich ohne weitere chemische Umwandlungsreaktionen direkt einsetzen lassen. Sie sind damit abzugrenzen von Chemiefasern, die synthetisch hergestellt werden. Keine Naturfasern sind Regeneratfasern, die auf Zellulose als Material aus nachwachsenden Rohstoffen basieren (z.B. Viskose aus Holz oder Bambus). Auch die relativ kurzen Holzfasern werden oft gesondert betrachtet. Naturfasern können organischen (pflanzlich oder tierisch) oder anorganischen Ursprungs (mineralisch) sein.

## Pflanzenfasern

Pflanzenfasern können unterschiedlichen Ursprungs sein und entsprechend vielfältige Eigenschaften aufweisen. So kommen Pflanzenfasern als Leitbündel im Stängel oder Stamm bzw. Pseudostamm, der Rinde (etwa als Bastfaser) und als Samen-Fortsätze vor.

Die folgende Liste gibt die unterschiedlichen Pflanzenfasern wieder (die Abkürzungen in Klammern geben die gültigen Kurzbezeichnungen nach DIN 60001-1 an). Die Liste zeigt die Vielfalt an pflanzlichen Naturfasern, auch wenn nur ein Teil von diesen in größerem Umfang genutzt wird.

- *Samenfasern*
  - Baumwolle (CO) aus den Samenhaaren der Frucht der Baumwollpflanze
  - Kapok (KP) aus dem Inneren der Kapsel Frucht des echten Kapokbaumes
  - Pappelflaum
  - Akon
- *Bastfasern*
  - Bambusfaser
  - Brennnessel, siehe auch Fasernessel
  - Hanffaser (HA)
  - Jute (JU)
  - Kenaf
  - Leinen (LI) aus dem Gemeinen Lein
  - Hopfen
  - Ramie (RA)
  - Sunn-Hanf
- *Blattfasern*
  - Abacá (Manilahanf), Hartfaser aus den Blättern einer Faserbanane
  - Ananas
  - Caroá
  - Curauá
  - Henequen
  - Macambira
  - Neuseeländer Flachs
  - Sisal (SI) aus Agaven-Blättern



Offene Baumwollkapsel mit Baumwollfasern



Hanffasern



Trocknende Abacafasern

- *Fruchtfasern*
  - Kokos (CC) aus der Fruchthülle der Kokospalmenfrüchte

Die Blattfasern sowie die Kokosfaser werden vom Handel und der Textilindustrie auch als *Hartfasern* bezeichnet.<sup>[1]</sup> Sowohl Ananas als auch Curauá und Caroá gehören zur Familie der Bromeliengewächse. Ihre Verwendung zur Fasergewinnung ist weniger bekannt und erfolgt heute meist als Nebenprodukt des Anbaus zur Gewinnung der Frucht<sup>[1]</sup>. Neben der Sisalagave gibt es noch eine Reihe weiterer Faser liefernder Arten aus der Familie der Agaven die u.a. zur Gattung der Furcraea gehören. Diese werden auch als Mauritushanf bezeichnet. Die Verwendung der Bezeichnungen Hanf und Flachs für Faserpflanzen die eigentlich gar nicht mit diesen verwandt sind ist häufig (Beispiele siehe oben) und führt leicht zu Verwechslungen. Daneben werden auch verschiedene Binsengräser, gespaltener Bambus und andere Pflanzen als Faserstoff verwendet. Die langen Fasern von Linde und Eiche dienten als Werkstoff zur Herstellung von Körben, Matten und Schnüren.

## Fasern tierischen Ursprungs

Bei Tieren bilden die Haarfollikel Fasern, die in Form einer Behaarung bzw. eines Fells vorhanden sind. Ausnahmen sind Seidenfasern aus dem Kokon verpuppter Seidenraupen sowie andere aus Sekreten gebildete Fasern wie die Spinnenseide oder die Byssusfasern. Fasern die sich textil nutzen lassen sind:

- Wollen und feine Tierhaare
  - Wolle von Schafen (WO) (Schurwolle WV) wird meist durch jährliches Scheren gewonnen und auch als Schurwolle bezeichnet.
  - Alpaka, Lama, Vikunja, Guanako sind die Haare von den gleichnamigen Lamaarten bzw. Schafkamelen. Die Haare sind fein, weich, glänzend und wenig gekräuselt.
  - Angora (WA) (Haare vom Angorakaninchen), Kanin (gewöhnliche Kaninchenhaare) sind sehr fein, glatt und sehr leicht. Da sie Wasserdampf gut aufnehmen, sind Stoffe aus Kanin sehr warmhaltend.
  - Kamelhaar (WK) ist das Flaumhaar der Kamele, die Tiere werfen es jährlich ab. Es ist sehr fein, weich und leicht gekräuselt und beigebraun.
  - Kaschmir (WS) gewinnt man durch Auskämmen und sortieren der Flaum- oder Grannenhaare der Kaschmirziege. Diese Haare sind so fein wie die feinste Merinowolle, und Bekleidung aus Kaschmir ist deshalb fein, weich, leicht und glänzend.
  - Mohair (WM) bezeichnet die Haare der Angora- oder Mohairziege. Sie sind lang, leicht gelockt und glänzend. Ihre Farbe ist weiß und sie filzen kaum.
- Grobe Tierhaare
  - Rinderhaar, vor allem die Haare des Yaks.
  - Rosshaar ist sehr grob und wurde früher als Polster und Füllung von Matratzen verwendet und wird noch heute in Rosshaareinlagen für das Herrenschniederhandwerk eingewebt.
  - Ziegenhaar
- Seiden
  - Maulbeerseide (SE) (Zuchtseide) wird aus dem Kokon des Maulbeerspinners, der Seidenraupe gewonnen.



Schafwolle



Seidenkokons

- Tussahseide (ST) (Wildseide) wird aus dem von Bäumen und Sträuchern gesammelten Kokon des wildlebenden Tussahspinners hergestellt. Da hier der Schmetterling meist ausgeschlüpft ist, sind die Fasern kürzer und nicht abhaspelbar. Eine Zucht des Tussahspinners ist bisher nicht gelungen.
- Muschelseide

## Mineralische Naturfasern

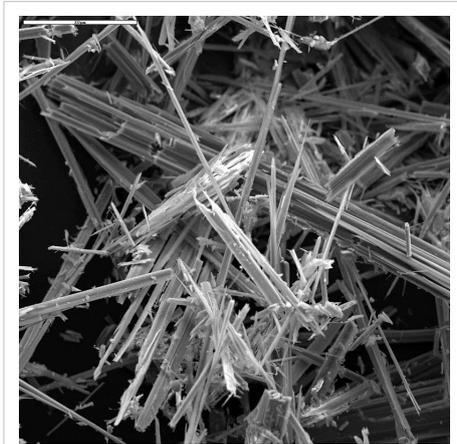
Neben pflanzlichen und tierischen Naturfasern gibt es einige mineralische Fasern, die, da sie natürlich vorkommen, ebenfalls zu den Naturfasern zählen. <sup>[2]</sup>

- Asbest
- Erionit
- Attapulgit
- Sepiolith
- Wollastonit

## Nutzung

Traditionelle Naturfaserprodukte sind Textilien (Bekleidung und Haushaltswäsche) und Taue, Seile, Netze und Tücher für die Schifffahrt. Neuartige Anwendungsgebiete für Naturfasern sind technische Vliese und Gewebe für Naturdämmstoffe, Spezialpapiere oder Naturfaserverstärkte Kunststoffe.

Naturfaserverstärkte Kunststoffe finden insbesondere in der Automobil- und Möbelindustrie Einsatz. Darüber hinaus gibt es innovative Spezialanwendungen wie Haushaltsgeräte, Kosmetikartikel, Schreibgeräte, Koffer, Urnen oder Schleifscheiben.



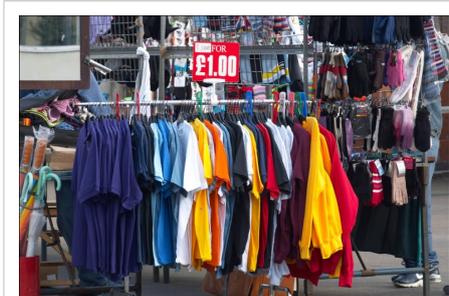
Amphibolasbestfasern (REM-Aufnahme)

## Marktsituation

### Deutschland

Der Markt für Naturfasern ist in Deutschland vor allem durch Importe von Zwischen- und Fertigprodukten geprägt, während die heimische Produktion nur einen verschwindend geringen Anteil ausmacht. Eine textile Produktionskette existiert in Deutschland nur noch sehr bedingt.

Mit Ausnahme des Hanfs, des Flachs und der Fasernessel werden in Deutschland keine Faserpflanzen angebaut. Dabei macht der Hanfanbau mit 800 bis 2.000 ha jährlich und einer Produktion von 1.200 bis 3.000 t pro Jahr den größten Anteil aus. Flachs wird auf etwa 50 ha angebaut, die Produktionsmenge liegt bei etwa 50 t und der Anbau der Fasernessel findet auf 265-300 ha statt und resultiert in 100 bis 200 t Nesselfasern. Hinzu kommt Schaf- und andere Tierwolle. Bei der Gewinnung der Naturfasern werden zudem Schäben gewonnen, die als Rohstoff sowohl in stoffliche wie in energetische Verwendungen einfließen. <sup>[3]</sup>



Bekleidung stellt den Hauptsektor der Naturfaserverwendung dar

Der größte Teil der in Deutschland verfügbaren Naturfasern wird über den Außenhandel zur Verfügung gestellt, die Gesamtmenge der in Deutschland produzierten Pflanzenfasern beträgt maximal 3.000 t. Die größte Menge der importierten Fasern stellt Baumwolle mit einer Gesamtmenge von etwa 200.000 t pro Jahr dar, hinzu kommen Juteimporte in Höhe von 13.000 t und Importe anderer exotischer Pflanzenfasern wie Abacá, Kenaf, Ramie, Kokos und Sisal in Höhe von insgesamt etwa 12.000 t. Etwa 7.000 t Flachs- und etwa 1.000 t Hanffasern werden ebenfalls importiert (netto).<sup>[4]</sup> Die Gesamtmenge sowie eine Menge von etwa 20.000 bis 40.000 t Garnabfällen und Reißbaumwolle, die bei Produktionsprozessen abfällt, wird vollständig für die stoffliche Nutzung verwendet, eine energetische Nutzung findet maximal bei der Entsorgung der Endprodukte statt.

Der größte Teil der Naturfasern wird in der Textilindustrie verarbeitet. Dabei erfolgt der Produktionsweg über Garne und Gewebe zu den fertigen Textilien, wobei es auf allen Ebenen große Warenströme im Außenhandel gibt. Wie auf der Faserebene stellt Baumwolle auch im Bereich der Produkte den größten Anteil der importierten Waren, so werden jährlich etwa 35.000 t Baumwollgarn und insgesamt nur etwa 2.000 t andere Garne importiert.<sup>[4]</sup> Als Gewebe werden etwa 8.000 t Jute importiert, die zu einem sehr großen Anteil in der Produktion von Linoleum als Trägermaterial verwendet werden (Gesamtproduktion etwa 40 Mio. m<sup>2</sup> pro Jahr<sup>[5]</sup>).



Naturdämmstoffblock aus Hanffasern



Türinnenverkleidung aus hanffaserverstärktem Kunststoff (Matrix Polyethylen PE)

Einen ebenfalls großen Markt stellen die so genannten Non-wovens (Nicht-gewebte Textilien) dar, zu denen ungewebte Vliese und Filze gehören. Etwa 64.000 t Naturfasern werden in dieser Form pro Jahr in der Automobilindustrie für Türinnenverkleidungen, Dachhimmel, Sitzpolster und andere Bauteile verwendet. Dabei handelt es sich um 12.200 t Flachsfasern, 5.000 t exotische Fasern und 1.800 t Hanffasern sowie 45.000 t Baumwollfasern (vor allem Reißbaumwolle), die im Innenraum von PKWs und vor allem in den Verbundwerkstoffen der Fahrerkabinen von LKWs eingesetzt werden, Hinzu kommen 27.000 Holzfasern, sodass sich eine Gesamtmenge von 90.000 t ergibt.<sup>[6]</sup> Pro Jahr werden etwa 1 bis 1,3 Mio. m<sup>2</sup> Naturdämmstoffe verwendet, dabei handelt es sich zu etwa 48% um Holzfaser-, 32% Cellulose-, 9% Flachs- und Hanffaser-, 4% Schafwolle und 7% sonstige Dämmstoffe.<sup>[7]</sup> Eine in Deutschland sehr spezielle und erfolgreiche Nischenanwendung stellen Kresseanzuchtsvliese dar, von denen pro Jahr etwa 125 bis 160 t auf Basis von Hanf- und Flachsfasern zu etwa gleichen Anteilen produziert werden.<sup>[3]</sup>

Einen relativ großen Markt stellen Spezialpapiere dar, wobei in Deutschland pro Jahr etwa 35.000 t so genannte "sonstige Faserstoffe" neben Holz- und Zellstoff verwendet werden (VDP 2008) Die Menge der Naturfasern wird nach anderen Quellen mit etwa 20.000 t angegeben. Zu den Spezialpapieren mit Naturfaseranteil gehören vor allem Papiere für Nahrungsmittelapplikationen (Teebeutel, Kaffeepads), Zigarettenpapiere sowie technische Filter. Einen nur sehr geringen Teil der Naturfasernutzung stellt die Herstellung von naturfaserverstärkten Kunststoffen in Spritzguss und Extrusion dar. Hier werden aktuell pro Jahr weniger als 1.000 t verwendet.

## Welt

Folgende Tabelle zeigt die Weltproduktion von Naturfasern nach Angaben der FAO.

### Weltproduktion einzelner Naturfasern (2005)

Faser	Produktion (in Mio. t)
Baumwolle	25,00
Jute	2,90
Wolle	1,20
Kokos	1,00
Flachsfaser	1,00
Juteähnliche Fasern inkl. Kenaf	0,40
Sisalfaser und Henequen	0,38
Ramie	0,28
Seide	0,15
Abacá	0,10
Hanf	0,09
Exotische tierische Fasern	0,03

## Literatur

- Amar K. Mohanty, Manjusri Misra, Lawrence T. Drzal, (Hrsg.): "Natural fibers, biopolymers, and biocomposites", Taylor & Francis Group, Boca Ranton, FL 2005, ISBN 084931741X
- nova-Institut GmbH [Hrsg.]: *BIB 2010 - Branchenführer Innovative Biowerkstoffe 2010*, ISBN 978-3-9812027-2-4 ([8] online).

## Referenzen

- [1] Robert R. Franck (Hg.): *Bast and othe plant fibres*, Woodhead Publishing, Cambridge, England, 2005, ISBN 1-85573-684-5
- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt: *UmweltWissen: Künstliche Mineralfasern*, 2008. pdf ([http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw\\_32\\_kuenstliche\\_mineralfasern.pdf](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_32_kuenstliche_mineralfasern.pdf))
- [3] Michael Carus, Dominik Vogt, Thomas Breuer: *Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU)*. Gülzower Fachgespräche 26, hrsg. von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow 2008 Download ([http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_315gf\\_band\\_26\\_komplet\\_100.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_315gf_band_26_komplet_100.pdf))
- [4] Werte nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Juni 2008
- [5] Karlheinz Müller, B2B Industriemarktforschung GmbH: Offizielle Datenaufnahme für die Linoleumindustrie, abgesichert durch Daten des Statistischen Bundesamtes Deutschland.
- [6] Michael Carus, Jörg Müssig, Christian Gahle: *Naturfaserverstärkte Kunststoffe*. Hrsg. von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow 2008 Download ([http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_227-brosch\\_nfk\\_2008.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_227-brosch_nfk_2008.pdf))
- [7] Dietmar Peters: *Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie*. Hrsg. von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow 2008 Download ([http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_228nr\\_industrie\\_2007.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_228nr_industrie_2007.pdf))
- [8] <http://www.biowerkstoff.info>

# Naturfaser-Spritzguss

Der **Naturfaser-Spritzguss** als eine Art des Thermoplast-Spritzgießens ist ein Verarbeitungsverfahren für naturfaserverstärkte Kunststoffe. Er hat in den letzten Jahren auf Grund von technischen Entwicklungen und intensiven Forschungsarbeiten an wirtschaftlicher Bedeutung gewonnen. Durch seine hohe geometrische Gestaltungsfreiheit im Vergleich zum Fließ- und Formpressen und das daraus resultierende breite Anwendungsspektrum gilt der Spritzguss neben der Extrusion als eines der vielversprechendsten Verarbeitungsverfahren für naturfaserverstärkte Kunststoffe.

## Granulate und Verarbeitungsbedingungen

Die verwendeten Kunststoffe müssen bei für Naturfasern unkritischen Temperaturen verarbeitbar sein. Dies entspricht einem Temperaturbereich von etwa 175-190 °C, abhängig von der verarbeiteten Faserart, wobei auch Temperaturen bis etwas über 200 °C kurzzeitig tolerierbar sind. Höhere Verarbeitungstemperaturen führen zur Faserdegradation und zur Entstehung von unangenehmen Gerüchen. Durch die geringeren Temperaturen sinkt jedoch auch der Energiebedarf und die Zykluszeiten können verkürzt werden, zudem eignen sich die Granulate durch die geringen Temperaturen auch zum Hinterspritzen von dekorativen Bauteilen.

Für industriell hergestellte Spritzgussgranulate werden häufig Polypropylen oder Polyethylen eingesetzt, es kommen aber auch Biopolymere wie zum Beispiel PLA oder auch Lignin zur Anwendung. Das Spektrum der eingesetzten Naturfasern ist breit. Es werden sowohl in Europa heimische Fasern wie Flachs und Hanf als auch subtropische und tropische Fasern wie Sisal, Kenaf oder Bambus verwendet. Eine eigenständige Gruppe innerhalb dieser Werkstoffe sind holzfaserverstärkte thermoplastische Kunststoffe, die sogenannten Wood Plastic Composites (WPC).

Der Faseranteil beträgt in der Regel 20-40 %. Höhere Faseranteile führen in Kombination mit den relativ geringen Temperaturen zur einer Reduktion des Schmelzflusses, was zu einer unvollständigen Füllung des Werkzeugs oder zu einer ungleichmäßigen Faserverteilung führen kann.

Eine weitere Besonderheit im Vergleich zu konventionellen Spritzgussgranulaten, die bei der Verarbeitung von Naturfaser-Spritzgussgranulaten beachtet werden muss, ist der hydrophile Charakter der Fasern. Infolgedessen müssen die Granulate vor der Verarbeitung sorgfältig getrocknet werden. Die Granulate sind auf gängigen Spritzgussmaschinen problemlos verarbeitbar, jedoch muss bei der Dimensionierung der Werkzeuge bedacht werden, dass Naturfaser-Spritzgussgranulate eine geringere Schwindung aufweisen als klassische Granulate. Im Vergleich zu gefüllten oder glasfaserverstärkten Polymeren (GFK) sorgen die Naturfasergranulate für eine deutliche geringere Abrasion in der Schnecke und im Werkzeug.



Handschuhfach aus hanffaserverstärktem Kunststoff in einer Matrix aus Polypropylen (PP), hergestellt im NF-Spritzgussverfahren (Möller Tech).

## Eigenschaften und Anwendungen

Die mechanischen Eigenschaften hängen stark von der verwendeten Faser und deren Qualität ab. WPC-Granulate, bei denen der Holzanteil eher den Zweck eines Füll- denn eines Verstärkungsmaterials einnimmt, weisen deutlich geringere Steifigkeiten und Festigkeiten auf als die anderen Fasergranulate. Diese erreichen teilweise das Niveau von glasfaserverstärkten Kunststoffen und weisen deutlich bessere Eigenschaften auf als unverstärkte oder gefüllte Kunststoffe. Durch den Einfluss der Naturfasern steigt auch die Temperaturbeständigkeit der Werkstoffe. Allerdings weisen Werkstoffe aus Naturfaser-Spritzguss im Vergleich mit konventionellen Werkstoffen eine deutlich geringere Schlagzähigkeit auf.

Ein Problem der Naturfaser-Spritzguss-Granulate ist der mit 1,30-3,30 Euro pro kg (Stand: 2009) vergleichsweise hohe Preis. Jedoch wird davon ausgegangen, dass dieser durch steigende Produktionsmengen im Laufe der nächsten Jahre etwas sinken wird.

Als Anwendung kommen vor allem Bauteile mit komplexen Geometrien in Frage, die in großen Stückzahlen produziert werden, wie zum Beispiele Gehäuse- oder Verschalungsteile für Elektrogeräte oder aber Kleinteile wie CD- und DVD-Trays, Einwegbesteck und Kugelschreiber. Es gibt auch bereits erste Anwendungen im Möbel- und Haushaltssektor. Auch in der Automobilindustrie wurden erste Bauteile aus Naturfaser-Spritzguss zur Anwendung gebracht.

## Literatur

- Kim L. Pickering (Hrsg.): *Properties and performance of natural-fibre composites*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2008, ISBN 978-1-84569-267-4
- Michael Carus, Christian Gahle, Cezar Pendarovski, Dominik Vogt, Sven Ortmann, Franjo Grotenhermen, Thomas Breuer, Christine Schmidt: *Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaserwerkstoffen (Deutschland und EU)* Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), 2008. (pdf <sup>[1]</sup>)
- Tim Huber, Jörg Muessig, Erwin Baur, Frank Otremba: *Verstärkung aus der Natur*, Kunststoffe, 2008, Ausgabe 98 (7), Seiten 97-101
- Charles A. Harper (Hrsg.): *Handbook of Plastic Processes*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2006, ISBN 9780471662556
- nova (Hrsg.): *Produktkatalog Naturfaser-Spritzguss*, Hürth: nova-Institut GmbH, 2007, (ISBN 978-3-9805840-9-8), S. 10 – 13. (pdf <sup>[2]</sup>)

## Referenzen

[1] <http://www.nova-institut.de/news-images/20080425-07/2008-Naturfaserstudie.pdf>

[2] [http://www.nova-institut.de/pdf/Produktkatalog\\_Naturfaser-Spritzguss\\_hoch.pdf](http://www.nova-institut.de/pdf/Produktkatalog_Naturfaser-Spritzguss_hoch.pdf)

# Naturfaserverstärkter Kunststoff

**Naturfaserverstärkter Kunststoff**, kurz **NFK**, ist ein Faser-Kunststoff-Verbund aus einem Kunststoff (z. B. Polyesterharz, Epoxidharz oder Polyamid) und Naturfasern. NFK gehört innerhalb der Biowerkstoffe zu den Biokompositen. Er wird sowohl als langfaserverstärkter als auch als kurzfaserverstärkter Kunststoff eingesetzt. Naturfaserverstärkte Kunststoffe erhalten über die eingearbeiteten Naturfasern eine Stabilität, die ohne sie nicht möglich wäre. Der Hauptanwendungsbereich liegt im Fahrzeugbau, vor allem in der Konstruktion von Verkleidungsbauteilen im Fahrzeuginneren.



Türinnenverkleidung aus hanffaserverstärktem Kunststoff (Matrix Polyethylen PE)

## Geschichte



Trabant 601

Naturfaserverstärkte Kunststoffe wurden erstmals in der Mitte des 20. Jahrhunderts in Form von Naturfaserverbundwerkstoffen in chemischen Bindemitteln wie Phenolharzen eingesetzt. 1941 stellte der Automobilbauer Henry Ford ein Auto mit einer Karosserie aus harzgebundenen Hanffasern, das Hemp Car, vor. Bis in die 1980er Jahre wurden vor allem duroplastische Werkstoffe aus Holz- und Baumwollfasern als Materialien im Automobilbau eingesetzt. Während diese international vor allem für Fahrzeugteile im Innenausbau verwendet wurden, bildeten sie beim Trabant der DDR das Material für die gesamte Karosserie. Auch die Fahrerkabinen von LKW bestehen

international zur Gewichtsersparnis aus Baumwollfaserwerkstoffen in Phenolharzeinbettung.

Heute bestehen viele Bauteile im Innenraum von PKW aus naturfaserverstärkten Kunststoffen, darunter beispielsweise Türinnenverkleidungen, Bauteile des Armaturenbretts, Säulenverkleidungen und andere. Dabei werden heute unterschiedliche Fasern wie Hanf- und Flachs, Abacá und weiterhin Baumwolle und Holz eingesetzt, als Matrix dienen Kunststoffe wie Polypropylen und Polyethylen.

## Eingesetzte Materialien

### Polymere

Prinzipiell wird bei den Polymeren zwischen duroplastischen und thermoplastischen Kunststoffen unterschieden. Beiden ist jedoch gemein, dass ihre Hauptaufgabe darin besteht, auftretende Lasten gleichmäßig auf das Verstärkungselement, die Naturfaser, zu übertragen. Dafür ist eine gute Anbindung zwischen Faser und Matrix Grundvoraussetzung. In Naturfaserverbundwerkstoffen ist es oftmals schwierig diese Anbindung zu gewährleisten,

da die Naturfasern, bedingt durch ihre Hydrophilität, die auf die große Zahl an Hydroxylgruppen der Cellulose zurückzuführen ist, oftmals nur schwache Wechselwirkungen mit den Polymeren zulassen. Eine schlechte Haftung zwischen Polymer und Faser führt aber zu deutlich schlechteren mechanischen Eigenschaften des Verbundwerkstoffes. Auf Grund dessen werden den meisten Polymeren sogenannte Haftvermittler zugesetzt, die starke chemische Bindungen sowohl mit dem Kunststoff als auch mit der Naturfaser ausbilden können.

Duroplasten zeichnen sich durch eine irreversible, starke Vernetzung der einzelnen Moleküle aus. Unter Temperatureinwirkung erweichen sie nicht sondern beginnen sich zu zersetzen, dadurch sind naturfaserverstärkte duroplastische Werkstoffe in der Regel nicht rezyklierbar und können deshalb nur thermisch weiterverwertet werden. Die am häufigsten eingesetzten Polymere sind Phenol- und Epoxidharze.

Thermoplastische Kunststoffe verformen sich unter Temperatureinfluss, wodurch der Prozess des Schmelzens und Verfestigen reversibel wird und die Werkstoffe umformbar und rezyklierbar werden. Die am häufigsten eingesetzten thermoplastischen Kunststoffe sind Polypropylen und Polyethylen, Polystyren, Polycarbonat und Polyamide.

## Naturfasern

Ein Vielzahl von verschiedenen Naturfasern können für die Produktion von Naturfaserverbundwerkstoffen eingesetzt werden. Die Fasern unterscheiden sich teilweise drastisch sowohl in Form und Länge, als auch in chemischer Zusammensetzung und mechanischen Eigenschaften. Dies wiederum hat großen Einfluss auf die Verarbeitungsmöglichkeiten der Fasern und auf die Eigenschaften der Verbundwerkstoffe.

Die am häufigsten für die Produktion von Faserverbundwerkstoffen eingesetzten Fasern sind die heimischen Flachs- und Hanffasern, sowie subtropische und tropische Fasern wie Jute-, Kenaf-, Ramie- oder Sisalfasern. Auch Holzfasern werden als Füll- und Verstärkungsmaterial in Faserverbundwerkstoffen eingesetzt. Zur besseren Abgrenzung zu den anderen Naturfasern und aufgrund ihrer mengenmäßigen Bedeutung werden Verbundwerkstoffe mit Holz als Füll- oder Verstärkungsmaterial als Wood-Plastic-Composites bezeichnet.



Waschbecken aus dem Naturfaserverstärkten Kunststoff Nabasco

## Biopolymere

In den letzten Jahren wurde Forschung im Bereich der Biopolymere stark intensiviert. Durch den Einsatz dieser Kunststoffe lassen sich medizinisch unbedenkliche, biologisch abbaubare Verbundwerkstoffe herstellen, die oftmals vergleichbare Eigenschaften aufweisen wie natur- und glasfaserverstärkte erdölbasierte Polymere.

Mittlerweile sind eine Vielzahl von sowohl duroplastischen als auch thermoplastischen Polymeren verfügbar, die sich als Matrix für Verbundwerkstoffe einsetzen lassen. Einer der am häufigsten eingesetzten Biokunststoffe, ist das aus Maisstärke hergestellte Polylactid (PLA). Diese Polymere liegen preislich allerdings in dem meisten Fällen deutlich oberhalb der erölbasierten Kunststoffe, weshalb deutlich seltener für industrielle Zwecke eingesetzt werden.

## Verarbeitung

Da sich die Naturfasern deutlich von Glas- und Carbonfasern unterscheiden, ist es oftmals nötig die gängigen Herstellungsverfahren für Faserverbundwerkstoffe den Besonderheiten der Naturfasern anzupassen.

Dazu gehören zum Beispiel ihre begrenzte thermische Stabilität, was auch die Auswahl der möglichen thermoplastischen Kunststoffe stark eingrenzt, und ihre starke Hydrophilie. Dennoch ist es heutzutage, durch Anpassungen existierender Herstellungsverfahren und die Entwicklung neuer Prozesse möglich, Naturfaserverbundwerkstoffe mit einer Vielzahl verschiedener Verfahren zu verarbeiten. Eines der wichtigsten Verarbeitungsverfahren für NFK ist das Formpressen, bei dem Fasermatten zur Herstellung der Bauteile verwendet werden und sowohl thermoplastische als auch duroplastische Kunststoffe eingesetzt werden können. Zu den neueren Verarbeitungsverfahren, denen große Wachstumschancen eingeräumt werden, zählen der Naturfaser-Spritzguss und das Extrusionsverfahren. Weitere Verfahren für die Verarbeitung von NFK sind Pultrusion, Resin Transfer Moulding oder auch Sheet Molding Compound.

## Eigenschaften

Naturfaserverbundwerkstoffe besitzen eine Reihe von Eigenschaften die sich als Werkstoff interessant machen.

So verfügen die Naturfasern in der Regel über eine deutlich geringere Dichte als Glasfasern oder mineralische Füllstoffe, was, bei einem entsprechend hohen Faservolumenanteil, zu einer deutlichen Gewichtsersparnis eines Bauteils führen kann. Da die Naturfasern aber auch hohe Steifigkeiten und Festigkeiten aufweisen, ergibt sich so ein großes Substitutionspotential für glasfaserverstärkte und gefüllte Kunststoffe. Ein großes Problem dieser Werkstoffe ist allerdings ihre oft relativ geringe Schlagzähigkeit, welche sich aber durch den Zusatz von Naturfasern mit hoher Dehnfähigkeit verbessern lässt.

Des Weiteren sind die Naturfasern und somit auch die Verbundwerkstoffe aus medizinischer Sicht deutlich unbedenklicher, was zu einer verbesserten Arbeitssicherheit führt. Naturfaserverbundwerkstoffe weisen auch eine deutliche geringere Splitterneigung als glasfaserverstärkte Kunststoffe auf.

Da Naturfasern unabhängig vom stark schwankenden Erdölpreis und relativ preisstabil sind, ergibt sich eine deutlich bessere Planbarkeit was die Herstellungskosten dieser Werkstoffe angeht. Zu dem benötigen die Naturfasern deutlich weniger Energie in der Herstellung als Glas- oder Carbonfasern, was neben niedrigeren Herstellungskosten auch zu einer deutlich verbesserten CO<sub>2</sub>-Bilanz der Werkstoffe führt, welche zudem noch dadurch begünstigt wird, dass Naturfasern fast CO<sub>2</sub>-neutral und rückstandsfrei verbrennen.

Neben dem arbeitsmedizinischen Aspekt ergeben sich noch weitere Vorteile bei der Verarbeitung dieser Werkstoffe. So verursachen die Naturfasern eine deutliche geringere Abrasion im Werkzeug und durch die notwendige Reduktion der Verarbeitungstemperaturen verkürzen sich die Zykluszeiten in der Produktion und der Energieverbrauch ist geringer.

## Anwendung

Haupt Einsatzgebiet sowohl für thermoplastische, als auch für duroplastische Naturfaserverbundwerkstoffe ist die Automobilindustrie.

In den Jahren von 1999 bis 2005 wurde eine Steigerung des Materialeinsatzes von 15.000 t Material auf 30.000 t in der deutschen Automobilindustrie erfasst, was eine durchschnittliche Menge von etwa 3,6 kg NFK pro PKW ergibt <sup>[1]</sup>. Naturfaserverbundwerkstoffe werden von praktisch allen namhaften Automobilherstellern eingesetzt. Typische Einsatzgebiete sind neben der Türinnenverkleidung, auch Dachhimmel, Armaturenbretter oder auch Hutablagen.

Die Menge der eingesetzten naturfaserverstärkten Kunststoffe für nicht-automobile Anwendungen beläuft sich in Deutschland auf etwa 2.000 Tonnen <sup>[1]</sup>. Da die Anwendungen dieser Werkstoffe aber nicht immer aktiv bekannt gemacht wird, ist es schwierig alle Produkte die NFK beinhalten zu erfassen. Zu den bekanntesten Anwendungen

zählen ein Schleifscheibenträger aus Polypropylen und Hanf, Urnen, eine Handyoberschale, diverse Verpackungsmaterialien, Kinderspielzeug, Koffer oder auch Möbel.

## Literatur

- Michael Carus, Jörg Müssig, Christian Gahle: *Naturfaserverstärkte Kunststoffe. Pflanzen - Rohstoffe, Produkte*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow 2008 (PDF-Download <sup>[2]</sup>)
- 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 <sup>[3]</sup>)
- A. K. Bledzki, O. Faruk, V. E. Sperber, "Cars from Bio-Fibres." *Macromolecular Materials and Engineering* Ausgabe 291, 2006, S. 449-457
- Kim L. Pickering (Hrsg.): „Properties and performance of natural-fibre composites“, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2008, ISBN 978-1-84569-267-4
- Amar K. Mohanty, Manjusri Misra, Lawrence T. Drzal, (Hrsg.): “Natural fibers, biopolymers, and biocomposites”, Taylor & Francis Group, Boca Ranton, FL 2005, ISBN 084931741X
- Tim Huber, Jörg Müssig, Erwin Baur, Frank Otremba: “Verstärkung aus der Natur”, *Kunststoffe*, 2008, Ausgabe 98 (7), Seiten 97-101
- nova (Hrsg.): „Produktkatalog Naturfaser-Spritzguss“, Hürth: nova-Institut GmbH, 2007, (ISBN 978-3-9805840-9-8), S. 10 – 13
- K. Van de Velde, P. Kiekens, „Material Properties, Biopolymers: overview of several properties and consequences on their applications“, *Polymer Testing* Ausgabe 21, 2002, S. 433–442
- 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

## Weblinks

- nova-Institut GmbH [Hrsg.): *BIB 2010 - Branchenführer Innovative Biowerkstoffe 2010*, ISBN 978-3-9812027-2-4 ([8] online).

## Referenzen

- [1] Michael Carus, Christian Gahle, Cezar Pendarovski, Dominik Vogt, Sven Ortmann, Franjo Grotenhermen, Thomas Breuer, Christine Schmidt: “Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaserwerkstoffen (Deutschland und EU)” Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), 2008
- [2] [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_227-brosch\\_nfk\\_2008.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_227-brosch_nfk_2008.pdf)
- [3] [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_281marktanalyse-ii-komplett.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_281marktanalyse-ii-komplett.pdf)

# Naturkautschuk

Als **Naturkautschuk** oder **Kautschuk** (indian. *cao* = Baum und *ochu* = Träne; der Baum der weint) bezeichnet man elastische Polymere, die auf Pflanzenprodukten, wie vor allem Milchsafte (Latex) basieren. Er wird vor allem zur Herstellung von Gummi durch Vulkanisierung verwendet.

Die wichtigste Quelle ist mit 90 % Anteil der Kautschukbaum (*Hevea brasiliensis*).<sup>[1]</sup> Daneben werden weitere Naturkautschuk-Typen verwendet, die aber z. T. andere Eigenschaften aufweisen. Dies sind z. B. Balata (Balatabaum), Chicle-Gummi (Breiapfelbaum), Guttapercha (Guttaperchabaum) und Guayule-Kautschuk (Guayule-Pflanze).

60 % des weltweiten Bedarfs wird heute durch petrochemisch hergestellte, Synthetische Kautschuke gedeckt.

## Geschichte

(siehe auch Artikel Kautschukbaum)

### Anfänge in Mittelamerika

Die ältesten bekannten Gegenstände aus Kautschuk stammen aus der Zeit um 1600 v. Chr. Die Völker des mittelamerikanischen Mesoamerikas und die indigenen Völker Amazoniens nutzten Naturkautschuk bereits in präkolumbianischer Zeit in vielfältiger Weise. Am bekanntesten ist das Mesoamerikanische Ballspiel mit einem Vollgummi-Ball. Wegen seiner wasserabweisenden Eigenschaften wurde auch Stoff damit beschichtet. Die Mayas sollen z. B. ihre Füße mit einem begrenzt haltbaren Gummiüberzug versehen haben. Außerdem war der Kautschuk für das tägliche Leben nützlich.

Mit ihm stellte man Schläuche, Gefäße, Fackeln und sogar Kleidungsstücke her. Auch als Opfergabe bei religiösen Volkszusammenkünften, an Opfertagen und an feierlichen Anlässen wurde er genutzt.<sup>[2]</sup>

### Beginn der Nutzung in Europa

Nach der Entdeckung Amerikas durch die Europäer erreichte die Kenntnis vom Kautschuk anfangs nur wenige Menschen in Europa, etwa Kaiser Karl V., dem von Hernán Cortés eine aztekische Ballspielmannschaft vorgeführt wurde. Erst durch Bücher gelangte das Wissen verstärkt an die Öffentlichkeit. So beschrieben Juan de Torquemada 1615 in „De la Monarquia Indiana“, wie die Indianer Gegenstände wasserabweisend machten



Kautschukplantage in Malaysia



Kautschukplantage in Kerala (Indien)

und der Conquistador Bernal Díaz del Castillo beschrieb um ca. 1520 aztekische Ballspieler. Dieser Bericht wurde allerdings erst 1632 in einer Bibliothek in Madrid entdeckt und veröffentlicht.

Charles Marie de La Condamine beobachtete auf einer wissenschaftlichen Expedition für die Pariser Akademie der Wissenschaft von 1735 bis 1745 im Amazonasgebiet, auf welcher Weise Kautschuk verwendet wurde, und beschrieb die indianische Herstellungsweise. Dies löste weitere Berichte und die ersten europäischen Versuche mit dem neuen Werkstoff aus: 1761 wurde ein Lösungsmittel für festen Kautschuk gefunden, um 1770 entstand der Radiergummi, 1791 ein erstes patentiertes Verfahren von Samuel Peal, in Terpentin gelösten Kautschuk auf Gewebe aufzutragen, 1824 der erste Regenmantel oder *Macintosh* und die "Wellington boots". Diese frühen Gummistiefel wurden durch Arthur Wellesley, 1. Herzog von Wellington im England des frühen 19. Jahrhunderts, berühmt. Trotz dieser und weiterer Erfolge war das Material nach wie vor nur schwer zu gebrauchen, da es bei großer Hitze anfang zu kleben und bei Kälte spröde wurde.<sup>[2]</sup>



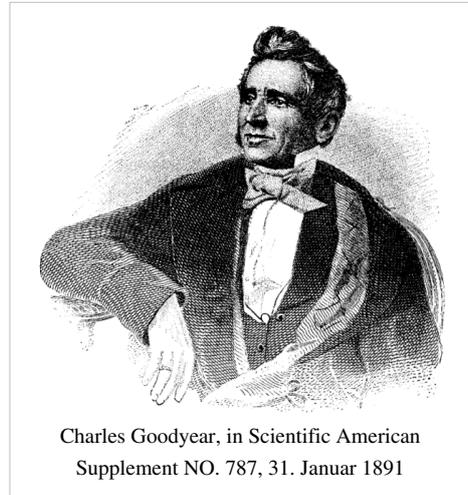
Kautschukgewinnung

## Kautschukboom und Absturz

### Erfindung des Gummi

Die antiken Mesoamerikaner kannten das Verfahren der Vulkanisation nicht. Sie erreichten aber die Umwandlung des plastischen Latex zu einem elastischen, gummiartigen Material durch Zugabe von Baum- und Pflanzensäften.<sup>[3]</sup>

Im Jahre 1839 erfand Charles Goodyear das Verfahrens der Vulkanisation, durch das der plastische Kautschuk in elastisches Gummi umgewandelt werden kann.<sup>[2]</sup> Dies bot viele neue Anwendungsmöglichkeiten, so dass es in der Amazonasregion in den Jahren von 1839 bis 1910 zu einem Kautschukboom kam, der die Städte Manaus und Belém zu den damals reichsten Regionen Brasiliens machte. Damals entstanden das Teatro Amazonas in Manaus, welches am 7. Januar 1897 mit *La Gioconda* von Amilcare Ponchielli eröffnete und die 364 km lange Madeira-Mamoré-Eisenbahn



Charles Goodyear, in Scientific American Supplement NO. 787, 31. Januar 1891

(EFMM). Diese sollte Kautschuk aus nur schwer per Schiff erreichbaren Gebieten des Amazonas bis nach Porto Velho, am Rio Madeira, transportieren. Die Eisenbahnverbindung wurde sogar im Vertrag von Petrópolis, zwischen Bolivien und Brasilien, erwähnt, da dort eine Verlängerung der Strecke von der brasilianischen Grenzstadt Guajará-Mirim am Río Mamoré bis in die bolivianische Stadt Riberalta vereinbart wurde. Diese wurde allerdings nie gebaut, da der Kautschukboom vorher endete.

### **Kautschukbaum-Plantagen**

Nachdem Kautschuk in Form von Gummi zu einem wichtigen Werkstoff geworden war, gab es Versuche, Kautschukbäume in Plantagen zu züchten. In Südamerika gelang dies nicht, da ein Pilz diese Produktweise verhinderte. Die Engländer konnten in ihren Kolonien in Asien aber Plantagen aufbauen (der Pilz verbreitete sich später auch dorthin und wird nun mit Fungiziden bekämpft<sup>[4]</sup>). Bereits 1876 hatte der Engländer Henry Wickham rund 70.000 Kautschuksamen aus Brasilien ins britische Ceylon (heute Sri Lanka) geschmuggelt, aber erst zu Anfang des 20. Jahrhunderts kamen größere Mengen Kautschuk aus Asien auf den Markt.<sup>[2]</sup> Ein weiteres wichtiges Produktionsgebiet war das tropische Afrika. Besonders im Kongo-Freistaat unter der Herrschaft des belgischen Königs Leopold II. wurde die einheimische Bevölkerung mit brutalen Methoden zum Kautschuksammeln gezwungen („Kongogräuel“). Auch in den französischen Kolonialgebieten wie Gabun und der Zentralafrikanischen Republik wurden die Einwohner auf diese Weise ausgebeutet.

Durch die zusätzlichen Plantagen außerhalb Brasiliens konnte der Kautschukbedarf besser gedeckt werden, so dass der Preis fiel, und der Kautschukboom in Amazonien zu einem Ende kam. Zwar führte der große Bedarf während des Ersten Weltkrieges noch einmal zu einem Aufschwung, doch dieser war nicht von Dauer.<sup>[2]</sup> Neben den Brasilianern litten auch die Briten unter dem niedrigeren Preis, weshalb sie 1922 den *Stevenson Plan* erdachten, ein Kautschuk-Kartell, das vornehmlich zu Lasten des größten Verbrauchers, der USA, ging. Zu dieser Zeit entstand der Plan des Besitzers der Ford-Werke, Henry Ford, Kautschuk in Brasilien selbst anzubauen. Im heutigen Fordlândia, in der Gemeinde Aveiro, beschäftigte Ford in den zwanziger Jahren bis zu 5000 Arbeiter, aber wegen verschiedener Schwierigkeiten, beispielsweise starkem Befall durch den in Brasilien vorkommenden Pilz *Microcyclus ulei*, misslang das Projekt.<sup>[5]</sup> 1934 gab es mit dem *International Rubber Regulation Agreement* einen weiteren Versuch, den Preis von Kautschuk zu stabilisieren.

### **Kautschuk-Mangel während der Weltkriege**

#### **Synthetische Kautschuk-Alternativen in Deutschland**

Während des Ersten und Zweiten Weltkriegs verlor Deutschland den Zugang zu seinen Kautschuk-Quellen, wodurch die Suche nach Alternativen gefördert wurde. Im Ersten Weltkrieg wurde von Fritz Hofmann aus Dimethyl-Butadien sogenanntes Methyl-Kautschuk (Synthetischer Kautschuk), ein Gummiersatz, hergestellt. Auch während des Zweiten Weltkriegs wurde Kautschuk knapp. Diesmal nicht nur für die europäischen Achsenmächte, sondern auch für die Alliierten, da die asiatischen Plantagen durch Japan erobert worden waren. In Deutschland produzierte der Chemiekonzern I.G. Farben ab 1935 in den Buna-Werken in Schkopau Styrol-Butadien-Kautschuk unter dem Namen Buna. Als Rohstoff diente beispielsweise in Schkopau Braunkohle und aus dem benachbarten Leunawerk stammte der notwendige Wasserstoff.

#### **Synthetische Kautschuk-Alternativen in den USA**

Ab 1940 lagerte die staatliche US-amerikanische *Rubber Reserve Company* Naturkautschuk ein, da die USA einen Lieferstopp bei einem Angriff Japans in Asien befürchteten. Als dieser dann auch eintrat, begannen die USA ab 1941, 15 staatlich finanzierte Fabriken für Buna-Kautschuk aufzubauen. Die Patente für diesen Styrol-Butadien-Kautschuk lagen bei der Standard Oil of New Jersey, welche sich aufgrund eines Abkommens mit der I.G. Farben weigerte, die Buna-Patente für den amerikanischen Markt freizugeben. Darauf hin bezichtigte eine Untersuchungskommission die Firma einer „fortgesetzten Verschwörung zugunsten Deutschlands“ und Harry S. Truman sprach auf einer Pressekonferenz von „Verrat“. Der amerikanische Kongress beschloss die Freigabe der Buna-Patente für Amerika. Im Jahr 1943 übertraf die US-Produktion von 185.175 t „Government Rubber“ erstmals die deutsche Produktion von 110.569 t und konnte bis zum Kriegsende noch auf über 730.000 t/Jahr gesteigert werden.<sup>[6]</sup>

### Natürliche Kautschuk-Alternativen

Es gab zudem Versuche, andere kautschukliefernde Pflanzen zu nutzen. Während des Russlandfeldzuges erbeutete die dt. Wehrmacht russisches Forschungsmaterial über die Verwendung von Löwenzahn (*Taraxacum kok-saghyz* Rodin) zur Kautschukproduktion.<sup>[7] [8]</sup> Es gab deutsche Pläne, 1944 auf 120.000 Hektar in Osteuropa Löwenzahn anzubauen, da dieser zwischen 6 % und 10 % Kautschuk<sup>[9]</sup> in den Wurzeln enthielt. Dies wurde aber wegen des Kriegsverlaufes unmöglich. In den USA wurde der Zwergstrauch Guayule (*Parthenium argentatum*) während des Zweiten Weltkrieges als Ersatzpflanze untersucht.<sup>[10]</sup> Auch hier ist Kautschuk vornehmlich in den Wurzeln konzentriert, mit einem Anteil von 5 % bis 7 %.

## Gewinnung und Handel

(siehe Artikel Kautschukbaum)

### Gewinnung

Naturkautschuk wird überwiegend aus dem Kautschukbaum gewonnen. Die auch als Latex oder Milchsafte bezeichnete Flüssigkeit wird durch das Anritzen der Baumrinde freigesetzt und in Behältern aufgefangen.<sup>[1]</sup>

Der überwiegende Anteil des Naturkautschuks wird in Plantagen gewonnen.

In Brasilien wird er weiterhin nur aufwändig als Sammlerprodukt (Extraktivismus) gewonnen. Diese ökologisch relativ unbedenkliche, nachhaltige Bewirtschaftung bietet vielen Einheimischen eine selbständigere, auskömmliche Existenz. (siehe auch: Chico Mendes)



Der Latex fließt unmittelbar nach dem Schnitt

### Handelsform

Naturkautschuk kann in flüssiger Form oder fest als Ballen oder Pulver gehandelt werden.<sup>[1]</sup>

Die flüssige Form hat den Vorteil, dass sie später leicht mischbar ist. Der Baumsaft wird vor Ort eingedickt und mit Ammoniak stabilisiert. Wird Naturkautschuk vorvulkanisiert, bleibt es dennoch flüssig.

Um ein festes Material zu erhalten, koaguliert man die Flüssigkeit, d. h. man bringt sie zur Gerinnung. Anschließend wird das feuchte Material auf verschiedene Weisen gewaschen, getrocknet und in Form gebracht.

Eine Handelsvariante ist *Sheet-Kautschuk*. Der Naturkautschuk wird mit einer schwachen Ameisen- oder Essigsäure koaguliert. Anschließend wird das Kautschuk in einem Walzwerk in ein einige Millimeter dickes und etwa einen halben Meter breites glattes Band gewalzt und die letzte Walze prägt ein charakteristisches Muster ein. Traditionelle Handelssorten dieser Variante sind „smoked sheets“ (im Rauch getrocknet) und „air dried sheets“ (rauchfrei getrocknet).<sup>[1]</sup>

Eine weitere Variante ist *Crepe-Kautschuk*. Der Naturkautschuk wird in diesem Fall mit Natriumsulfit koaguliert. Das Kautschuk läuft durch geriffelte Walzen und zuletzt folgen einige glatte Walzen. Traditionelle Handelssorten dieser zweiten Variante sind „pale crepes“ (gewaschen) und „brown crepes“ (ungewaschen).<sup>[1]</sup>

Nach der Trennung in etwa 1 Meter lange „sheets“ oder „crepes“ werden diese getrocknet, nach Qualität sortiert und als Ballen von etwa 100 kg verkauft.

Heute kommt Naturkautschuk, das nach national standardisierten Verfahren hergestellt wurde, am häufigsten vor. Diese Verfahren sind beispielsweise Thai Tested Rubber (TTR), Standard Indonesian Rubber (SIR) oder Standard Malaysian Rubber (SMR).

## Weltproduktion

Die fünf wichtigsten Produzenteländer von Naturkautschuk sind heute Thailand, Indonesien, Malaysia, Indien und die Volksrepublik China. Die größten afrikanischen Produzenten sind die Elfenbeinküste, Nigeria und Liberia. Die Weltproduktion beläuft sich auf jährlich 7,6 Mio. t (Trockengewicht, 2003), wovon 80 % exportiert werden. Hauptabnehmer sind die USA, Japan, China, Deutschland und Frankreich.

### Die größten Produzenten von Naturkautschuk

Rang	Land	Produktion (in Tsd. t)	Rang	Land	Produktion (in Tsd. t)
1	Thailand	3030	10	Brasilien	96
2	Indonesien	1792	11	Sri Lanka	92
3	Malaysia	1000	12	Philippinen	88
4	Indien	694	13	Guatemala	50
5	China	550	14	Kambodscha	46
6	Vietnam	391	15	Kamerun	46
7	Elfenbeinküste	123	16	Myanmar	36
8	Nigeria	112	17	Mexiko	23
9	Liberia	108			



Acht Staaten produzieren über 88 % der weltweiten Erzeugung von Naturkautschuk

Quelle: Handelsblatt - *Die Welt in Zahlen* (2005)

## Chemischer Aufbau

(siehe Artikel Terpene)

Naturkautschuk besteht aus dem Monomer Isopren (2-Methyl-1,3-butadien,  $C_5H_8$ ), das in extrem einheitlicher Struktur zum Terpen cis-1,4-Polyisopren polymerisiert ist. Es wird den Polyterpenen zugeordnet. Dessen Gehalt im Kautschuk macht über 99 % aus. Die mittlere Molare Masse des Polymers ist mit etwa 2 Millionen  $g \cdot mol^{-1}$  außerordentlich hoch.

## Materialeigenschaften

### Physikalische Eigenschaften

Unvulkanisierter Kautschuk ist viskoelastisch. Das heißt, dass er sich nach dem Anlegen einer äußeren Kraft langsam bis auf seine Enddehnung weitet und nach dem Ende der Krafteinwirkung nicht vollständig in seine ursprüngliche Form zurückgeht. Der Grund dafür ist, dass die Polymere nicht untereinander kovalent verknüpft sind.

Nach der Vulkanisation zeigt Kautschuk (bzw. nun Gummi) zwei wichtige Elastizitätsbereiche. Bei tiefen Temperaturen ist er nun elastisch - geht also nach einer Krafteinwirkung vollständig in seine ursprüngliche Form zurück. Bei hohen Temperaturen dagegen ist der Werkstoff nach wie vor viskoelastisch. Wird allerdings die Glasübergangstemperatur unterschritten, wird Kautschuk hart und spröde. Die Elastizität wird durch die kovalente Verknüpfung der Polymere erreicht, die sich nun nicht mehr gegeneinander verschieben können.

Vulkanisierter Naturkautschuk ist zudem besonders zugfest.

## Allergene Eigenschaften

(siehe Hauptartikel *Latexallergie*)

Gegen Naturkautschuk kann es zu einer Allergie kommen, der sogenannten Latex-Allergie. Das eigentliche Allergen ist ein in Spuren darin enthaltenes Protein. Obwohl diese Allergie relativ weit verbreitet ist, ist die genaue Prävalenz (Krankheitshäufigkeit) nicht bekannt. Geschätzt werden Werte zwischen 3 – 20 %. Bekannt ist allerdings, dass Personen, die oft in Kontakt mit Naturkautschuk kommen, eine Risikogruppe darstellen, welche signifikant häufiger unter dieser Allergie leiden. Dies sind z. B. Ärzte, OP-Schwestern, Pfleger, aber auch Kinder, die häufig operiert werden müssen. Eine Alternative ist die Verwendung von synthetischem Kautschuk. Allerdings ist in manchen Kunststoffen Naturlatex ohne Kennzeichnung enthalten, was speziell bei Patienten mit dieser Allergie sehr problematisch sein kann. <sup>[11]</sup>

## Weiterverarbeitung

(siehe auch Artikel *Gummi und Vulkanisation*)

## Verarbeitung

Naturkautschuk (als auch synthetischer Kautschuk) kann vulkanisiert werden.

Der Kautschuk wird, je nach Verwendung, ergänzt durch Füllstoffe wie:

- Ruße, um z. B. die Abriebfestigkeit für Autoreifen zu erhöhen,
- Weichmacher,
- Faktis (vernetzte Mineral- oder Pflanzenöle mit kautschukähnlichen Eigenschaften),
- Vernetzungskemikalien,
- Alterungsschutzmittel,
- Flammenschutzmittel,
- Pigmente oder Farbstoffe,
- etc.

Naturkautschuk kann als alleiniges Polymer oder in Mischungen mit Synthetikautschuken verwendet werden. Nachteilig ist, dass sich Naturkautschuk bei Kontakt mit Sonnenlicht bzw. mit UV-Licht oder mit Fetten auflösen kann.

## Produkte

Naturkautschuk kann zu unterschiedlichsten Produkten verarbeitet werden:<sup>[1]</sup>

- 65 % bis 70 % des Kautschuks geht in die Produktion von Autoreifen.
- Ein wichtiges Anwendungsgebiete sind Bindemittel für die Papierstreicherei, die Teppichrückenbeschichtung sowie getauchte Artikel, wie z. B. dünne Handschuhe.
- In aufgeschäumter Form wird Kautschuk für Matratzen und Schwämme verwendet.
- Kautschuk kann zu Porengummi, auch als Moosgummi bezeichnet, weiterverarbeitet werden, bei dem der elastische Schaumstoff Porenstrukturen von *völlig geschlossen* bis *völlig geöffnet* haben kann. Auf diese Art können nicht nur Material und damit Kosten eingespart werden, sondern zusätzlich auch gewisse mechanische Eigenschaften des Profils, wie z. B. die Härte, verändert werden.
- Eine weitere wichtige Anwendung sind Dichtungsprofile aus Kautschuk. Aufgrund der günstigen Witterungseigenschaften wird hierfür hauptsächlich Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) verwendet. Die Dichtungssysteme werden durch Extrusion hergestellt und oft in angeschlossenen Veredelungsverfahren beflockt,



Latexfabrik auf Basilan (Philippinen)

kaschiert und/oder lackiert.

- Kleidungsstücke und andere Artikel aus Kautschuk (Latexkleidung), bzw. Gummi reizen die Haut und andere Sinne (Geruch, Optik) auf eine besondere Art (Wärme - Kälte, Feuchtigkeit, Betonung der Körperformen), und dienen somit dem Gummifetischismus.
- Weitere Verwendungen sind die Herstellung von dünnen Filmen für Kondome, Handschuhe oder Luftballons (*getauchte Ware*) und in dickeren Filmen für die Herstellung von Abgussformen, LKW- und PKW-Reifen, Motorlagern, sowie diversen Gummi/Metall-Verbindungen.

## Literatur

Georg Abts: *Einführung in die Kautschuktechnologie*. Hanser-Verlag, 2007, ISBN 3-446-40940-8

## Siehe auch

- Vulkameter

## Weblinks

- Die Seite für Latex(Kautschuk)-Allergiker <sup>[12]</sup>
- ZDF-Video: Die Arbeit der Tapper auf Sumatras Kautschukplantagen <sup>[13]</sup>
- Swissheduc: Bilder zum Rohstoff Kautschuk <sup>[14]</sup>
- www.bouncing-balls.com <sup>[15]</sup>
- *Fachinformationen der Deutschen Transportversicherer zu Naturkautschuk* <sup>[16]</sup>
- *Fachinformationen der Deutschen Transportversicherer zu Synthetikautschuk* <sup>[17]</sup>
- über Kautschuk-Isolierung und zu Isopren <sup>[18]</sup>
- United States Synthetic Rubber Program, 1939 – 1945 <sup>[19]</sup>
- *Internetpräsenz der International Rubber Study Group (IRSG)* <sup>[20]</sup>, Einrichtung der globalen Gummiindustrie zur Bereitstellung von statistischen Daten im Bereich Gummi, nur teilweise frei zugänglich
- Hans-Dieter Feger: *Geschichte und wirtschaftliche Entwicklung des Kautschuks* <sup>[21]</sup>, Zusammenfassung einer Diplomprüfungsarbeit inklusive verschiedener Abbildungen, Innsbruck, März 1973, zuletzt aktualisiert am 9. September 2003

## Referenzen

- [1] Transport-Informationen-Service (TIS): *Naturkautschuk* (<http://www.tis-gdv.de/tis/ware/kautschuk/naturkautschuk/naturkautschuk.htm#informationen>), Fachinformationen der deutschen Transportversicherer, abgerufen am 25. Februar 2010
- [2] Hans-Dieter Feger: *Geschichte und wirtschaftliche Entwicklung des Kautschuks* ([http://www.swissballon.ch/bm\\_deutsch/haupt/bm\\_spe5d.htm](http://www.swissballon.ch/bm_deutsch/haupt/bm_spe5d.htm)), Zusammenfassung einer Diplomprüfungsarbeit inklusive verschiedener Abbildungen, Innsbruck, März 1973, zuletzt aktualisiert am 9. September 2003, abgerufen am 25. Februar 2010
- [3] Prehistoric Polymers: Rubber Processing in Ancient Mesoamerica - Hosler et al. 284 (5422): 1988 - Science (<http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/284/5422/1988>)
- [4] scinexx.de: Autoreifen aus Löwenzahn - Neue Quelle für großangelegte Kautschukproduktion (<http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-10441-2009-09-02.html>)
- [5] "Ford's Obsession to Rubber. An Empirical Study of Irrational Decision ([http://www2.uibk.ac.at/fakultaeten/volkswirtschaft\\_und\\_statistik/forschung/wsg/docs/wp-0501.pdf](http://www2.uibk.ac.at/fakultaeten/volkswirtschaft_und_statistik/forschung/wsg/docs/wp-0501.pdf))
- [6] Jochen Streb, *Die Entwicklung der Synthetikautschukindustrie in Deutschland und den USA vor und während des Zweiten Weltkriegs* (<http://www.uni-tuebingen.de/uni/wwl/streb-ht.doc>)
- [7] Löwenzahnanbau zur Produktion von Kautschuk (<http://www.onlinereports.ch/2004/AgrarforschungAuschwitz.htm>)
- [8] Susanne Donner: Von der Kriegsforschung zur neuen Biotechnologie (<http://www.faz.net/s/Rub80665A3C1FA14FB9967DBF46652868E9/Doc~EE8207F470BFE419EA1DFB4B68347AFF8~ATpl~Ecommon~Scontent.html>), Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, 4. Mai 2008, S.67
- [9] Nutzpflanzendatenbank Löwenzahn (<http://cgi-host.uni-marburg.de/~omspezbo/nutzpflanzen/details.cgi?id=539&lemma=loewenzahn>)
- [10] Nutzpflanzendatenbank Guayule (<http://cgi-host.uni-marburg.de/~omspezbo/nutzpflanzen/details.cgi?id=358&lemma=guayule>)

- [11] Latex-Allergie-Informations-Vereinigung (<http://www.laiv.de/>)
- [12] <http://www.laiv.de>
- [13] [http://www.zdf.de/ZDFmt/mediathek/ZDFmt\\_video\\_cont/0,3498,MT-2203485--MD-1000051-hi--19,00.html](http://www.zdf.de/ZDFmt/mediathek/ZDFmt_video_cont/0,3498,MT-2203485--MD-1000051-hi--19,00.html)
- [14] [http://www.swisseduc.ch/geographie/materialien/rohstoffe\\_welt/kautschuk/index.html](http://www.swisseduc.ch/geographie/materialien/rohstoffe_welt/kautschuk/index.html)
- [15] <http://www.bouncing-balls.com>
- [16] <http://www.tis-gdv.de/tis/ware/kautschuk/naturkautschuk/naturkautschuk.htm>
- [17] <http://www.tis-gdv.de/tis/ware/kautschuk/synthesekautschuk/synthesekautschuk.htm>
- [18] <http://www.kautschuk-isolierung.de>"Information
- [19] <http://acswebcontent.acs.org/landmarks/landmarks/rbb/index.html>
- [20] <http://www.rubberstudy.com>
- [21] [http://www.swissballon.ch/bm\\_deutsch/haupt/bm\\_spe5d.htm](http://www.swissballon.ch/bm_deutsch/haupt/bm_spe5d.htm)

## Naturkosmetik

---

Als **Naturkosmetik** werden Kosmetika bezeichnet, die zumindest dem Anspruch nach schonender für Mensch und Umwelt und aus „natürlicheren“ Rohstoffen hergestellt sind als herkömmliche Kosmetika. Auch wenn eine einheitliche und internationale Definition nicht existiert, sind bei Naturkosmetik bestimmte Inhaltsstoffe wie 1,2-Propandiol, Polyethylenglykol (ethoxilierte Rohstoffe), Silikone, Parabene, synthetische Duftstoffe, Paraffine und andere Erdölprodukte ausgeschlossen.

### Definition und Bemühungen um einheitliche Standards

Der Begriff Naturkosmetik ist bisher nicht eindeutig rechtlich definiert und geschützt. Im Jahr 1992/93 schlug das Bundesgesundheitsministerium eine Definition vor. Unter anderem enthielt diese eine Beschränkung der zugelassen Konservierungsstoffe sowie die Forderung, dass die verwendeten Rohstoffe „pflanzlichen, tierischen oder mineralischen Ursprungs“ sein sollten<sup>[1]</sup>. In Österreich bildet das Österreichische Lebensmittelbuch die Definitionsgrundlage für Naturkosmetik<sup>[2]</sup>.

Im Jahr 2000 legte auch der Europarat eine Definition vor. Die pflanzliche, tierische oder mineralische Rohstoffherkunft, die Vermeidung gesundheitsgefährdender Verunreinigungen und die Beschränkung der Verarbeitung auf physikalische, mikrobiologische und enzymatische Methoden bilden die Basis dieser Definition.<sup>[3]</sup>

### Inhaltsstoffe

die Inhaltsstoffe in Naturkosmetik sind meist pflanzlicher, teilweise auch mineralischer oder tierischer Herkunft. Die mengenmäßig wichtigsten Inhaltsstoffen sind Öle, Fette und Wachse wie Olivenöl, Sojaöl, Sheabutter oder Bienenwachs. Als Rohstoff für waschaktive Substanzen spielt zudem Zucker als Rohstoff eine wesentliche Rolle, fermentativ gewonnenes Ethanol kommt z.B. für Deodorants oder Parfums zum Einsatz. Daneben kommen verschiedenste Ätherische Öle, Kräuterextrakte und Blütenwässer sowie natürliche Aromen zum Einsatz. Die Verwendung von Emulgatoren und Konservierungsstoffen bei Naturkosmetik ist in der Regel eingeschränkt auf natürliche oder naturnahe Substanzen. Häufig stammen die Rohstoffe für Naturkosmetika aus kontrolliert biologischem Anbau oder Wildsammlung.

### Zertifizierung

Zur Kennzeichnung von Naturkosmetikprodukten wurden mehrere Systeme entwickelt, die verschiedene Voraussetzungen zugrunde legen. Die gängigen Zertifizierungen setzen voraus, dass pflanzliche Rohstoffe mindestens teilweise auf ökologischem Anbau stammen. Zu diesen zählen das Siegel "kontrollierte Natur-Kosmetik" des BDIH, das "ECOCERT"-Label und das "NaTrue"-Label. Ein neues Gütesiegel aus Österreich wird demnächst zur Verfügung stehen.

## **BDIH - Kontrollierte Natur-Kosmetik**

Seit Januar 2001 hat der seit 1951 gegründete Bundesverband Deutscher Industrie- und Handelsunternehmen für Arzneimittel, Reformwaren, Nahrungsergänzungsmittel und Körperpflegemittel (BDIH) mit Sitz in Mannheim ein Label entwickelt, das einheitliche Standards sowie eine Überprüfung der Naturkosmetik ermöglichen soll. Rund 5.000 Produkte wurden bisher damit gekennzeichnet. Die Rohstoffe müssen hierfür aus überwiegend aus kontrolliert biologischem Anbau kommen. 15 pflanzliche Rohstoffe (z.B. Jojobaöl, Olivenöl oder Sojaöl) müssen stets von zertifiziert ökologisch angebauten Pflanzen stammen.<sup>[4]</sup>

## **ECOCERT**

Die 1992 in Frankreich gegründete Organisation ECOCERT (seit 1995 auch in Deutschland) bietet zwei Siegel an. Für das Siegel "Ökologische Naturkosmetik" müssen mindestens 95 Prozent aller Inhaltsstoffe eines Produkts natürlichen Ursprung sein und 95 Prozent pflanzliche Bio-Rohstoffe. Das Siegel "Naturkosmetik" sieht vor, dass mindestens 95 Prozent der Inhaltsstoffe Naturstoffe sind und mindestens 50 Prozent aus ökologischem Anbau stammen.<sup>[5]</sup>

## **NaTrue**

Das seit Herbst 2008 bestehende NaTrue-Label der NaTrue - European Natural and Organic Cosmetics Interest Grouping E.E.I.G. aus Brüssel bietet drei Qualitätsstufen an, die in etwa den Kriterien des BDIH entsprechen. In der Drei-Sterne-Kategorie muss der Bio-Anteil der Naturstoffe eines Produktes 95 Prozent und in der Zwei-Sterne-Kategorie mindestens 70 Prozent betragen.<sup>[6]</sup>

## **Austria Natur Kosmetik**

Demnächst wird auch ein österreichisches Gütezeichen für geprüfte Naturkosmetik, gefördert vom Land Steiermark, zur Zertifizierung verfügbar sein.<sup>[7]</sup>

## **Weblinks**

- Eco-World.de<sup>[8]</sup> – Artikel "Bio-Rohstoffe für gesunde Haut"
- Ecco Verde<sup>[9]</sup> – Die wichtigsten Naturkosmetik-Zertifikate auf einen Blick

## **Referenzen**

- [1] Empfehlung des Industrieverbands Körperpflege- und Waschmittel e.V. (IKW), 2001: Naturkosmetik. ( pdf (<http://www.ikw.org/pdf/broschueren/06.pdf>))
- [2] Bundesministerium für Gesundheit, 2009: Österreichisches Lebensmittelbuch, IV. Auflage, Codexkapitel B 33 Kosmetische Mittel. ( pdf ([http://www.bmgfj.gv.at/cms/site/attachments/4/9/6/CH0832/CMS1167207128242/b\\_33\\_kosmetische\\_mittel.pdf](http://www.bmgfj.gv.at/cms/site/attachments/4/9/6/CH0832/CMS1167207128242/b_33_kosmetische_mittel.pdf)))
- [3] Natural Cosmetic Products. Approved by the Committee of Experts on Cosmetic Products, September 2000 ( pdf ([http://www.coe.int/T/E/Social\\_Cohesion/soc-sp/natcosE.pdf](http://www.coe.int/T/E/Social_Cohesion/soc-sp/natcosE.pdf)))
- [4] Richtlinie zum Label "Kontrollierte Naturkosmetik" des BDIH (<http://www.kontrollierte-naturkosmetik.de/richtlinie.htm>)
- [5] Homepage des Ecocert Labels (<http://www.ecocert.com>)
- [6] Homepage des NaTrue Labels, abgerufen am 5.4.2010 (<http://www.natrue-label.de>)
- [7] Website des Austria Natur Kosmetik Gütesiegels (<http://www.austrianaturkosmetik.at>)
- [8] [http://www.eco-world.de/scripts/basics/econews/basics.prg?a\\_no=12217](http://www.eco-world.de/scripts/basics/econews/basics.prg?a_no=12217)
- [9] <http://www.ecco-verde.de/info/kontrollierte-naturkosmetik>

# Nawaro-Bonus

Als **Nawaro-Bonus** („Bonus für Strom aus nachwachsenden Rohstoffen“) wird eine Zusatzvergütung für Strom, der aus nachwachsenden Rohstoffen produziert wird, bezeichnet. Geregelt wird dieses im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Vor allem für Biogasanlagen und Biomasseheizkraftwerke ist dieser Bonus relevant und für einen wirtschaftlichen Betrieb wichtig.



Mais kann energetisch genutzt werden

## Definition des Begriffs Nawaro im EEG 2009

Der Begriff „Nachwachsender Rohstoff“ wird in Anlage 2, II des EEG 2009 erläutert und durch eine Positiv- und Negativliste genauer eingegrenzt. Es gilt, daß Biomasse, die ausschließlich zur Energiegewinnung verwendet wird, unter diese Definition fällt. Dieses sind landwirtschaftliche, forstwirtschaftliche und gartenbauliche Produkte. Darüber hinaus können auch Material aus der Landschaftspflege sowie Gülle unter diesen Begriff fallen.

## Höhe der Bonusvergütung

In § 27 des EEG 2009 wird eine Basisvergütung für Strom aus Biomasse festgelegt. Durch den Nawaro-Bonus kann diese Vergütung aufgestockt werden. Neben dem allgemeinen Bonus gibt es einen leicht erhöhten Satz für Strom aus kleineren Biogasanlagen. Bei mindestens 30 % Gülleinsatz (Massenanteil am Substrat) kann der sogenannte Güllebonus aufgeschlagen werden. Bei überwiegendem Einsatz von Landschaftspflegematerial ergibt sich ein weiterer Bonus. Voraussetzung für die Boni und Aufschläge sind Auflagen, die im einzelnen im EEG erläutert werden. Die in der Tabelle aufgeführten Werte gelten für eine Anlage, die im Jahre 2009 in Betrieb genommen wurde und sind für 20 Jahre festgelegt. Für im Folgejahr in Betrieb genommene Anlagen unterliegt der Nawaro-Bonus, wie auch die Basisvergütung, einer jährlichen Degression von 1 % (§ 20 EEG 2009). Der Nawaro-Bonus kann auch mit anderen Zusatzvergütungen kombiniert werden. So ist unter Umständen ein gleichzeitiger Bezug des Technologie-Bonus, Formaldehydbonus und / oder des KWK-Bonus möglich. Der Güllebonus wird häufig als eigenständiger Bonus genannt, setzt jedoch einen Anspruch auf den Nawaro-Bonus voraus und ist daher mit diesem in Anlage 2 des EEG 2009 geregelt.

## Vergütungsaufschläge auf eingespeisten Strom durch den Nawaro-Bonus (Cent/kWh, nach EEG 2009)

	0 bis 150 kW	151 bis 500 kW	501 bis 5000 kW	über 5000 kW
Allgemeiner Nawaro-Bonus	6	6	4	0
Aufschlag Landschaftspflegematerial	+ 2	+ 2	0	0
Nawaro-Bonus für Strom aus Biogas	7	7	4	0
Aufschlag Güllebonus für Nawaro-Strom aus Biogas	+ 4	+ 1	0	0
Nawaro-Bonus Holzverstromung	2,5	2,5	2,5	0

## **Einführung, Anpassung und Auswirkungen des Nawaro-Bonus**

Im Rahmen der Novellierung des EEG wurde zu 2004 erstmals ein Nawaro-Bonus eingeführt. Bis dahin konnten Biogasanlagen meist nur mit Gülle und/ oder kostengünstigen organischen Abfällen oder Nebenprodukten wirtschaftlich betrieben werden. Durch die Einführung des Bonus sollte der Ausbau der Stromerzeugung aus Biogas erreicht werden. Bis 2007 verdoppelte sich die Zahl der Biogasanlagen. Durch ein Preishoch bei Agrarprodukten in 2007 stagnierte der Ausbau. Unter anderem deswegen wurde eine Erhöhung des Nawaro-Bonus gefordert. Dieses wurde bei der seit 2009 gültigen Novelle des EEG umgesetzt. Die Vergütung für den Leistungsanteil bis 500 kW wurde um einen Cent auf 7 Cent/ kWh erhöht. Zudem wurde, neben anderen Änderungen, der Güllebonus und der Formaldehydbonus eingeführt. Insbesondere Kleinanlagen erfahren damit eine Förderung. Neu ist auch der Landschaftspflegebonus, der zusammen mit dem Nawaro-Bonus Aufschläge von 8 Cent/ kWh ergibt. Die Vergütung für Strom aus Holz wurde nicht verändert. Eine wichtige Änderung im EEG 2009 war auch die Aufhebung des Ausschließlichkeitsprinzips, das bis dahin nur die ausschließliche Nutzung von Nawaros in einer Biogasanlage zugelassen hatte. Eine Kombination mit anderen Substraten wurde dadurch sowohl für neu errichtete Anlagen, aber auch für Altanlagen möglich. Kritisiert wird, daß durch die Bioenergie eine Flächenkonkurrenz, z. B. zur Nahrungsmittelerzeugung, entsteht. Insbesondere der Nawaro-Bonus bewirkt, daß der Anbau von Energiepflanzen, wie vor allem Energiemais, stark zunimmt.

## **Weblinks**

- Volltext des EEG 2009 bei juris <sup>[1]</sup>
- Volltext des EEG 2004 im Bundesanzeiger <sup>[2]</sup>

## **Referenzen**

[1] [http://bundesrecht.juris.de/eeg\\_2009/index.html](http://bundesrecht.juris.de/eeg_2009/index.html)

[2] <http://217.160.60.235/BGBl/bgb11f/bgb1104s1918.pdf>

# Nichtholzprodukt

**Nichtholzprodukte** sind alle Produkte des Waldes mit Ausnahme von (Baum-)Holz, also Pilze, Tiere und Pflanzen. Sie werden vor allem als Nahrung, Futtermittel, Heilpflanzen oder nachwachsende Rohstoffe wie Konstruktionsmaterialien genutzt.

## Bedeutung in Mitteleuropa

Unter den Produktionsbedingungen des schlagweisen Hochwaldes in Mitteleuropa ist die wirtschaftliche Bedeutung dieser Produkte sehr gering. Oft werden diese Produkte von Forstbetrieben nicht verkauft, da sich der Aufwand nicht rentiert oder weil die unentgeltliche Nutzung für den privaten Verbrauch durch jedermann gesetzlich festgelegt ist. Andererseits stellen diese Produkte ein ungenutztes ökonomisches Potenzial dar, deren gezielte Produktion und Vermarktung den Erzeugern wichtige Einkommensmöglichkeiten und Beschäftigung bieten kann.<sup>[1]</sup> Ein Großteil der Nichtholzprodukte wird von Privathaushalten geerntet und verbraucht, ohne auf Märkten gehandelt zu werden, und erfüllt so wichtige Funktionen der Bedürfnisbefriedigung auf lokaler Ebene.<sup>[2]</sup>

## Bedeutung weltweit

Dahingegen sind etwa 150 Nichtholzprodukte für den internationalen Markt von Interesse, darunter Rattan, Bambus, Kork, Gummi, Nüsse, Honig, Fleisch, Früchte, Pilze, Harze, Gewürze, Öle, medizinische Pflanzen wie der Ginseng und solche, die als Basis für Farbstoffe dienen. Auch Pflanzenfasern wie die der Kokosnuss werden industriell verwertet. Der Handelswert beträgt rund 11,1 Milliarden US-Dollar jährlich. 60 % werden von Entwicklungsländern in die EU, die USA und nach Japan exportiert. China ist führend im Welthandel, aber Indien, Malaysia, Indonesien, Thailand und Brasilien sind ebenso wichtige Erzeugerländer auf dem Weltmarkt.<sup>[3]</sup>

Ein besonders auf die Produktion von Nichtholzprodukten ausgerichtetes Waldbausystem ist die Agroforstwirtschaft der Tropen, welche unter bestimmten Umständen als Instrument zur konkurrenzfähigen nachhaltigen Bewirtschaftung von Wäldern geeignet ist.



Bambus ist eines der wichtigen Nichtholzprodukte der Erde



Heidelbeeren

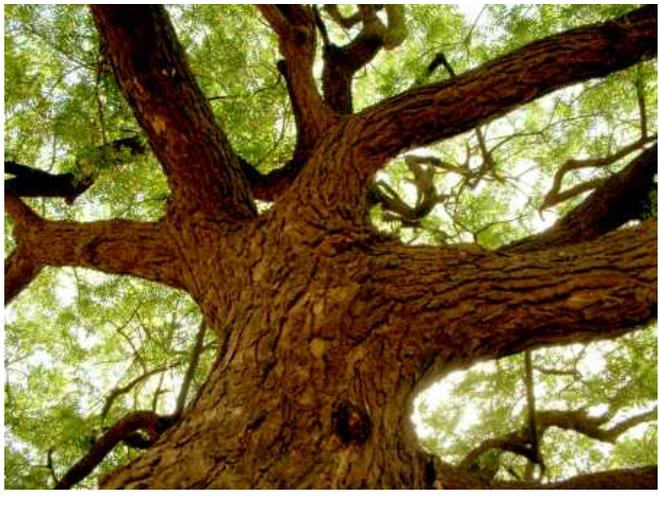
## Weblinks

- Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO): "State of the world's forests". 2001. Online verfügbar <sup>[4]</sup>
- FAO-Programm "Promotion and Development of Non-wood Forest Products (NWFP)" <sup>[5]</sup> (u.a. monatliche Online-Zeitschrift zu Nichtholzprodukten)

## Referenzen

- [1] Köhl, M.: "Nichtholzprodukte und forstliche Dienstleistungen im internationalen Kontext". Forst und Holz, Nr. 62 (2007), S.10-14. ISSN 0932-9315.
- [2] Schulte zu Sodingen, Beate: "Der völkerrechtliche Schutz der Wälder". Springer, Berlin; 2002. S. 41. ISBN 3540430563
- [3] FAO: "State of the world's forests". Online verfügbar ([http://www.fao.org/docrep/W4345E/w4345e05.htm#forests in the economy](http://www.fao.org/docrep/W4345E/w4345e05.htm#forests%20in%20the%20economy))
- [4] <http://www.fao.org/docrep/W4345E/w4345e05.htm#forests%20in%20the%20economy>
- [5] <http://www.fao.org/forestry/site/nwfp/en/>
-

# Niembaum

Niembaum

Niembaum ( <i>Azadirachta indica</i> )
Systematik
<p>Rosiden</p> <p>Eurosiden II</p> <p><i>Ordnung:</i> Seifenbaumartige (Sapindales)</p> <p><i>Familie:</i> Mahagonigewächse (Meliaceae)</p> <p><i>Gattung:</i> <i>Azadirachta</i></p> <p><i>Art:</i> Niembaum</p>
Wissenschaftlicher Name der Gattung
<i>Azadirachta</i>
A. Juss.
Wissenschaftlicher Name der Art
<i>Azadirachta indica</i>
A. Juss.

Der **Niembaum** (*Azadirachta indica*, Syn.: *Melia azadirachta* L., *Antelaea azadirachta* (L.) Adelb.), auch Niem, Neem, Margosa, (Nimtree, Indian-lilac (engl.), margosier (fr.) genannt, ist eine der zwei Arten der Gattung *Azadirachta*.<sup>[1]</sup> Die andere Art heißt *Azadirachta excelsa*.<sup>[1]</sup> Die wirkstoffreichen Pflanzenteile finden Verwendung in Medizin und Landwirtschaft.

## Beschreibung

Der Niem ist ein schnellwachsender, (meist) immergrüner Baum, der durchschnittlich Wuchshöhen von 15 bis 20 Metern – unter günstigen Bedingungen bis zu 40 Meter – erreicht. Er kann bis zu 200 Jahre alt werden. Unter ungünstigen Bedingungen verliert der Baum seine Blätter, um sich vor Austrocknung zu schützen. Die Äste sind weitverzweigt, die Baumkrone ist rund bis oval mit dichtem Blattwuchs. Bei freistehenden Bäumen kann der Durchmesser der Krone durchaus seiner Höhe entsprechen. Der Stamm ist im Allgemeinen relativ kurz und selten höher als dreieinhalb Meter. An der ersten Verzweigung ist die Rinde hart und zwischen weißlichgrau bis rötlichbraun gefärbt. Die äußeren Holzschichten sind hell, die inneren rötlich. Wenn die inneren Holzschichten mit Luft in Berührung kommen, färben sie sich rötlichbraun. Das Wurzelsystem besteht aus einer starken Hauptwurzel, die doppelt so tief in das Erdreich reichen kann wie der Baum hoch ist, sowie einem verzweigten Wurzelsystem.

Die unpaarigen gefiederten Laubblätter sind insgesamt 20 bis 40 cm lang und bestehen aus 31 mittel- bis dunkelgrünen Teilblättern, die jeweils 3 bis 8 cm lang sind. Der Blattstiel ist relativ kurz, junge Blätter haben oft eine rötliche bis purpurne Färbung.

Der Niembaum ist einhäusig, jeder Baum entwickelt also sowohl männliche als auch weibliche Blüten. 150 bis 250 Blüten befinden sich an einer, bis zu 25 cm langen, Rispe, die bis zu drei mal verästelt ist. Die weißen und wohlriechenden Blüten sind 5 bis 6 mm lang und haben einen Durchmesser von 8 bis 11 mm.

## Früchte

Bereits nach vier Jahren trägt ein Niembaum erstmals Früchte. Nach zehn Jahren liefert er 40 bis 50 kg Früchte und erreicht damit seinen vollen Fruchtertrag.<sup>[2]</sup>

Die unbehaarte Frucht ist eine olivenähnliche Steinfrucht, die oval bis kugelförmig sein kann. Wenn sie reif ist, ist sie 1,4 bis 2,8 cm lang und 1 bis 1,5 cm im Durchmesser. Die Fruchthaut ist dünn, das Fruchtfleisch gelblichweiß und bitter-süß im Geschmack. Die Frucht enthält einen, in seltenen Fällen auch mehrere Samen. Werden die Früchte von Tieren gefressen, scheiden sie die unverdaulichen Kerne meist wieder aus. Die Samen überstehen den Verdauungstrakt der Tiere problemlos und keimen nach dem Ausscheiden.



Junger Niembaum



Niembaum mit Blüte



Niemfrüchte

## Inhaltsstoffe

Obwohl der Baum seit Jahrzehnten untersucht wird, sind viele seiner Wirkstoffe noch nicht vollständig erforscht. Niem enthält über 100 verschiedene chemische Inhaltsstoffe, die sich zudem im Stamm, der Rinde den Blättern und Früchten unterschiedlich zusammensetzen. Von vielen dieser sehr komplexen Inhaltsstoffe sind nur ungefähre Näherungswerte der Strukturformeln bekannt.

Ein besonders wichtiger Inhaltsstoff ist Azadirachtin. Dieser Bestandteil wird aus dem Niemöl gewonnen, welches man aus den Samen presst. Azadirachtin wurde erstmals 1968 aus dem Baum isoliert. 1985 wurde die Struktur des Moleküls von W. Kraus *et al.* an der Universität Hohenheim endgültig aufgeklärt und publiziert.<sup>[3]</sup> Die synthetische Herstellung von Azadirachtin gelang nach über 20 Jahren Forschung erstmals 2007 durch ein britisches Team um Steven Ley, Professor für Organische Chemie an der Universität Cambridge.<sup>[4]</sup> Weitere wichtige Inhaltsstoffe sind Salannin, Meliantriol, Nimbin und Nimbidin.

## Verbreitung und Standortbedingungen

Ursprünglich stammt der Niem aus Indien, Pakistan und Burma. Der Niem ist auf tropisches und subtropisches Klima angewiesen. Durch den Menschen wurde der Baum auch auf dem asiatischen, dem afrikanischen, dem amerikanischen und dem australischen Kontinent sowie auf den Inseln im Pazifik heimisch. Den Niem trifft man hauptsächlich in den flachen und ariden Gegenden der Tropen und Subtropen an. Im Gebirge ist er selten.

Der Niem ist bekannt für seine Unempfindlichkeit gegenüber Trockenheit. Er kann in Gegenden mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 400 bis 1200 mm gut überleben und kommt auch in Gegenden mit geringerem Niederschlag vor, dann ist er jedoch abhängig vom Grundwasser. Der Niem kann in vielen Bodentypen wachsen, bevorzugt jedoch sandige Böden mit einem pH-Wert von 6,2-7,0. Staunässe verträgt der Baum nicht. Stehen die Wurzeln zu lange im Wasser, geht der Niem sehr schnell ein. Die optimalen Jahresdurchschnittstemperaturen sind 31 °C bis 32 °C. Höhere Temperaturen toleriert der Baum, Temperaturen unter 4 °C sind nicht gut für den Niem: er verliert seine Blätter und geht ein. Dagegen hält der Baum Temperaturen über 50 °C sehr gut aus.<sup>[2]</sup>

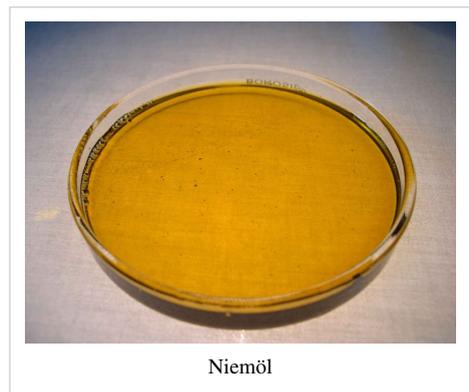
## Verwendung

Pflanzenteile des Niembaums und daraus hergestellte Produkte wirken antibakteriell und antiviral und können als Insektizid, Fungizid, Spermizid, Dünger und Futtermittel eingesetzt werden. Sie werden daher sowohl in der Medizin als auch in Landwirtschaft und Gartenbau genutzt.

## Nutzung in der Medizin

Von indischen Ärzten werden Niem-Produkte seit 2000 Jahren gegen Anämie, Bluthochdruck, Hepatitis, Geschwüre, Lepra, Nesselsucht, Schilddrüsenerkrankungen und Verdauungsstörungen und in der Medizin des Ayurveda eingesetzt. Niem wird als Mittel gegen Kopfläuse und in der Zahn- und Mundhygiene genutzt und soll bei Diabetes mellitus und Krebs helfen sowie den Cholesterinspiegel reduzieren.<sup>[2]</sup> Ebenso werden Niemprodukte in Indien seit Jahrhunderten als Spermizid und zur Abtreibung genutzt. Indische Forscher haben diese Wirkung bestätigt.<sup>[2]</sup>

Das Öl des Niembaums wird zudem bei der Bekämpfung von Hausstaubmilben eingesetzt. Der Niembaumsamenöl-Extrakt macht die Nahrungsgrundlage der Milben (Hautschuppen) ungenießbar und stoppt gleichzeitig das Wachstum der Larven.



Niemöl

## Nutzung in der Landwirtschaft

In der Landwirtschaft und von Gärtnern werden die Samen und das Öl als Dünger sowie zur Bekämpfung als auch zur Vorbeugung gegen Insekten, Nematoden, Milben und Pilzen verwendet. Aus Samenschrot und Wasser hergestellte Lösungen zum Gießen oder Spritzen gegen Schadinsekten sind weit verbreitet. Während man bei chemischen Spritzmitteln Resistenzen bei Insekten beobachtet, sind bei Niemlösungen wegen ihrer Komplexität keine Resistenzen zu erwarten.<sup>[2]</sup>

Für die Insektizidwirkung sind eine Reihe von Inhaltsstoffen zentral:

- Azadirachtin ähnelt in seiner Wirkung dem Hormon Ecdyson. Es hindert Schadinsekten daran, sich zu vermehren und Kulturpflanzen zu fressen. Zudem wirkt es gegen verschiedene Nematoden.
- Salannin hat eine abstoßende Wirkung auf Insekten und schützt Nutzpflanzen sehr effektiv vor Insektenfraß.
- Meliantriol wirkt ähnlich abschreckend auf Insekten, wie Salannin und stoppt selbst Wanderheuschrecken.
- Nimbin und Nimbidin sind wirksam gegen Viren.<sup>[2]</sup>

Das Holz des Niembaums ist ein sehr guter Brennstoff und wird als Feuerholz genutzt. Die Niemblätter sind als Viehfutter sehr beliebt. Das schont die übrige Vegetation. Die Rückstände aus der Niemölgewinnung (Presskuchen) eignen sich als nährstoff- und mineralstoffreiches Viehfutter.<sup>[2]</sup>

## Umweltwirkungen

Der Niembaum wird zur Rekultivierung von Wüstengebieten eingesetzt und hat einen hohen CO<sub>2</sub>-Durchsatz. Da der Baum sehr rasch wächst, wirkt sein Anbau schnell der Abholzung natürlichen Wälder entgegen. Niembäume helfen gegen Bodenerosion und senken die Windgeschwindigkeit. Dabei spenden sie Schatten, kühlen die Umgebung und schützen die Bodenvegetation.<sup>[2]</sup>

## Patente

Seit 1985 wurden weltweit mehr als 90 Patente auf Wirkeigenschaften und Extraktionsverfahren von Niemprodukten angemeldet. Die amerikanische Firma W. R. Grace errichtete Produktionsstätten zur Niemverarbeitung in Indien und kaufte indische Firmen auf. In der Folgezeit stiegen die Preise des Niemsamens von 11 auf über 100 US-Dollar je Tonne, was die Verfügbarkeit vor allem für Kleinbauern und einheimische Kleinunternehmen erheblich einschränkte. Wegen der zahlreichen Patente waren die Exportmöglichkeiten für Niemprodukte vielfach auf Patentinhaber beschränkt.<sup>[5] [6]</sup>

Seit 1993 geht in Indien die Initiative „Neem Campaign“ gegen mutmaßlich zu Unrecht erteilte Patente vor. Zwei Patente auf Niem-Produkte wurden nach Beschwerden beim Europäischen Patentamt 2000 und 2005 widerrufen. Beim ersten Fall im Jahr 2000 handelte es sich um das Patent EP 0 436 257 B1, das 1994 dem US-Landwirtschaftsministerium und dem Unternehmen W.R.Grace vom Europäischen Patentamt erteilt wurde. Es betrifft ein „Verfahren zum Bekämpfen von Fungi an Pflanzen“ bzw. ein „Verfahren zum Schützen von Pflanzen vor Pilzbefall“. Im Mai 2000 wurde im Einspruchsbeschwerdeverfahren vor der technischen Beschwerdekammer des EPA das Patent aufgrund fehlender „erfinderischen Tätigkeit“ widerrufen, da fungizide Wirkungen von Pflanzenölen vielfach bekannt seien und es daher keiner erfinderischen Tätigkeit bedurfte, bekannte Rezepturen auch auf bislang ungenutzte Pflanzen anzuwenden.

## Weiterführende Literatur

### Deutsch

- Ellen Norten und Jean Pütz (Hrsg.): *Wunderbaum Niem – Medizin, Kosmetik, Pflanzenschutz aus der Natur*. vgs Verlag, Köln 1997, ISBN 3-8025-1322-3
- Sebastian Bödeker, Oliver Moldenhauer und Benedikt Rubbel: *Wissensallmende*. VSA, Hamburg 2004, ISBN 3-89965-118-9, S. 32–33.
- Heinrich Schmutterer: *Niempräparate (Neem, Nim)*. In: Heinrich Schmutterer, Jürg Huber (Hrsg.): *Natürliche Schädlingsbekämpfungsmittel*. Ulmer Verlag, 2005, ISBN 3-8001-4754-8

### Englisch

- Eric R. Boa: *A guide to the identification of diseases and pests of neem. (Azadirachta indica)*. FAO Regional Office for Asia and the Pacific (RAPA), Bangkok, 1995
- Alexander Wudtke (1995) *Einsatz von NemAzal T/S gegen Materialschädlinge* am Beispiel der Kleidermotte, Proc. of 5th Workshop „Practice Oriented Results on Use and Production of Neem-Ingredients and Pheromons“ in Wetzlar (<http://freenet-homepage.de/humboldt/>), 274 S.
- A. Wudtke (1997) Einsatz von Neem als Wachstumshemmer – *Use of Neem as a growth inhibitor*, in: Proc. of 5th Workshop „Practice Oriented Results on Use and Production of Neem-Ingredients and Pheromons“ in Wetzlar 1996, 175–176
- Ruparao T. Gahukar: *Neem in plant protection*. Agri-Horticultural Publishing House, Nagpur, India 1995, ISBN 81-900392-0-2
- Martin Jacobson (Hrsg.): *The neem tree*. CRC Press, Boca Raton, Fl. 1989, ISBN 0-8493-4101-9
- Heinrich Schmutterer (Hrsg.): *The neem tree Azadirachta indica (A. Juss.) and other meliaceae plants. Sources of unique natural products for integrated pest management, medicine, industry and other purposes*. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1995, ISBN 3-527-30054-6
- Dina Tewari: *Monograph on neem (Azadirachta indica A. Juss.)*. International Book Distributors, Dehra Dun, India 1992, ISBN 81-7089-175-2
- Noel D. Vietmeyer (Hrsg.): *Neem. A tree for solving global problems; report of an ad hoc panel of the Board on Science and Technology for International Development, National Research Council*. National Academy Press, Washington D.C. 1992, ISBN 0-309-04686-6
- K Vijayalakshmi, K S Radha und Vandana Shiva: *Neem. A User's Manual*. Centre for Indian Knowledge Systems, Chennai and Research Foundation for Science, Technology and Natural Resource Policy, New Delhi 1995.
- Katharine Sanderson: *Chemists synthesize a natural-born killer*. In: *Nature*. Band 448, Nr. 7154, 2007, S. 630.

## Weblinks

- Niem-Anwendungen <sup>[7]</sup>
- Neem Foundation, India <sup>[8]</sup> (engl.)
- International Neem Network der FAO (engl.) <sup>[9]</sup>
- Neem als moderne Heilpflanze <sup>[10]</sup>

## Referenzen

- [1] *Species in GRIN for genus*. (<http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/splist.pl?1205>) www.ars-grin.gov, abgerufen am 9. März 2008.
- [2] Heidelore Kluge, Verlag: Gesundheit und Natur *Niembaum, die Kraft der indischen Wunderpflanze*, ISBN - 3-7787-3580-2
- [3] Wolfgang Kraus et al.: *Endgültige Struktur des Azadirachtin*. In: *Tetrahedron Letters*. 1985. doi: 10.1016/S0040-4039(00)99020-8 ([http://dx.doi.org/10.1016/S0040-4039\(00\)99020-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-4039(00)99020-8))
- [4] Steven V. Ley: *Synthesis and chemistry of the insect antifeedant azadirachtin* In: *Pure and Applied Chemistry*. Band 66, Nr. 10/11, S. 2099–2102, IUPAC 1994 pdf (<http://www.iupac.org/publications/pac/1994/pdf/6610x2099.pdf>)
- [5] Bödeker et. al, S. 32

- [6] Biopiraterie und die Aneignung genetischer Ressourcen (<http://www.attacmarburg.de/wissensallmende/basistext/bio5.php>)  
[7] <http://www.neembaum-niembaum.de/>  
[8] <http://www.neemfoundation.org>  
[9] <http://www.fao.org/forestry/FOR/FORFORM/FOGENRES/Inn/neem.stm>  
[10] <http://home.ebmnet.ch/kokosnuss/index.html>

## Nutzhanf

Als **Nutzhanf** werden alle Sorten des Hanf (Gattung *Cannabis*) bezeichnet, die für die kommerzielle Nutzung abseits der Verwendung als Rauschmittel angebaut werden. Dabei handelt es sich vor allem um Sorten der Hanfart *Cannabis sativa* und dessen Kulturform *Cannabis sativa* var. *sativa*, während der selten angebaute Indische Hanf (*Cannabis indica*) nur als Drogen- und Medizinpflanze eine Rolle spielt. Nutzhanf wird vor allem zur Gewinnung von Hanffasern angebaut, weitere Produkte sind Hanfschäben, Hanfsamen sowie das daraus gewonnene Hanföl und Hanfblüten und -blätter zur Herstellung von ätherischem Hanföl.<sup>[1]</sup>



Nutzhanf in Frankreich

Insgesamt stehen 41 von der EU zertifizierte, arme Sorten mit niedrigen Gehalten an Tetrahydrocannabinol (THC) für den Hanfanbau zur Verfügung. Sie besitzen im Gegensatz zu anderen Sorten einen sehr hohen Faseranteil von 30–40 %. Im Gegensatz zu den als Rauschmittel und für die medizinische Verwendung genutzten Sorten haben die für die Faser- und Samennutzung angebauten Sorten nur einen sehr geringen Anteil von weniger als 0,2 % THC und sind entsprechend zur Erzeugung von Haschisch und Marihuana ungeeignet.<sup>[2]</sup> Das wichtigste Cannabinoid im Nutzhanf ist das nicht psychogene Cannabidiol (CBD) mit einem Anteil von 1 bis 5%.

## Anbau

### Sortenwahl und Zulassung

Die Sortenwahl ist auf die zugelassenen Sorten beschränkt. In der EU sind im Jahr 2009 41 Sorten zugelassen. Neben der Anbaueignung ist ein THC-Gehalt von weniger als 0,2% für die Sortenzulassung zwingend vorgeschrieben. Nur zertifiziertes Saatgut darf verwendet werden. Der Anbau von Faserhanf muss der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung als zuständiger Behörde angezeigt werden.<sup>[3]</sup>

### Standort und Fruchtfolge

Für ertragereichen Nutzhanfanbau eignen sich vor allem tiefgründige, humose und nährstoffreiche Böden mit geregelter Wasserführung. Staunässe, saure und verdichtete oder extrem leichte (sandige) Böden beeinträchtigen vor allem die Jugendentwicklung der Pflanzen. Steile Hanglagen und Höhenlagen von mehr als 400 m ü NN sind zu vermeiden. Der bereits bei 1-3 Grad keimende Hanf ist gegenüber kalten Temperaturen relativ unempfindlich und übersteht Frost bis -5 Grad. Für sein Wachstum benötigt er jedoch viel Wärme, in Deutschland kommen daher nur die früheren Sorten zur Abreife. Der Wasserbedarf ist mit 300-500 l/kg Trockenmasse relativ hoch, die bis zu 3 Meter in den Boden wachsenden Wurzeln können jedoch auch Wasservorräte aus tieferen Bodenschichten nutzen.

In der Fruchtfolge wirkt Hanf positiv auf die anschließend angebauten Kulturen (Nachfrüchte) und er wird in der Regel vor Wintergetreide angebaut. Vorteilhaft sind die hohe Unkrautunterdrückung, die Bodenlockerung durch das große Wurzelsystem und die positive Wirkung auf die Bodengare. Da Hanf sehr selbstverträglich ist, kann er auch mehrere Jahre hintereinander auf der gleichen Fläche angebaut werden (Monokultur).

### Anbau und Ernte

Die Aussaat erfolgt zwischen Mitte April und Mitte Mai mit Getreidedrillmaschinen auf 4-6 cm Saattiefe. Die gegenüber Getreide verhaltene Düngung mit insgesamt 60-150 kg Stickstoff, 40-140 kg Phosphor ( $P_2O_5$ ) und 75-200 kg Kalium<sup>[4]</sup> pro Hektar bei Faserhanf erfolgt vor der Saat sowie evtl. erneut drei bis vier Wochen später. Bei der vor allem in Frankreich praktizierten Doppelnutzung von Fasern und Samen ist die Düngung mit Stickstoffgaben bis zu 100 kg/ha eher geringer. Organische Dünger wie Gülle kann Nutzhanf gut verwerten. Weder Unkrautbekämpfung noch Pflanzenschutzmaßnahmen sind notwendig.<sup>[5]</sup>

Die Ernte von Faserhanf erfolgt mit Spezialmaschinen oder für die Hanfernte angepasste Erntetechnik zur Zeit der Vollblüte der männlichen Blüten und erstreckt sich je nach Sorte und Anbaubedingungen von Ende Juli bis Ende September. Je nach Art des vorgesehenen Aufschluss der Hanffaser unterscheidet sich die Nacherntebehandlung auf dem Feld. Für die Langfaserverarbeitung wird das Hanfstroh auf dem Feld parallel ausgelegt und getrocknet. Der Trocknung folgt eine Röste und eine erneute Trocknung auf dem Feld. Zur Vorbehandlung auf den Faseraufschluss der Kurzfaser- und Gesamtfaserlinie wird das Hanfstroh auf dem Feld gekürzt und geröstet und danach in Rund- und Quaderballen gepresst. Werden auch die Samen genutzt, findet die Ernte mit der Vollreife der Samen Mitte September bis Mitte Oktober statt, verwendet werden leicht modifizierte Mähdrescher.<sup>[5]</sup>

### Verwendung

Das Anwendungsspektrum des Nutzhanfs ist sehr breit und reicht von der Nutzung der Hanffasern als Rohstoff für die Textilindustrie über die Verwendung von Hanföl und Hanfsamen bei der Ernährung bis zur Nutzung als Drogen- und Medizinalpflanze. Heute finden Hanffasern zudem zunehmend Verwendung als Faseranteil in Naturfaserverstärkten Kunststoffen und anderen modernen Anwendungsbereichen.

### Fasern und Schäben

*Siehe Hauptartikel Hanffaser und Schäbe*

Hanffasern stellen sowohl von der Menge als auch von der Fülle der Anwendungsmöglichkeiten den wichtigsten Rohstoff des Nutzhanfs dar. Von der Antike bis in die Gegenwart wurden und werden Hanffasern zur Herstellung einer Vielzahl von Produkten verwendet. Historisch bedeutsam waren sie vor allem für die Herstellung von Segeltuch, Tauen und Seilen bis weit in das 19. Jahrhundert. Heute spielen sie vor allem für die Produktion von Hanfpapier (Spezialpapiere, vor allem Zigarettenpapier), Hanftextilien (Bekleidung, Technische Textilien), Naturdämmstoffen und als Verstärkungsfasern für naturfaserverstärkte Kunststoffe eine zentrale Rolle.

Die bei der Fasergewinnung als Nebenprodukt anfallenden Schäben werden vorwiegend als Tiereinstreu verwendet, vor allem in der Pferdehaltung und der Kleintierhaltung. Sie werden jedoch auch als Rohstoff für die Produktion von Leichtbauplatten, als Schüttdämmung oder andere Anwendungen als Baustoff sowie energetisch als Brennstoff genutzt.



## Samen

Als Samen werden Achänen gebildet, Nussfrüchte die als „Hanfsamen“ oder „Hanfnüsse“ bezeichnet werden. Sie sind 3 bis 4 Millimeter groß, von brauner bis grüngrauer Farbe und weisen ein Tausendkorngewicht von 15 bis 20 Gramm auf. Sie enthalten 28 bis 35 % Fett, 30 bis 35 % Kohlenhydrate, 20 bis 24 % Proteine und neben Vitamin E, Kalzium, Magnesium, Kalium und Eisen besonders hohe Anteile an Vitamin B, speziell Vitamin B1 und Vitamin B2. Die Proteine bestehen hauptsächlich aus dem Globulin Edestin, welches sehr leicht verdaulich ist. Die Samen enthalten darüber hinaus alle acht für den menschlichen Körper essentiellen Aminosäuren, als Proteinquelle sind Hanfsamen damit für den Menschen hervorragend geeignet.



Samen die noch auf einer getrockneten Hanfpflanze hängen

Hanfsamen werden ohne weitere Verarbeitung als Lebensmittel eingesetzt, dienen aber auch als Grundlage zur Extraktion des Hanföls und als hochwertiges Tierfutter vor allem für Vögel aber auch für Fische und Säugetiere. Sie haben keine berauschende Wirkung, da sie aus THC-armen Hanfsorten gewonnen werden. In den letzten Jahren fanden aus Hanfsamen gepresstes Hanföl sowie die Samen selbst als Nahrungsmittel wieder zunehmende Verbreitung. Aus den Samen kann unter anderem ein Hanfmehl<sup>[6]</sup> oder auch eine der Erdnussbutter ähnliche Hanfbutter produziert werden. Die Samen selbst werden sowohl geröstet wie ungeröstet verkauft.

## Hanföl

*Siehe Hauptartikel Hanföl*

Hanföl wird aus den Hanfsamen gepresst, die sowohl ungeschält als auch geschält genutzt werden. Die dünne Schale enthält Chlorophyll, so dass das Öl aus ungeschälten Samen eine grüne Farbe aufweist. Außerdem sind Bitterstoffe und Ballaststoffe enthalten. Öl aus geschälten Hanfsamen enthält weniger Farb- und Bitterstoffe und ist geschmacklich entsprechend nussiger. Hanföl wird vor allem als Nahrungsmittel in Form von Salatöl genutzt und besitzt eine Reihe von hochwertigen Inhaltsstoffen wie essentielle Fettsäuren. Als Bratöl ist es aufgrund seiner Hitzeempfindlichkeit ungeeignet. Daneben findet es Verwendung als Öl in der Kosmetikindustrie, vor allem als Zusatz in der Naturkosmetik, und als Lampenöl. Zur Energiegewinnung wird das Öl dagegen nicht genutzt. Obwohl es beispielsweise als Grundlage für pflanzenölbasierte Kraftstoffe (Biodiesel, Pflanzenöl-Kraftstoff) verwendet werden könnte, besteht aktuell weder der Bedarf noch die technische Reife, das als hochwertig eingestufte Hanföl für energetische Zwecke zu nutzen<sup>[7]</sup>.

Pressreste der Ölgewinnung (Presskuchen) sind als hochwertiges Futtermittel in der Viehzucht verwertbar.

## Ätherisches Hanföl

*Siehe Hauptartikel Ätherisches Hanföl*

Ätherisches Hanföl ist ein ätherisches Öl, das durch Destillation aus Blättern und Blüten des Hanfs (*Cannabis sativa*) gewonnen wird. Das Öl setzt sich zusammen aus einer Vielzahl verschiedener Inhaltsstoffe. Als Zusatzstoff wird ätherisches Hanföl vor allem bei der Produktion von entsprechend aromatisierten Eistees, Hustenbonbons, Hanfbier, Schokolade und anderen Produkten verwendet. Außerdem findet es Verwendung in Kosmetikartikeln und Parfums. Als Zusatz zu Massage- und Hautöl soll ätherisches Hanföl beruhigend und entzündungshemmend wirken und Verspannungen lösen sowie Krämpfe, Schwellungen und Phantomschmerzen lindern. Auch in der Aromatherapie wird das Öl verwendet und soll hier entspannend und ausgleichend wirken und die Atemwege reinigen.

## Weitere Inhaltsstoffe

*Siehe Hauptartikel Cannabis als Rauschmittel*

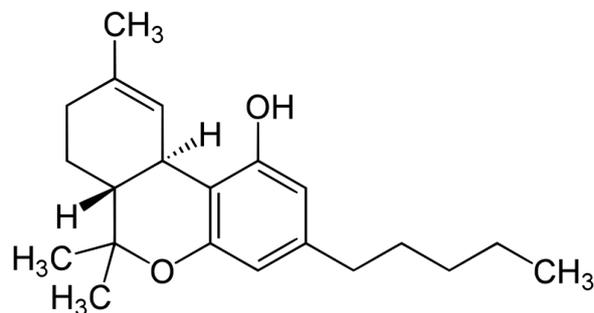
Die Verwendung von Hanf als Droge wird im Allgemeinen nicht als Nutzenanwendung betrachtet, allerdings können die für die psychotrope Wirkung verantwortlichen Inhaltsstoffe, vor allem Cannabinoide, auch für medizinische Verwendungen von Bedeutung sein. Der zentrale Bestandteil für diese Form der Nutzung ist das  $\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol (THC), jedoch spielen auch weitere Cannabinoide eine Rolle bei der medizinischen Wirkung. Im Gegensatz zu anderen Nutzhanfanwendungen werden für medizinische Anwendungen entsprechend THC-reiche Hanfsorten genutzt, deren Anbau und Nutzung international in vielen Ländern verboten ist. Auch Faserhanfsorten enthalten Cannabinoide, die für die medizinische Verwendung eingesetzt werden können, als Drogenpflanze sind sie jedoch nicht geeignet.

Obwohl der Besitz und die Nutzung von THC-reichen Produkten genehmigungspflichtig<sup>[8]</sup> ist, nutzen viele Personen psychotrope Hanfprodukte. Auch die medizinische Anwendung basiert in der Regel auf Selbstmedikation, die rechtlich genehmigungspflichtig ist. Die getrockneten und zerkleinerten harzhaltigen Pflanzenteile THC-reicher Hanfsorten können als Marihuana geraucht werden. Das Harz wird auch als Haschisch oder Haschischöl verarbeitet und in unterschiedlicher Form konsumiert.

Mit dem Dronabinol existiert ein aus der Hanf-Blüte gewonnenes trans-Isomer des THC, das als Arzneimittel vor allem in den USA verwendet wird. Es wird in Deutschland von den Unternehmen Bionorica Ethics und THC Pharm produziert, Dronabinol-haltige Fertigarzneimittel sind allerdings bisher in Deutschland nicht zugelassen, können jedoch in Form des Präparat Marinol® gemäß § 73 Abs. 3 AMG importiert werden. Meistens wird jedoch Dronabinol als Rezeptursubstanz für Dronabinol-Kapseln oder ölige Dronabinol-Tropfen verschrieben.<sup>[9]</sup> Ein synthetisches Analogon ist Benzopyranoperidin (Nabitan, Nabutam).



Marihuana



Strukturformel des  $\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol (THC)

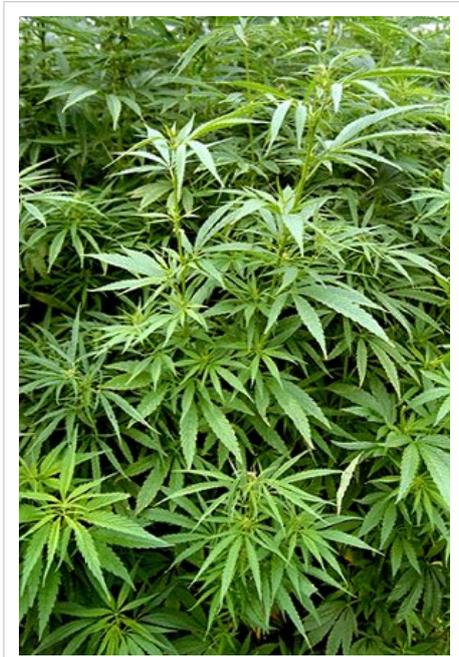
## Geschichte

### Historische Verwendung

Die Verwendung von Hanffasern lässt sich über mehrere Jahrtausende bis weit in die Menschheitsgeschichte zurückverfolgen. Die ältesten Funde stammen aus China um 2800 v. Chr., wo Seile aus Hanffasern erzeugt wurden. Verwendung fand die Pflanze aber wohl schon seit der Yangshao-Kultur im 4. Jahrtausend v. Chr. Seit etwa 900 v. Chr. fand der Hanf auch in Westasien und Indien Verbreitung. Das älteste Textilfragment aus Hanffasern stammt aus einem Grab der Zhou-Dynastie (1122–770 v. Chr.), nahe Ankara wurden Hanftextilien aus dem 8. Jahrhundert v. Chr. gefunden.<sup>[10]</sup> Um 500 v. Chr. ist der Hanfanbau für den Raum zwischen China und dem Kaspischen Meer anzunehmen. In Europa wurde die Hanftextilherstellung ebenfalls durch Grabfunde nachgewiesen; hier stammt das älteste gewebte Fragment aus einem keltischen Grabhügel in der Nähe von Stuttgart aus einer Zeit etwa 500 v. Chr. und ein weiteres mit aufbereiteten Hanffasern aus einer Zeit um das Jahr 570 fand sich nahe Paris. Bis ins 3. Jahrhundert v. Chr. fand Hanf, vor allem in Form von Tauen und ähnlichen Produkten, den Weg bis nach Italien.<sup>[11]</sup> Für das Spätmittelalter ist eine besondere Konzentration des Hanfanbaus im Baltikum und den angrenzenden Gebieten Russlands, Polen, Norddeutschland und den Niederlanden, der Bretagne und Burgund zu beobachten. Zu dieser Zeit war er neben dem Flachs die wichtigste Industriepflanze. Wie Flachs wurde er meist auf kleineren, gartenähnlichen Flächen angebaut. Hanf war jedoch leichter zu verarbeiten als Flachs. Wegen der großen Reißfestigkeit wurden daraus vor allem Segeltuche, Seile und Säcke gefertigt, zu Tuch wurde er hingegen aufgrund der Grobheit nur selten verarbeitet.<sup>[12]</sup>

Der älteste Nachweis von Papier aus Hanffasern stammt ebenfalls aus China von 140–87 v. Chr. und stellt damit den ältesten Papierfund Chinas dar. Hanfpapier wurde etwa ab dem Jahr 105 in China populär, gelangte aber erst im 13. Jahrhundert über den Vorderen Orient nach Europa. In Deutschland wurde es im 14. Jahrhundert erstmals nachgewiesen.

Die spanischen Konquistadoren hielten im 16. Jahrhundert die spanischstämmigen Siedler im heutigen Mexiko, im heutigen Texas und im heutigen Kalifornien dazu an, Nutzhanf anzubauen. Auch die englischen Kolonisten weiter nördlich folgten später diesem Beispiel. Im 17. Jahrhundert hatte der Hanfanbau in heutigen US-Staaten wie Virginia eine so überragende Bedeutung für die Erschließung des Kontinents, dass der Anbau ausdrücklich vorgeschrieben war. In anderen heutigen US-Staaten waren ähnliche Vorschriften üblich.



Hanfpflanzen



Theodor von Hörmann: „Hanfeinlegen“, um 1890

Den Höhepunkt der Nutzung erfuhren Hanffasern im 17. Jahrhundert, wo sie vor allem zur Produktion von Seilen und Segeltuch für die Schifffahrt verwendet wurden; für ein normales Segelschiff wurden etwa 50 bis 100 Tonnen Hanffasern benötigt und die Materialien wurden durchschnittlich alle zwei Jahre ersetzt. Bis in das 18. Jahrhundert waren zudem Hanffasern neben Flachs, Nessel und Wolle die wichtigsten Rohstoffe für die europäische Textilindustrie, wobei Hanf aufgrund der größeren Faserbündel vor allem zur Herstellung von Ober- und Arbeitskleidung diente. Die Hanfverarbeitung nahm vor der Einführung der Baumwolle und anderer exotischer Fasern wie Jute, Sisal und Ramie eine Schlüsselrolle in der Textilverarbeitung ein.<sup>[13]</sup>



Hanfseil

In den Vereinigten Staaten kam es in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu einem erneuten Boom des Hanfanbaus, als über die Zweite Mittelpassage Tausende afroamerikanischer Sklaven aus dem Oberen und Unteren Süden ins Landesinnere und in den Tiefen Süden zwangsdeportiert wurden. Hanfanbau war äußerst arbeitsintensiv und für die Pflanzler ohne den Einsatz von Sklaven nicht rentabel. Zentren des Hanfanbaus waren Kentucky, Missouri und Tennessee. Nach der Abschaffung der Sklaverei (1865) erlebte der Hanfanbau einen Niedergang. Vor allem die Entwicklung von Baumwoll-Spinnmaschinen im 19. Jahrhundert sowie die billigen Importe von Baumwolle und Jute vor allem aus Russland und Asien beendeten die Nutzung von Hanf und Flachs als Textilfaser. Zugleich ging auch der Bedarf in der Schifffahrt zurück, da viele Schiffe auf Dampfkraft umgestellt wurden und Segeltuch nicht mehr benötigt wurde. Auch in der Papierherstellung entwickelte sich eine günstigere Alternative durch die Herstellung von Papier aus Holz.<sup>[14]</sup>

Der Anbau ging im 19. Jahrhundert stark zurück und konnte nur durch die Handelsembargos für exotische Fasern während der Weltkriege in Deutschland kurzzeitig wieder an Bedeutung gewinnen. In den 1930ern kamen zwar Maschinen auf den Markt, die die Handarbeit bei der Verarbeitung (Strippen) überflüssig machten. In den Vereinigten Staaten wurde der Anbau der Pflanze jedoch vor allem unter dem Einfluss von Harry J. Anslinger landesweit verboten, und außer in der Kriegswirtschaft des Zweiten Weltkrieges hat sie in den USA seitdem keine Rolle mehr gespielt.<sup>[15]</sup>

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde Nutzhanf auch in Europa nur noch auf Kleinstflächen angebaut. Zwischen 1982 und 1995 war der Hanfanbau in Deutschland durch das Betäubungsmittelgesetz vollständig verboten, um die illegale Nutzung von Cannabis als Rauschmittel zu unterbinden. Obwohl der in den 1950er und 1960er Jahren gezüchtete Nutzhanf wegen des beinahe vollständig fehlenden THC unbedenklich ist, wurde auch dessen Anbau in Deutschland und vielen anderen Ländern verboten. In Frankreich wurden die Nutzhanfsorten für die Herstellung von Zigarettenpapier weiterhin verwendet und auch in mehreren osteuropäischen Ländern wurde Hanf weiterhin in kleinem Maßstab angebaut. Der wichtigste Produzent von Hanffasern in dieser Zeit war die Sowjetunion mit 140.000 Hektar Hanfanbaufläche, die sich bis 1990 allerdings bis auf 40.000 Hektar reduzierte. Ebenfalls bedeutend war der Anbau in Rumänien, Polen, Ungarn und im ehemaligen Jugoslawien.<sup>[14]</sup>

In den 1990er Jahren wurden die Verbote aufgrund des wieder wachsenden Interesses der Landwirtschaft und der Industrie an dem Rohstoff zurückgezogen und 1996 durfte auch in Deutschland wieder Hanf angebaut werden. Heute ist der Anbau von THC-armen Nutzhanfsorten in allen Ländern Europas sowie in Ländern wie Kanada und Australien legalisiert, nur in den USA ist der Anbau weiterhin vollständig untersagt.<sup>[16]</sup>

## Heutige Verwendung

Die weltweiten Anbauflächen für Nutzhanf betragen heute etwa 60.000 bis 100.000 Hektar und schwanken stark von Jahr zu Jahr. Für 2005 wurde die weltweite Anbaufläche auf etwa 115.000 Hektar geschätzt, von denen etwa 80.000 Hektar auf Asien (vor allem China und Nordkorea), 14.000 Hektar auf EU-Länder, 5.700 Hektar auf andere europäische Länder, 10.000 Hektar auf Nordamerika (ausschließlich Kanada), 4.300 Hektar auf Südamerika und 250 Hektar auf Australien entfallen.<sup>[17]</sup> Die führenden Anbauländer sind China, Russland, Kanada und Frankreich, während in anderen Ländern der Anbau eher gering ist.

In Europa wurde bis Anfang der 1990er Jahre fast ausschließlich in Frankreich Hanf angebaut (etwa 6.000 Hektar) und zur Produktion von Zigarettenpapier genutzt, geringe Exportmengen kamen aus Spanien nach Frankreich. Vor allem auf der Suche nach Alternativen zum stagnierenden und teilweise rückläufigen Lebensmittelanbau und vor dem Hintergrund zunehmenden landwirtschaftlichen Brachflächen wurde Hanf wie andere nachwachsende Rohstoffe nach dem Wegfall des Anbauverbotes europaweit gefördert, zugleich gewann Hanf als Nutzpflanze zunehmend auch wissenschaftlich und wirtschaftlich Rückhalt, unter anderem durch verschiedene Bucherscheinungen zum Nutzen der Hanfpflanze. Im Dezember 1985 erschien das Buch „*The Emperor wears no clothes*“ von Jack Herer, das 1993 unter dem Titel "Die Wiederentdeckung der Nutzpflanze Hanf" auch in deutscher Sprache erschien.<sup>[18]</sup> Die Veröffentlichung machte die Vielseitigkeit der Nutzpflanze Hanf publik und wurde zum Standardwerk für Hanfaktivisten und Nutzhanfbauern.

In den Jahren nach 1985 kam es zu einem regelrechten Hanf-Boom, der nicht nur dem Rauschhanf, sondern auch den Anwendungen der Nutzpflanze immensen Vortrieb einbrachte. Im Zuge dieser Hanfwelle entstanden in aller Welt Strukturen, die sich für eine Normalisierung der gesetzlichen Lage oder schlicht eine vollständige Legalisierung einsetzten. In Deutschland entstand z. B. 1992 der H.A.N.F., der zu diesem Zweck unter anderem das Hanf-Museum Berlin betreibt, sowie im Jahr 2000 die European Industrial Hemp Association (EIHA) zur Förderung des Hanfs als industrielle Nutzpflanze. Der Nutzhanf, der heute von Bauern angebaut wird, wurde züchterisch bearbeitet, so dass er einen sehr geringen THC-Gehalt hat. Der Anbau wird in vielen Staaten streng kontrolliert. Das größte europäische Anbaugebiet ist das französische Département Aube in der Champagne.

Bis 1998 vervierfachte sich der Anbau von Nutzhanf in Europa (ohne Spanien) auf fast 40.000 Hektar. In Spanien wurden von 1997 bis 1999 hohe Anbauzahlen bis zu 20.000 Hektar durch Prämienzahlungen erreicht, der größte Teil der subventionierten Ernte wurde allerdings nicht verarbeitet.<sup>[19]</sup> <sup>[14]</sup> Im Jahr 2006 wurden in den Ländern der Europäischen Union auf etwa 14.000 Hektar Nutzhanf angebaut, davon allein 8.000 in Frankreich und jeweils über 1.000 in Deutschland, Großbritannien, und der Tschechischen Republik.<sup>[19]</sup> Prognosen gehen davon aus, dass sich der Hanfanbau durch die zunehmende Nachfrage nach hanffaserverstärkten Werkstoffen und Dämmmaterial sowie durch die Preissteigerungen bei exotischen Fasern auf etwa 20.000 Hektar europaweit erhöhen wird.<sup>[19]</sup>

Hanflangfasern finden heute fast ausschließlich Verwendung bei der Produktion von Textilien. Sie sind sehr reißfest und eignen sich besonders gut für die Bekleidungsindustrie. Eine klassische Anwendung für das Werg als loses Langfasermaterial ist die Abdichtung beim Verschrauben von Rohrgewinden.

Aufgrund ihrer geringen Verrottungstendenz, gesundheitlichen Unbedenklichkeit und Schädlingsresistenz sind Hanffasern als Dämmstoff, z. B. für den Hausbau, gut geeignet und beliebt. Heute finden Kurzfasern außerdem Verwendung in Zellstoffen, Vliesen, wie etwa Aufzuchtvliesen für Kressesamen, Spezialpapieren sowie naturfaserverstärkten Kunststoffen. Ein Schwerpunkt ist die Verwendung von Hanffasern im Automobilbau, wo sie als Verstärkung für Kunststoffe der Türinnen- und Kofferraumverkleidung genutzt werden. Vor allem die weitere



Türinnenverkleidung aus hanffaserverstärktem Kunststoff (Matrix Polyethylen PE)

Ausdehnung des Dämmstoffmarktes und die Nutzung von naturfaserverstärkten Kunststoffen auch außerhalb der Automobilindustrie bestimmt aktuell das Wachstum des europäischen Hanfmarktes.<sup>[20]</sup> So finden sie beispielsweise bei der Produktion von Koffern, Laptopgehäusen und Schleifscheiben Verwendung. Dabei werden diese Kunststoffe heute nicht mehr allein für ihre mechanischen Eigenschaften genutzt, sondern werden auch als Designelemente eingesetzt, wie beispielsweise bei dem im Juli 2008 vorgestellten Eco Elise von Lotus Cars.<sup>[21]</sup>



Dämmstoffblock  
aus Hanffasern



Sack aus  
Hanfgewebe,  
Japan



B-Säule aus hanffaserverstärktem  
Kunststoff (Matrix Polypropylen  
PP)



Handschuhfach aus  
hanffaserverstärktem  
Kunststoff (Matrix  
Polypropylen PP)

## Rechtslage in Europa

Das weltweit wachsende Engagement und der damit wachsende politische Druck führten dazu, dass man sich auch auf europäischer Ebene mit Hanfanbau beschäftigte. 1989 verfügte die europäische Kommission in der Verordnung Nr. 1164/89, dass der Anbau von Hanfsorten mit einem Wirkstoffgehalt von unter 0,3 Prozent als Faserhanf legalisiert werden muss. Mit Wirkung zum 16. April 1996 wurde entsprechend auch in Deutschland das seit 1982 im Betäubungsmittelgesetz bestehende pauschale Hanfanbauverbot für den Nutzhanf aufgehoben. Der Anbau ist jedoch nach wie vor genehmigungspflichtig und wird in der Regel nur hauptgewerblichen Landwirten unter strengen Auflagen gewährt. Diese Kontrolle soll vermeiden, dass THC-reiche Sorten zur illegalen Drogengewinnung angebaut werden, da eine Unterscheidung der verschiedenen Unterarten optisch kaum möglich ist. Der Anbau von THC-reichen Sorten ist auch zur Gewinnung medizinischer Präparate weiterhin verboten.

## Einzelnachweise

Die Informationen dieses Artikels entstammen zum größten Teil den unter Nachweise angegebenen Quellen, darüber hinaus werden folgende Quellen zitiert:

- [1] Carus et al. 2008
- [2] Frank Waskow: *Hanf & Co.: die Renaissance der heimischen Faserpflanzen*. In: Katalyse-Institut für Angewandte Umweltforschung (Hrsg.): *[[Sammelwerk]]*. Verlag Die Werkstatt, Göttingen 1995, ISBN 3-89533-138-4, S. 45.
- [3] Informationen zu Zulassungs- und Anzeigeverfahren sowie Beihilfen für den Anbau von Nutzhanf ([http://www.ble.de/cln\\_090/nm\\_428288/DE/01\\_\\_Marktangelegenheiten/03\\_\\_Beihilfen/03\\_\\_Hanf/hanf\\_\\_node.html?\\_\\_nnn=true](http://www.ble.de/cln_090/nm_428288/DE/01__Marktangelegenheiten/03__Beihilfen/03__Hanf/hanf__node.html?__nnn=true)) (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung)
- [4] K<sub>2</sub>O
- [5] K.U.Heyland, H. Hanus, E.R. Keller: Ölf Früchte, Faserpflanzen, Arzneipflanzen und Sonderkulturen In: Handbuch des Pflanzenbaues, Bd. 4, S. 301-307, ISBN 3800132036
- [6] Ralf Buck: *Kochen und Backen mit Hanf*, Göttingen, 1999, ISBN 3895332720
- [7] Michael Carus, Thomas Breuer, Florian Gerlach, 2007: Prüfung von Hanföl hinsichtlich seiner Eignung als Kraftstoff für pflanzenölaugliche Motoren. Studie der nova-Institut GmbH ( pdf ([http://www.nova-institut.de/pdf/08-03\\_hanfoel\\_als\\_kraftstoff\\_nova-tfz.pdf](http://www.nova-institut.de/pdf/08-03_hanfoel_als_kraftstoff_nova-tfz.pdf))
- [8] § 3 Erlaubnis zum Verkehr mit Betäubungsmitteln ([http://www.gesetze-im-internet.de/btmg\\_1981/\\_3.html](http://www.gesetze-im-internet.de/btmg_1981/_3.html))
- [9] Neues Rezeptur-Formularium – Rezepturhinweise für Dronabinol (<http://www.pharmazeutische-zeitung.de/fileadmin/nrf/PDF/1-Dronabinol.pdf>) (PDF)
- [10] zur Frühzeit siehe Jürgen Schultze-Motel: *Hanf*, In: *Lexikon früher Kulturen* Bd. 1 (1984), S. 344
- [11] zur Antike siehe Christian Hünemörder: *Hanf*, In: *Der Neue Pauly* Bd. 5 (1998), Sp. 151f.
- [12] zum Mittelalter siehe Christian Reinicke: *Hanf*, In: *Lexikon des Mittelalters* Bd. 4 (1999), Sp. 1918f.
- [13] W. Hingst, H. Mackwitz: *Reiz-Wäsche*. Unsere Kleidung: Mode, Gifte, Öko-Look. *Campus-Verlag, Frankfurt 1996*
- [14] nach Heyland et al. 2006
- [15] King Hemp (<http://www.countercurrents.org/clifford200607.htm>); Slavery in the Hemp Industry (<http://www.druglibrary.org/schaffer/hemp/history/slavery.htm>)

- [16] Geschichte nach Bócsa et al 2000, Seiten 11-20, und Carus et al. 2008, Seiten 17-21.
- [17] nach Carus et al. 2008: *Weltweite Anbauflächen für Hanf im Jahr 2005 (Schätzung)*. Seite 34.
- [18] Jack Herer: *The Emperor Wears no Clothes. The Authoritative Historical Record of Cannabis and the Conspiracy Against Marijuana*. Ah Ha Publishing, Van Nuys 1985; 1 Auflage in Deutschland 1993 als *Hemp & The Marijuana Conspiracy: The Emperor Wears no Clothes* und deutsche, erweiterte Übersetzung *Hanf – Die Wiederentdeckung der Nutzpflanze Hanf, Cannabis, Marihuana*. Heyne 1996 (Übersetzung: Herer und Mathias Bröckers. Bröckers trägt seit 1993 als geschäftsführender Gesellschafter des ersten Spezialgroßhandels Europas für Hanfprodukte (HanfHaus GmbH) dazu bei, Produkte aus Hanf wieder verfügbar zu machen.)
- [19] nach Carus et al. 2008: *Hanfbanbau in der EU*. Seiten 25–28.
- [20] nach Carus et al. 2008: *Hanf – Eine historische Betrachtung* Seiten 17–21.
- [21] Lotus Eco Elise: Leichtgewicht mit Naturmaterialien ([http://www.auto-news.de/auto/news/anzeige\\_Lotus-Elise-Eco-Gruener-Oeko-Roadster-mit-Materialien-aus-der-Natur\\_id\\_22050](http://www.auto-news.de/auto/news/anzeige_Lotus-Elise-Eco-Gruener-Oeko-Roadster-mit-Materialien-aus-der-Natur_id_22050)) in Auto-News.de

## Literatur

- 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.
- nova-Institut (Hrsg.): *Das kleine Hanf-Lexikon*. Verlag Die Werkstatt, 2. Auflage, Göttingen 2003, ISBN 3-89533-271-2.
- nova-institut (Hrsg.): *Hanfsamen und Hanföl als Lebens- und Heilmittel*, Göttingen 1998, ISBN 3-89533-242-9.

## Weblinks

- *Warum Hanf? Über die ökologischen und ökonomischen Möglichkeiten des Rohstoffs Hanf*. ([http://www.hanfverband.de/themen/warum\\_hanf.php](http://www.hanfverband.de/themen/warum_hanf.php)) Deutscher Hanf Verband, abgerufen am 15. Februar 2009.
- Informationen über *Hanf-Lebensmittel* vom Portal *hanf & natur* (<http://www.hanf-natur.com>).
- Die erste Hanf-Ernte 1996 in Deutschland (<http://www.hanfmuseum.de/sonderausstellungen/die-erste-hanf-ernte-1996>) – Hintergründe und Fotos
- Informationen zu Zulassungs- und Anzeigeverfahren sowie Beihilfen für den Anbau von Nutzhanf ([http://www.ble.de/cln\\_090/nn\\_428288/DE/01\\_\\_Marktangelegenheiten/03\\_\\_Beihilfen/03\\_\\_Hanf/hanf\\_\\_node.html?\\_\\_nnn=true](http://www.ble.de/cln_090/nn_428288/DE/01__Marktangelegenheiten/03__Beihilfen/03__Hanf/hanf__node.html?__nnn=true)) (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung)

# Nutzpflanze

**Nutzpflanzen** sind Kulturpflanzen, die als Nahrungsmittel für Menschen, als Viehfutter oder für technische Zwecke Verwendung finden. Man unterscheidet kultivierte und wild wachsende Nutzpflanzen; Zierpflanzen sind eine eigenständige Kategorie.

Vor mehr als 12.000 Jahren begannen Menschen (nach Smith 1994) in Vorderasien und Anatolien, die ersten Getreidearten (Einkorn, Emmer, Gerste und Roggen) anzubauen und erfanden damit die Landwirtschaft.

Durch Selektion der gesündesten und ertragreichsten Pflanzen und Verwendung des Körnerertrags als Saatgut für das kommende Jahr sowie Ackerbaumassnahmen, Unkrautbekämpfung und Düngung mit

Mist wurde versucht, den Ertrag zu verbessern und die Ernte zu sichern. Da mit den bekannten Anbaumethoden Hungersnöte nicht verhindert werden konnten, entstanden ab dem 18. Jahrhundert Forschungs- und Lehranstalten der Pflanzenbauwissenschaften. Die jährlichen Erträge der Nutzpflanzen wurden seitdem durch Pflanzenbau, Pflanzenschutz und Pflanzenzucht gesichert und erhöht. Seit den 1980er Jahren wird zur Unterstützung der Pflanzenzucht auch die Gentechnik angewandt. Der Anbau von GVO-Nutzpflanzen erfolgt in den USA auf mehr als 100 Mio ha (2006) - in Europa ist der GVO-Anbau umstritten und rechtlich eingeschränkt.

In der folgenden Zusammenstellung sind die *Nutzpflanzen* gegliedert nach den für die Ernährung wichtigen Inhaltsstoffen, nach ihrer Verwendung sowie nach ihrer technischen Nutzung. Die Einteilung basiert auf Franke, W. (1997). Die *Arzneipflanzen* sind in Anlehnung an Gessner/Orzechowski (1974) nach den Hauptwirkstoffen zusammengestellt.



Bananenplantage auf Madeira

## Nahrungspflanzen

Da viele Pflanzeninhaltsstoffe (z.B. Zucker, Stärke, Pflanzenöle) sowohl als Nahrungsmittel, als auch als Futtermittel, als Bioenergieträger und als nachwachsender Rohstoff zur stofflichen Nutzung verwendet werden, werden viele der hier genannten Pflanzen auch technisch als nachwachsende Rohstoffe sowohl im stofflichen wie auch im energetischen Bereich genutzt. Dies betrifft vor allem Pflanzen, die für die Gewinnung von Kohlenhydraten (Zucker und Stärke), Pflanzenölen und -wachsen sowie Proteinen angebaut werden.

## Kohlenhydrate liefernde Pflanzen

### Stärke liefernde Pflanzen

#### Rüben, Knollen, Wurzeln, Rhizome

- Kartoffel, Maniok, Knollenbohne, Batate, Yamswurzel, Knollen-Platterbse, Arakacha, Knolliger Sauerklee, Knollige Kapuzinerkresse, Ulluco, Ostindische Pfeilwurz, Pfeilwurz, Achira, Taro, Tannia, Weiße Seerose, Gelbe Teichrose, Chayote

#### oberirdischen Sprossachsen

- Sagopalme

#### Samen

- Getreidepflanzen

- Weizen (Dinkel, Emmer, Einkorn, Kamut), Gerste, Roggen, Hafer, Reis, Mais, Hirse, (Zwerghirse, Fingerhirse, Rispenhirse, Kutkihirse, Weizenhirse, Foniohirse, Perlhirse, Kolbenhirse, Mohrenhirse )
- Pseudozerealien
  - Buchweizen, Amarant, Quinoa, Stachelseerose

### **Samen im Fruchtfleisch**

Jackfruchtbaum, Okwabaum, Brotnussbaum

### **Zucker liefernde Pflanzen**

(siehe Artikel Zuckerpflanze)

- Zuckerrohr, Zuckerrübe, Zuckerhirse, Zucker-Ahorn, Walddattelpalme, Honigpalme, Zuckerpalme, Palmyrapalme,

### **Inulin liefernde Pflanzen**

- Topinambur, Zichorie, Löwenzahn, Dahlie

### **Protein liefernde Pflanzen**

Linse, Kichererbse, Juckbohne

### **Proteinreiche Samen**

- Puffbohne, Feuerbohne, Buschbohne, Limabohne (Mondbohne), Teparybohne, Urbohne, Mungbohne (Lunjabohne), Mottenbohne, Adzukibohne, Augenbohne (Kuhbohne), Reisbohne, Helmbohne, Pferdebohne, Erbsenbohne, Jackbohne, Schwertbohne, Goabohne, Samtbohne (*Mucuna argyrophylla*)
- Sojabohne, Gartenerbse, Linse, Kichererbse, Juckbohne, Maramabohne
- **Erdfrüchtige Leguminosen**
- Erdnuss, Erderbse, Erbbohne

### **Öl liefernde Pflanzen**

- Raps, Sonnenblume, Lein, Öldistel, Rizinus, Hanf

### **Sprossknollen**

- Erdmandel

### **Fruchtfleisch**

- Ölpalme, Olivenbaum, Avocado

### **Samen**

- Sojabohne, Raps, Rübsen, Sesam, Baumwolle, Lein, Schlafmohn, Ricinus, Tungölbaum, Oiticicabaum, Erdnuss, Cannabis sativa, Gemeine Hasel, Lambertshasel, Rotbuche, Mais, Sonnenblume, Kokospalme, Ölpalme, Babassupalme, Mandelbaum, Kakaobaum, Schibutterbaum, Walnuss, Arganie, Talerkürbis, Kemirinussbaum, Distel, Crambe, Purgiernuss

## Gemüse und Salat liefernde Pflanzen

### Algengemüse und Pilze

- **Wild wachsende Pilze**
- Silberrohr, Judasohr (Ohrlappenzpilz), Speisemorchel, Spitzmorchel, Hohe Morchel, Krause Glucke, Pfifferling, Herbsttrompete, Semmelstoppelpilz, Schafporling, Trüffel, Sommertrüffel, Burgundertrüffel, Kalahari-Trüffel, Löwentrüffel, Perigordtrüffel, Piemont-Trüffel, Weißer Trüffel, Wintertrüffel.
- Goldröhrling, Butterröhrling, Kuhröhrling, Sandröhrling, Ziegenlippe, Rotfußröhrling, Maronenröhrling, Steinpilz, Birkenröhrling, Eichenrotkappe, Espenrotkappe, Birkenrotkappe, Elfenbeinröhrling, Flockenstieliger Hexenröhrling, Körnchenröhrling.
- Brätling, Edelreizker, Apfeltäubling, Frauentäubling, Grünfeldriger Täubling, Lilagrüner Täubling, Speisetäubling, Hallimasch, Grünling, Mairitterling, Erdritterling, Violetter Rötleritterling, Grauer Ritterling, Samtfußrübling, Knoblauchschildling, Nelkenschwindling, Wiesenschwindling, Austernseitling, Parasol, Safranschirmling, Perlpilz, Anischampignon, Wiesenchampignon (Feldegerling), Waldchampignon, Schafchampignon, Schopftintling, Stockschwämmchen.
- **In Kultur genommene Pilze**
- Zuchtchampignon, Stockschwämmchen, Chinesisches Stockschwämmchen, Shiitake, Samtfußrübling, Austernseitling, Judasohr (Ohrlappenzpilz), Reisstrophpilz, Silberrohr, Riesenträuschling (Kulturträuschling), Schopftintling.

### Wurzelgemüse

- Haferwurzel, Möhre, Karotte, Pastinak, Gemeine Nachtkerze, Rettich, Schwarzwurzel, Weiße Rübe, Wurzelpetersilie

### Knollengemüse

- Kohlrübe, Radieschen, Kerbelrübe, Knollensellerie, Kohlrabi, Knollenziest

### Zwiebelgemüse

- Küchenzwiebel, Porree, Gemüsefenchel, Spargel, Bambussprosse, Palmsprosse

### Blattstielgemüse

- Rübsteiel, Meerkohl, Bleichsellerie, Cardy, Gemeiner Rhabarber

### Blattgemüse und Blattsalate

- Weißkohl, Rotkohl, Wirsing, Rosenkohl, Chinakohl.
- Gartenkresse, Brunnenkresse, Bittere Kresse, Winterkresse, Löffelkresse, Kapuzinerkresse.
- Kopfsalat, Schnittsalat, Römischer Salat, Spargelsalat, Winterendivie, Chicorée, Löwenzahn, Feldsalat
- Spinat, Gartenmelde, Mangold, Garten-Ampfer, Sauerampfer, Wasserspinat, Neuseeländer Spinat, Baumspinat (Chaya, Cnidoscolus chayamansa), Chayote

**Blütenstände als Gemüse**

- Blumenkohl, Brokkoli, Romanesco, Artischocke

**Samengemüse**

- Esskastanie, Wasserkastanie

**Fruchtgemüse**

- Okra, Tomate, Baumtomate, Eierfrucht (Aubergine), Gemüsepaprika, Gurke (Einlege- und Schlangengurke), Gartenkürbis, Riesenkürbis, Moschuskürbis, Chayote, Flaschenkürbis, Balsambirne.

**Obst****Samenobst**

- Pinie, Zirbelkiefer, Edelkiefer, Mexikanische Nußkiefer, Neosiakiefer, Schmucktanne, Brasilkiefer, Bunya-Bunya-Baum, Ginkgobaum
- Queenslandnuß, Australische Haselnuss, Paranussbaum, Mandelbaum, Walnussbaum, Pekannussbaum, Echte Pistazie
- Haselnuss, Lambertsnuss, Baumhasel, Lotosblume
- Granatapfelbaum, Purpurgrenadill, Curuba, Durianbaum, Akipflaume, Litschi, Rambutan, Mangostane
- Acajubaum,

**Fruchtoobst**

- **Zitrusfrüchte:** Orange, Mandarine, Grapefruit, Pampelmuse, Zitrone, Zitronatzitrone, Saure Limette, Bitterorange, Kumquat,
- **Steinobst:** Sauerkirsche, Süßkirsche, Kirschpflaume, Schlehdorn, Zwetschge, Aprikose, Pfirsich, Kornelkirsche, Sanddorn, Schwarzer Holunder, Mangobaum, Barbadoskirsche, Chinesische Dattel
- **Kernobst:** Apfel, Birne, Quitte, Japanische Quitte, Mispel, Eberesche, Speierling, Elsbeere, Mehlbeere, Schwarze Apfelbeere, Japanische Wollmispel, Cherimoya
- **Beerenobst:** Guanabana, Netzannone, Zimtapfel, Asiatische Kermesbeere, Amerikanische Kermesbeere, Tamarinde, Stachelbeere, Schwarze Johannisbeere, Rote Johannisbeere, Amerikanische Heidelbeere, Heidelbeere, Kulturheidelbeere, Preiselbeere, Weinrebe, Mahonie, Melone, Wassermelone (Arbuse), Banane, Dattelpalmen, Melonenbaum, Bergpapaya, Babaco, Avocado, Guave, Erdbeerguave, Breiapfelbaum, Kakipflaume, Kiwifrucht, Kapstachelbeere, Birnenmelone, Feigenkaktus, Karambolabaum, Bilimbi
  - Himbeere, Schwarze Himbeere, Loganbeere, Brombeere, Moltebeere, Erdbeere, Hagebutte, Jostabeere
- Ananas, Feige, Maulbeere, Litchi, Longan, Rambutan

**Süßstoff liefernde Pflanzen**

- Süßholz, Süßkraut Stevia, Katemfe-Pflanze (*Thaumatococcus danielli*) -> Thaumatin,

**Gewürzpflanzen****Gewürzpflanzen, die vorwiegend ätherische Öle enthalten**

- Ingwer, Galgant, Kurkuma, Kalmus, Engelwurz, Zimtkassie, Lorbeerbaum, Weinraute, Dill, Garten-Kerbel, Schnittsellerie, Liebstöckel, Petersilie, Myrrhenkerbel, Portulak, Borretsch, Ysop, Zitronenmelisse, Pfefferminze, Basilikum, Majoran, Oregano, Rosmarin, Salbei, Bohnenkraut, Thymian, Eberraute, Wermut, Estragon, Beifuß, Lavendel, Gewürznelkenbaum, Safran, Echter Schwarzkümmel, Muskatnussbaum, Kardamom, Nelkenpfeffer,

Kümmel, Kreuzkümmel, Koriander, Fenchel, Anis, Echte Vanille, Sternanis, Wacholder

#### **Gewürzpflanzen, die vorwiegend scharf schmeckende Alkaloide enthalten**

- Cayennepfeffer / Chili, Pfeffer

#### **Gewürzpflanzen, die vorwiegend Senfölglykoside enthalten**

- Meerrettich, Meerrettichbaum, Kapernstrauch, Weißer Senf, Schwarzer Senf

#### **Schwefelhaltige Gewürzstoffe in *Allium*-Arten**

- Schalotte, Knoblauch, Winterzwiebel, Schnittlauch, Bärlauch, Küchenzwiebel, Porree, Winterzwiebel, Knoblauch-Schnittlauch

#### **Gewürzpflanzen, mit säuerlich schmeckenden Stoffen**

- Tripmadam, Sauerklee, Sauerampfer

#### **Gewürzpflanzen, die vorwiegend Bitterstoffe enthalten**

- Alant, Chinarindenbaum, Bitterdistel, Hopfen

#### **Cumarinhaltige Gewürzpflanzen**

- Echter Steinklee, Waldmeister, Tonkabohnenbaum

#### **Gewürzpflanzen mit anderen Inhaltsstoffen**

- Bibernelle, Schabzigerklee, Bockshornklee,

### **Genussmittelpflanzen**

#### **Coffein- und theobrominhaltige Pflanzen**

- Kaffeestrauch, Teestrauch, Kakaobaum, Kolabaum, Mate-Strauch, Guaraná

#### **Nikotinhaltige Pflanzen**

- Tabak
-

## **Drogenpflanzen**

- Cannabis, Peyote, Kokastrauch, Schlafmohn

## **Futterpflanzen**

### **Futtergräser**

- Wiesen-Fuchsschwanz, Glatthafer, Wehrlose Trespe, Mais, Knaulgras, Wiesen-Schwingel, Rohrglanzgras, Wiesen-Lieschgras

### **Futterleguminosen**

- Luzerne, Klee, Hornklee, Esparsette, Futterwicke, Weißer Steinklee, Lupine

### **Sonstige Futterpflanzen**

- Runkelrübe, Topinambur

## **Gründungspflanzen**

Phacelia

## **Technisch genutzte Pflanzen**

### **Fasern liefernde Pflanzen (Faserpflanzen)**

#### **Fasern aus Haaren**

- Baumwolle, Kapokbaum

#### **Fasern aus Sprossachsen**

- Faserlein, Nutzhanf, Fasernessel, Ramiepflanze, Jute, Abacá

#### **Fasern aus Blättern**

- Manilahanf, Agave, Neuseeländischer Flachs, Zwergpalme, Curauá

#### **Fasern aus Früchten**

- Kokos

## **Holz liefernde Pflanzen**

### **Außereuropäische Nadelhölzer**

- Flusszeder, Gelbkiefer, Mammutbaum, Hemlockstanne, Virginischer Sadebaum, Sumpfkiefer, Afrikanische Bleistiftzeder

### **Außereuropäische, besondere tropische Laubhölzer**

- Balsaholz, Abachai, Senbaum, Honduras-Mahagoni, Limba, Echtes Mahagoni, Iroko, Gelbbirke, Teakbaum, Zuckerbirke, Gambia-Mahagoni, Makoré, Filzige Hickory, Palisander, Rio-Palisander, Eisenholz, Ebenholzbaum, Pockholzbaum
-

**Holz von Monocotylen**

- Bambus, Rattan

**Kork liefernde Pflanzen**

- Korkeiche

**Gerbstoff liefernde Pflanzen**

- Eiche
- Fichte

**Kautschuk, Naturharze, Balsame und Lack liefernde Pflanzen**

- Kautschukbaum, Guttaperchabaum, Balatbaum, Kaugummibaum

**Wachs liefernde Pflanzen**

- Balsamtanne, Mastixstrauch, Pockenholzbaum, Kaurifichte, Lacksumach, Carnaubapalme, Jojoba, Wachsfeigenbaum

**Farbstoffe liefernde Pflanzen (Färberpflanzen, Färbepflanzen)**

- Annattostrauch, Brasilholz, Blauholzbaum, Färbereiche, Hennastrauch, Indigostrauch, Rukustrauch, Perückenstrauch, Gelbholz, Sandelholz
- Färberwaid, Färberkrapp, Färberwau, Safranwurzel, Färberdistel, Färberkamille, Färberscharte, Kermesbeere, Rainfarn, Stockrose, Wiesenlabkraut, Schminkwurz (*Alkanna tinctoria*)

**Insektizide liefernde Pflanzen**

- Tubawurzel (*Derris elliptica*), Barbascowurzel (*Lonchocarpus urucu*), Bitterholzbaum (*Quassia amara*), Bauerntabak (*Anabasin*), Tabak, Niembaum, Chrysanthenen (Insektizid: Pyrethrum)

**Energie und Kraftstoffe liefernde Pflanzen**

Biogas, Alkohol, Biodiesel, Öl und weitere Bioenergieträger aus Energiepflanzen;

- Energiemais, Kreuzblättrige Wolfsmilch, Kopaivabaum, Eucalyptus, Raps, Purgiernuss, Zuckerrohr, Jojoba, Riesen-Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*, Elefantengras),

## Arzneipflanzen

### Alkaloide als Hauptwirkstoffe enthaltende Pflanzen

#### Alkaloide acyclisch oder carbocyclisch

- Hirtentäschelkraut, Stinkender Gänsefuß, Geißbraute, Walliser Meerträubel, Spanischer Pfeffer

#### Alkaloide heterocyclisch

- Gefleckter Schierling, Hundspetersilie, Wasser-Spleiße, Taumel-Lolch, Virginischer Tabak, Weißer Diptam, Tollkirsche, Bilsenkraut, Stechapfel, Glocken-Bilsenkraut, Besenginster, Gelbe Lupine, Goldregen, Färber-Ginster, Schlafmohn, Schöllkraut, Hohler Lerchensporn, Echter Erdrauch, Berberitze, Mutterkornpilz, Weißer Germer, Schwarzer Nachtschatten, Bittersüßer Nachtschatten, Echter Sturmhut, Gelber Sturmhut, Feld-Rittersporn, Buchsbaum, Eibe, Betäubender Kälberkropf, Beinwell, Echte Hundszunge, Kolben-Bärlapp, Tannen-Bärlapp

### Glycoside als Hauptwirkstoffe enthaltende Pflanzen

#### Pflanzen mit Senfölglycosiden

- Schwarzer Senf, Weißer Senf, Echtes Löffelkraut, Brunnenkresse, Knoblauchsrauke, Winter-Rettich

#### Pflanzen mit Blausäureglycosiden

- Echte Mandel, Kirschlorbeer, Traubenkirsche

#### Pflanzen mit Anthra-Glycosiden

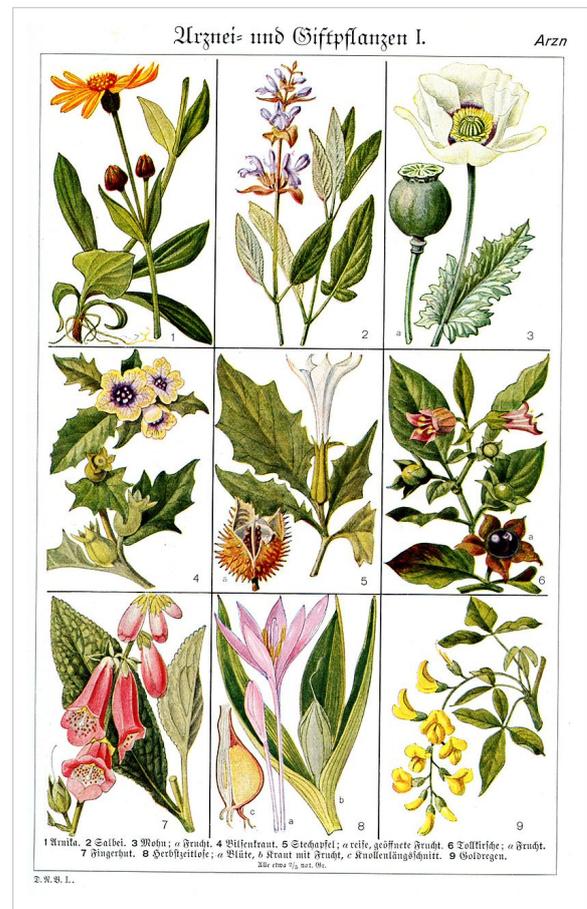
Aloe (*Aloe ferox*, Liliaceae); Faulbaum (*Rhamnus frangulae*, Rhamnaceae); Cascarrinde (*Rhamnus purshianus*, Rhamnaceae); Rhabarber (*Rheum palmatum*, Polygonaceae);

#### Pflanzen mit Emodin-Glycosiden

- Faulbaum, Kreuzdorn, Chinesischer Rhabarber, Rhapontik

#### Pflanzen mit Di- und Trioxanthrachinon-Glycosiden

- Färberröte



**Pflanzen mit Herzglykosiden**

- Roter Fingerhut, Gelber Fingerhut, Großblütiger Fingerhut, Wolliger Fingerhut, Maiglöckchen, Frühlings-Teufelsauge, Schwarze Nieswurz, Grüne Nieswurz, Oleander, Bunte Kronwicke, Goldlack

**Pflanzen mit Saponinen**

- Seifenkraut, Echte Schlüsselblume, Bittere Kreuzblume, Kornrade, Einbeere, Alpenveilchen, Efeu, Gewöhnliche Goldrute, Feld-Mannstreu, Stiefmütterchen, Wohlriechendes Veilchen, Sandbirke, Ausdauerndes Bingelkraut, Rosskastanie, Spargel, Echter Schwarzkümmel, Türkischer Schwarzkümmel, Braunwurz, Hafer, Mais, Waschnussbaum

**Pflanzen mit Phenolglycosiden**

- Bärentraube, Preiselbeere, Silberweide, Echtes Mädesüß, Echte Goldrute

**Pflanzen mit Cumaringlycosiden**

- Echter Steinklee, Waldmeister, Wohlriechendes Ruchgras, Horn-Labkraut, Esche

**Pflanzen mit Flavonglycosiden (Flavonpflanzen)**

- Heidekraut, Schlehe, Färber-Wau, Sanddorn, Sonnenblume, Echtes Leinkraut, Skabiosen-Flockenblume

**Pflanzen mit Indoxylglycosiden**

- Färber-Waid

**weitere Glycoside enthaltende Arzneipflanzen**

- Gnadenkraut, Rotfrüchtige Zaunrübe, Weiße Zaunrübe, Echte Zaunwinde, Schwalbenwurz, Seidenpflanze, Eisenkraut, Safran, Blut-Weiderich

**Gerbstoffe als Hauptwirkstoffe enthaltende Pflanzen**

- Sommer-Eiche, Winter-Eiche, Ruhrwurz, Schlangen-Knöterich, Heidelbeere, Kleiner Odermennig, Großer Wiesenknopf, Wald-Erdbeere, Brombeere, Wiesen-Frauenmantel, Sumpf-Blutauge, Hunds-Rose, Himbeere, Bach-Nelkenwurz, Echte Nelkenwurz, Wiesen-Storchschnabel, Wald-Storchschnabel, Kriechender Günsel, Schwarznessel, Kleine Brunelle, Heil-Ziest, Gundelrebe, Garten-Salbei, Acker-Skabiose, Sumpf-Herzblatt, Zweijährige Nachtkerze, Wald-Weidenröschen, Wassernuss, Echte Hauswurz, Wiesen-Flockenblume, Schwarz-Erle, Feld-Ulme, Walnussbaum, Edelkastanie, Essigbaum.

**Ätherische Öle als Hauptwirkstoffe enthaltende Pflanzen**

- Sand-Kiefer, Wacholder, Sadebaum, Abendländischer Lebensbaum, Rainfarn, Mutterkraut, Garten-Salbei, Wermut, Gemeiner Beifuß, Eberraute, Echter Alant, Wohlriechender Gänsefuß, Haselwurz, Kalmus, Sumpfporst, Arnika, Garten-Ringelblume, Erzengelewurz, Wald-Engelwurz, Wiesen-Bärenklau, Echte Kamille, Römische Kamille, Schafgarbe, Echter Thymian, Feld-Thymian, Fenchel, Anis, Kümmel, Koriander, Meisterwurz, Pfefferminze, Polei-Minze, Bohnenkraut, Echter Dost, Majoran, Melisse, Lavendel, Rosmarin, Bach-Nelkenwurz, Echte Nelkenwurz, Petersilie, Liebstöckel, Lorbeerbaum, Gartenraute, Wasserpfeffer, Kanadisches Berufkraut, Dornige Hauhechel, Möhre, Echtes Johanniskraut, Schwarzer Holunder, Winter-Linde, Sommer-Linde, Echter Baldrian, Holunder-Baldrian, Kleiner Baldrian, Knoblauch, Bärlauch, Speise-Zwiebel

### **Stickstofffreie Bitterstoffe oder andere N-freie organische Substanzen Hauptwirkstoffe enthaltende Pflanzen**

- Gelber Enzian, Echtes Tausendgüldenkraut, Bitterklee, Benediktenkraut, Wegwarte, Weißer Andorn, Wasserschierling, Rosmarinheide, Gift-Lattich, Hopfen, Hanf, Wurmfarne, Dorniger Schildfarn, Wald-Frauenfarn, Zypressen-Wolfsmilch, Kuhschellen, Scharfer Hahnenfuß, Gift-Hahnenfuß, Knolliger Hahnenfuß, Sumpf-Dotterblume, Trollblume, Aufrechte Waldrebe, Echte Waldrebe, Christophskraut, Becher-Primel, Gift-Sumach, Große Brennnessel, Seidelbast, Eberesche, Zweigriffeliger Weißdorn, Eingriffeliger Weißdorn, Wiesen-Lein, Löwenzahn, Deutscher Bertram, Bleicher Schöterich

### **Stickstoffhaltige, nichtalkaloidische, nichtglycosidische Hauptwirkstoffe enthaltende Pflanzen**

- Osterluzei, Herbstzeitlose, Mistel, Robinie, Gartenbohne

### **Schleimstoffe als Hauptwirkstoffe enthaltende Pflanzen**

- Manns-Knabenkraut, Echter Eibisch, Stockrose, Wilde Malve, Große Königskerze, Huflattich, Echtes Lungenkraut, Isländisches Moos, Deutsche Schwertlilie, Gemeiner Lein (Samen), Bockshornklee, Wildapfel (Holzapfel)

### **Organische Säuren als Hauptwirkstoffe enthaltende Pflanzen**

- Sauerampfer, Himbeere, Weinrebe

### **Anorganica als Hauptwirkstoffe enthaltende Pflanzen**

- *Kieselsäurepflanzen*: Acker-Schachtelhalm, Vogel-Knöterich, Gelber Hohlzahn, Echter Steinsame, Sand-Segge, Kanariengras
- *Jodpflanzen*: Blasentang, Brunnenkresse
- *Salzpflanzen*: Kali-Salzkraut, Queller
- *Radium speichernde Pflanzen*: Kleine Wasserlinse

### **Vitamine als Hauptwirkstoffe enthaltende Pflanzen**

- Hunds-Rose, Schwarze Johannisbeere

### **Chemisch wenig oder nicht erforschte Hauptwirkstoffe enthaltende Pflanzen**

- Gemeine Heckenkirsche, Roter Holunder, Zwerg-Holunder, Gemeiner Schneeball, Rainweide, Rotbuche, Blasenstrauch, Stechpalme, Pfaffenhütchen, Gefleckter Aronstab, Schlangenkraut, Mauerpfeffer, Trunkelbeere, Mariendistel, Sand-Strohblume, Gemeines Katzenpfötchen, Wasserdost, Artischocke, Wiesen-Kerbel, Gänse-Fingerkraut, Rundblättriger Sonnentau, Ufer-Wolfstrapp, Echtes Herzgespann, Gartenkürbis, Tüpfelfarn, Buchweizen, Kicherling

## Pilze mit Arznei- oder Giftstoffen

- Grüner Knollenblätterpilz, Weißer Knollenblätterpilz, Frühlings-Knollenblätterpilz, Gelber Knollenblätterpilz, Fliegenpilz, Pantherpilz, Ziegelroter Risspilz, Frühjahrslorchel, Satanspilz, Speitäubling, Birkenreizker, Fleischroter Schirmling
- Heilpilze, sogenannte Vitalpilze: Schopftintling/Spargelpilz (*Coprinus comatus*), Klapperschwamm/Laubporling/Maitake (*Grifola frondosa*), Glänzender Lackporling/Reishi/Ling Zhi (*Ganoderma lucidum*), Shiitake/Pasaniapilz (*Lentinula edodes*), Judasohr/Holunderschwamm/Mu err (*Auricularia polytricha* oder *A. auricula-judae*), Eichhase (*Polyporus umbellatus*), Igelstachelbart/Affenkopfpilz/Pompom blanc (*Hericium erinaceus*), Mandelpilz/brasilianischer Mandelegerling (*Agaricus subrufescens* oder *A. blazei murrill*), Raupenpilz/chinesischer Raupenpilz (*Cordyceps sinensis* oder *Ophiocordyceps sinensis*), Schmetterlingstramete/Schmetterlingsporling (*Trametes versicolor* oder *Coriolus versicolor*)<sup>[1]</sup>

## Siehe auch

- Gemüse, Liste der Gemüse
- Obst
- Jäger und Sammler für die Zeit als das unmittelbare Nutzung von Wildpflanzen (neben Wildtieren) Grundlage des menschlichen Lebens waren.
- Wurfholz als Beispiel für eine besonders alte Nutzung von Pflanzen, hier Holz, als Werkzeug

## Literatur

Allgemeines:

- Joachim Breschke (Hrsg.): *Nutzpflanzen*. Rastatt, Moewig, 1991, ISBN 3-8118-8379-8
- Wolfgang Franke: *Nutzpflanzenkunde. Nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen*. 6. Auflage. Thieme, Stuttgart 1997, ISBN 3-13-530406-X
- Ernst Klapp: *Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaus*. Parey, Berlin 1951
- Ghilleen Prance (Hrsg.): *The Cultural History of Plants*. Routledge, New York 2005, ISBN 0-415-92746-3
- W. Rauh: *Morphologie der Nutzpflanzen*. 2. Auflage. Quelle und Meyer, Heidelberg 1950

Nutzpflanzen, spezielles:

- Ilse Esdorn, Helmut Pirson: *Die Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen in der Weltwirtschaft*. Fischer, Stuttgart 1973
- Heinrich Marzell: *Wörterbuch der deutschen Pflanzennamen*. Hirzel, Leipzig 1943-1979 (5 Bände)
- Udelgard Körber-Grohne: *Nutzpflanzen in Deutschland. Kulturgeschichte und Biologie*. 2. Auflage. Theiss, Stuttgart 1988, ISBN 3-8062-0481-0
- Gunther Franke: *Spezieller Pflanzenbau*. Ulmer, Stuttgart 1994, ISBN 3-8252-1769-8 (Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen, Band 3)
- Diedrich Westermann: *Die Nutzpflanzen unserer Kolonien und ihre wirtschaftliche Bedeutung für das Mutterland*. Reimer, Berlin 1909
- W. Zorn, H. Heß, G. Marks, W. Bergmann: *Handbuch zur visuellen Diagnose von Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen*. Spektrum, Heidelberg 2006, ISBN 3-8274-1669-8

Nahrungs und Gewürzpflanzen:

- Ben-Erik van Wyk: *Handbuch der Nahrungspflanzen*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart 2005, ISBN 3-8047-2246-6
- Eberhard Teuscher: *Gewürzdrogen. Ein Handbuch der Gewürze, Gewürzkräuter, Gewürzmischungen und ihrer ätherischen Öle*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart 2003, ISBN 3-8047-1867-1

**Wirtschaftspflanzen:**

- Horst Mielke: *Anbau und Pflanzenschutz nachwachsender Rohstoffe. Eiweiß-, Öl-, Färber-, Inulin- und Faserpflanzen*. In: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin und Braunschweig (Hrsg.): *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*. Parey, Berlin 2004, ISBN 3-930037-11-4

Arzneipflanzen: Gerhard Orzechowski (Hrsg.), Otto Gessner: *Gift- und Arzneipflanzen von Mitteleuropa*. 3. Auflage. Winter, Heidelberg 1974, ISBN 3-533-02372-9

- H. H. Hart: *Zier- und Nutzpflanzen in der Naturmedizin*. Neff, Rastatt 1993, ISBN 3-8118-5835-1
- Friedrich Losch: *Kräuterbuch. Unsere Heilpflanzen in Wort und Bild*. 3. Auflage. Schreiber, Esslingen 1916
- Ben-Erik van Wyk, Coralie Wink, Michael Wink: *Handbuch der Arzneipflanzen*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart 2004, ISBN 3-8047-2069-2

**Weblinks**

- <http://www.nutzpflanzenvielfalt.de/-Verein>
- <http://www.loki-schmidt-haus.de/> Loki Schmidt Haus, Museum für Nutzpflanzen, Universität Hamburg
- Fachinformationszentrum: Bereichsbibliothek Ernährung, Umwelt und Agrarwissenschaften, Bonn <sup>[2]</sup>
- Giftstoffe in Nahrungspflanzen <sup>[3]</sup>
- Kultivierung von tropischen Nutzpflanzen in Deutschland, Österreich und der Schweiz <sup>[4]</sup>
- Schweizer Exoten-Handel mit Lexikon <sup>[5]</sup>
- Nutzpflanzenvielfalt aus aller Welt <sup>[6]</sup>
- Nutzpflanzen-Datenbank der Universität Marburg <sup>[7]</sup>

**Referenzen**

- [1] Dr. Susanne Ehlers: *Chinesische Heilpilze*, Lübbe Verlag, 2003
- [2] [http://www.zbmed.de/bonn\\_service.html](http://www.zbmed.de/bonn_service.html)
- [3] [http://www.giftpflanzen.com/thema\\_nahrung.html](http://www.giftpflanzen.com/thema_nahrung.html)
- [4] <http://www.tropenland.at/>
- [5] <http://www.berriag.ch/menu.htm>
- [6] <http://www.ethno-botanik.org>
- [7] <http://online-media.uni-marburg.de/biologie/nutzpflanzen/suche.html>

---

- O -

---

## Ökologisches Bauen

---

**Ökologisches Bauen**, international auch als Grünes Bauen (engl.: *green building*) bezeichnet, ist vom Grundsatz geprägt, dass durch das Gebäude gegenwärtigen Bedürfnissen der Nutzer optimal entsprochen wird, ohne künftigen Generationen eine Nachnutzung aufzuzwingen oder Entsorgungsprobleme zu hinterlassen.

### Charakteristik

Das Gebäude soll sich in den natürlichen Stoffkreislauf eingliedern. Hier muss vor allem die Entsorgung eines nicht mehr benötigten Bauwerkes bedacht werden. Aber auch während des Betriebs muss es ressourcenschonend sein. Als wesentlich werden folgende Punkte erachtet:

- Ökologische Standortfindung (Infrastruktur, Verkehrserschließung, Landschaftsschutz)
- Verwendung von Baustoffen, deren Rohstoffgewinnung/Nutzung umweltverträglich ist und die einfach entsorgt werden können, idealerweise Biologische Abbaubarkeit sind und nach Möglichkeit ohne großen Energie- und Transportaufwand hergestellt wurden (Beschaffung regionaler Baustoffe)
- Vermeidung baubiologisch bedenklicher oder toxischer Stoffe
- Geringer Energieverbrauch während des Betriebes des Gebäudes
  - durch optimierte Nutzung der Sonnenenergie (Solararchitektur)
  - durch effiziente Wärmedämmung
  - durch einen Abgleich aus Bauphysik und Technischer Gebäudeausrüstung
  - durch den Einsatz effizienter Anlagentechnik
  - und durch die Deckung des Restenergiebedarfs durch erneuerbare Ressourcen wie Solarthermie und/oder Biogene Brennstoffe
- Klein gehaltene versiegelte (bebaute) Fläche und/oder Bauwerksbegrünung
- Nachhaltige Entwässerungstechnik, evtl. durch Trennung von Trink- und Brauchwasser, das zum Waschen oder Blumengießen verwendet wird (siehe auch Zisterne)
- Pflanzenkläranlagen und Naturschwimmbäder

Neben Wohngebäuden gibt es mittlerweile auch zahlreiche Beispiele für ökologische Büro- und Gewerbebauten. Darüber hinaus werden ökologische und nachhaltige Prinzipien auch im Siedlungsbau und in der Stadtplanung angewandt.



Beispielhaft für Ökologisches Bauen: Modernes Passivhaus in Strohballenbauweise mit Lehmputz und Holzfassade

## Konkrete Merkmale

Wenn man ökologisch bauen will, wird man letztlich jedes einzelne Produkt, das man beim Bauen verwendet, kritisch auf seine ökologischen Eigenschaften prüfen. Um als Bauherr nicht grenzenlos überfordert zu werden, empfiehlt es sich, das Ziel ökologisches Bauen gemeinsam mit dem Architekten oder dem Ingenieur zu verwirklichen.

Beispiele für wichtige Entscheidungen beim ökologischen Bauen sind:

- natürliche Baustoffe (Lehm, Ziegel, Natursteine aus der Umgebung, Holz, Strohballen), Pflanzen z. B. zur Dachbegrünung)
- natürliche Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (zum Beispiel Holzfaserdämmplatte, Flachsfaser, Hanffaser, Schafwolle, Stroh) oder Recyclingmaterial (z. B. Cellulose aus Altpapier)
- Anbringen einer sehr guten Wärmedämmung
- Naturfarbe (Anstrichmittel), Klebstoffe und Lacke auf Pflanzenbasis ohne Lösungsmittel
- mehrfachisolierte Fenster aus lokalen Hölzern statt Kunststoff
- möglichst umfassende Nutzung des Tageslichts für die Beleuchtung des Gebäudes (wo keine Fenster möglich sind, kann es mit Lichtleitsystemen – das heißt einem System aus Röhren und Spiegeln – an den Bestimmungsort geleitet werden)
- natürliche Bodenbeläge (z. B. Kork, Holzparkett aus regional gewachsenem Holz, Linoleum)
- Warmwassererzeugung mittels thermischer Solaranlage bei Bedarf ergänzt durch alternative Heizsysteme (z. B. Geothermie, Pelletheizung)
- Warmwasseranschluss für die Waschmaschine
- Nutzung des so genannten Grauwassers (Abwasser aus Badewanne, Dusche und Waschmaschine) für die Toilettenspülung, Nutzung des Regenwassers nach Grobfiltration zum Waschen der Wäsche. Dies bedeutet konkret ein Zweikammersystem (Grauwasser und Regenwasser werden separat aufgefangen. Das Regenwasser muss auch gefiltert werden oder man leitet das erste Regenwasser nach langer Trockenheit ab und nutzt das Regenwasser erst dann, wenn das Dach schon reingewaschen ist (nach längerem Regen)
- wenn die örtlichen Gegebenheiten dies Erlauben: Bau einer Pflanzenkläranlage, Nutzung der anfallenden Biomasse als Dünger im eigenen Garten, eine Alternative wäre der Bau einer solchen (Klein)-Kläranlage gemeinsam mit mehreren Nachbarn
- beim Bau von Mehrfamilienhäusern besonders wichtig: Schaffung von Möglichkeiten zur Mülltrennung, überdachte Fahrradstellplätze



Dachbegrünung – für Viele der Inbegriff von ökologischem Bauen

## Siehe auch

- Energiestandard (Gebäude)
- Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen
- Baubotanik

## Literatur

- Arwed Tomm: *Ökologisch planen und bauen*. Vieweg Verlag, 2000, ISBN 3-5282-8879-5.
- Detlef Glücklich: *Ökologisches Bauen. Von Grundlagen zu Gesamtkonzepten*. Deutsche Verlagsanstalt, 2005, ISBN 3-421-03541-5.
- Fred Ranft, Bernhard Frohn: *Natürliche Klimatisierung*. Birkhäuser Verlag, 2004, ISBN 3-7643-6939-6.

## Weblinks

- Informationsportal Nachhaltiges Bauen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung <sup>[1]</sup>
- Institut Bauen und Umwelt e. V. <sup>[2]</sup>
- Leitfaden für die Berechnung von Ökokennzahlen von Gebäuden <sup>[3]</sup>
- Themenportal Ökologisches Bauen des Goethe-Instituts <sup>[4]</sup>
- Wanderausstellung zum Bauen und Wohnen mit nachwachsenden Rohstoffen <sup>[5]</sup>, 2009-2011
- Vandana Baweja: *A Pre-history of Green Architecture: Otto Koenigsberger and Tropical Architecture, from Princely Mysore to Post-colonial London.* <sup>[6]</sup> (Diss.) University of Michigan, 2008

## Referenzen

- [1] <http://www.nachhaltigesbauen.de/>  
 [2] <http://bau-umwelt.de/>  
 [3] <http://www.ibo.at/de/oekokennzahlen.htm>  
 [4] <http://www.goethe.de/kue/arc/oba/deindex.htm>  
 [5] <http://www.bau-natour.de/>  
 [6] [http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/2027.42/60709/1/vbaweja\\_1.pdf](http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/2027.42/60709/1/vbaweja_1.pdf)

# Oleochemie

Die **Oleochemie** ist ein Zweig der Chemie, des sich mit dem Studium von pflanzlichen und tierischen Fetten, ihren Folgeprodukten, sowie mit den petrochemisch hergestellten Produktäquivalenten beschäftigt. Da die Oleochemie sich überwiegend mit der Chemie auf Basis nachwachsender Rohstoffe beschäftigt, ist sie auch eng mit dem Begriff der Nachhaltigkeit verknüpft.

Pflanzliche und tierische Fette werden in der Chemie als Triacylglyceride (Triglyceride) bezeichnet, da sie aus einem Glycerinrest bestehen, an den über Esterbindungen drei Fettsäurereste gebunden sind. Die Fettsäurereste bestehen dabei aus gesättigten, einfach oder mehrfach ungesättigten, unverzweigten oder verzweigten oder anders modifizierten Kohlenstoffketten mit etwa 10 bis 20 oder mehr Kohlenstoffatomen, so dass eine große Vielfalt vorhanden ist. Die Oleochemie beschäftigt sich mit diesen Verbindungen und daraus abgeleiteten Substanzen bzw. den entsprechenden chemischen Reaktionen und Herstellungsprozessen.

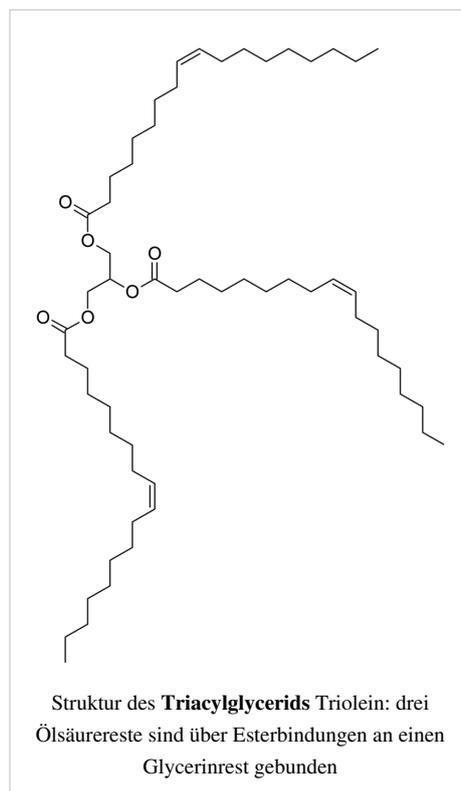
## Geschichte

Öle und Fette sind ein wichtiger und energiereicher Bestandteile der menschlichen Nahrung. Aber auch die stoffliche Verwendung ist historisch bedeutend. Als die erste oleochemische Anwendung der Öle und Fette kann die Herstellung von Seifen angesehen werden. Früh war auch schon die energetische Verwendung als Brennstoff für z.B. Öllampen bekannt.



Sonnenblumenöl, hier als Lebensmittel abgepackt, kann in der Oleochemie als Rohstoff dienen

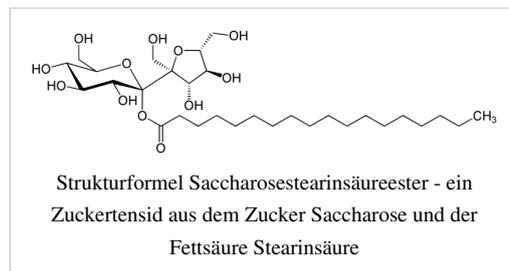
Im 19. Jahrhundert begann die moderne Oleochemie und es erfolgte eine systematische Untersuchung der Eigenschaften und der chemischen Reaktionen. Heutzutage ist die Oleochemie in vielen Bereichen des Lebens wie der Nahrungsmittelherstellung, der Kosmetik, der Pharmazie sowie für die Herstellung industrieller Grundchemikalien wie auch im Energiesektor bei der Herstellung des Biokraftstoffs Biodiesel vertreten. Ungefähr ein Siebtel der global hergestellten Menge an Ölen und Fetten wird oleochemisch verarbeitet.



## Anwendungen

Nachwachsende Rohstoffe decken momentan ca. 10 Prozent des Rohstoffsbedarfs der chemischen Industrie, davon ein großer Teil durch Oleochemikalien. Eine der mengenmäßig größten Anwendungen ist heutzutage die Herstellung von Biodiesel durch Umesterung mit Methanol.

Auch die Herstellung von Tensiden aus der Fettsäure Laurinsäure zu Natriumlaurylsulfat (nichtionische Tenside), einem wichtigen Inhaltsstoff in vielen Hautpflegeprodukten, ist ein großtechnischer Prozess. Bei Zuckertensiden (nichtionisches Tensid) wird die Fettsäure an einen Zucker gebunden. Andere Anwendungen sind die Herstellung von Schmierölen, Lösungsmitteln und [[Biopolymere|Bio-] und Copolymeren für den Kunststoff- und Lackbereich. Glycerin wird in vielfältiger Weise im Kosmetikbereich genutzt. Da es durch die Biodieselproduktion in großen Mengen verfügbar ist, wird es aber auch als Tierfutter, energetisch und anderweitig verwendet.<sup>[1]</sup>



## Chemische Prozesse

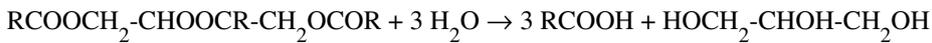
Oleochemie findet meist an der Carboxygruppe (-COOH) als funktionelle Gruppe der Fettsäuren statt. Bislang ist die Chemie der Fettsäurekette großtechnisch nur wenig genutzt. Der Erforschung könnte ein großes technisches Potential darstellen und wird durch Programme des Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) unterstützt.<sup>[2]</sup>

Die biogene Herkunft der Öle prädestiniert diese für die biotechnologische Umsetzung, die bislang ebenfalls nur wenig erforscht ist.

## Reaktionen an der Carboxygruppe

### Hydrolyse

Durch Hydrolyse von Triglyceriden erhält man Fettsäuren und Glycerin:

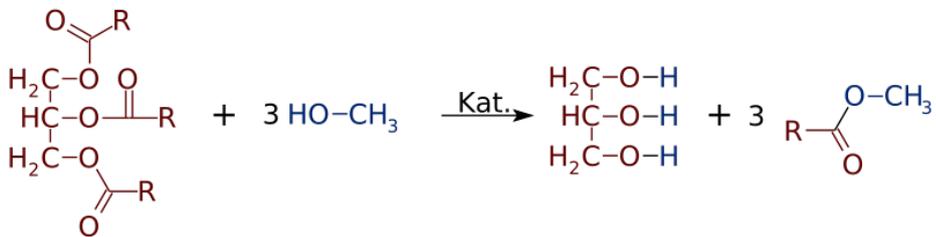


Die Reaktion wird in der Regel basenkatalysiert durchgeführt. Die Chemie der Fettsäuren ist vielfältig. Sie umfasst die Herstellung von Nitrilen und deren Folgeprodukte, Fettsäureamiden oder Säurechloriden.

### Umesterung

(siehe auch Artikel Biodiesel)

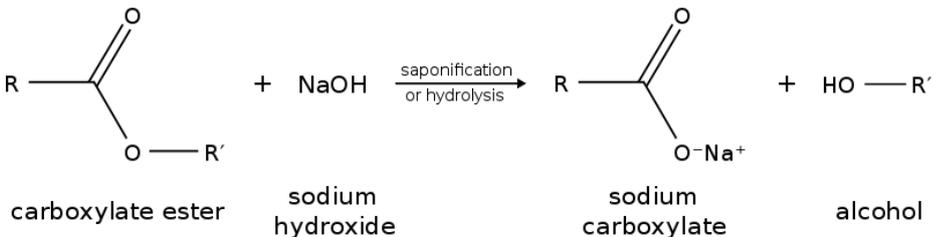
Die Reaktion der Fette und Öle mit einem Alkohol nennt man Umesterung. Der Prozess wird großtechnisch zur Produktion von Biodiesel eingesetzt. Auch diese Reaktion wird in der Technik basenkatalysiert durchgeführt. Als Produkt entstehen bei vollständiger Umsetzung aus einem Triacylglycerid drei Fettsäuremethylester (FAME), aus denen Biodiesel besteht, sowie als Koppelprodukt ein Molekül Glycerin.



Die entstehenden Methylester der ungesättigten Fettsäuren können eine breite Palette von Folgereaktionen, wie der Hydrierung, der Metathese sowie der Epoxidierung, eingehen.<sup>[3] [4] [5]</sup>

### Verseifung

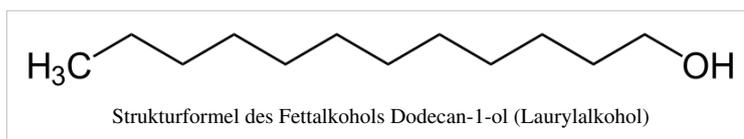
Die Verseifung ist einer der ältesten bekannten chemischen Prozesse der Menschheit und wurde schon von den Sumerern verwendet. Dabei wird das Triglycerid mit einer Base zum Metallsalz der Fettsäure umgesetzt. Diese so erhaltene Seife zählt zu den anionischen Tensiden. *R* steht für den Fettsäurerest, *R'* für den Glycerinrest:



## Hydrierung

(siehe Artikel Hydrierung)

Durch Hydrierung der Methylester gelangt man zu Fettalkoholen, die eine wichtige Rolle als Rohstoff für die Herstellung anionischer Tenside darstellen. Durch Ethoxylierung und anschließender Sulfatierung mit gasförmigen Schwefeltrioxid gelangt man zu Laurylethersulfaten, die in der Herstellung von Körperpflegemitteln eingesetzt werden.



Eine weitere Anwendung der Fettalkohole ist die Herstellung der Alkylpolyglycoside, einem Tensid mit einem Zuckerrest (ein Zuckertensid) als hydrophile Gruppe.<sup>[6]</sup>

## Reaktionen an der Kohlenstoffkette

### Metathese

Durch Metathese von ungesättigten Fettsäureestern gelangt man zu einer breiten Palette von Folgeprodukten, wie beispielsweise ungesättigten Dicarbonsäureestern und internen Olefinen.<sup>[7]</sup> Durch Ethenolyse sind  $\omega$ -ungesättigte Fettsäureester zugänglich, mit  $\alpha$ -Olefinen als Beiprodukt. Diese beiden Produkte können wiederum als Komponente in die Co-Polymerisations-Komponente bei der Polymerisation von Ethylen nach dem Ziegler-Natta-Verfahren eingesetzt werden und so zu funktionalisierten Polyethylen führen.

### Epoxidierung

Ungesättigte Methylester lassen sich durch die Prileschajew-Reaktion mit einer organischen Peroxycarbonsäure epoxidieren und können als PVC-Stabilisatoren oder als reaktives Lösungsmittel in der Lack-Chemie eingesetzt werden.

## Petrochemische Prozesse

Die Oleochemie befasst sich auch mit der Herstellung von Oleochemikalien auf petrochemischer Basis. Ein Beispiel hierfür ist die Herstellung von Glycerin aus Propylen über die Stufen des Allylchlorids, Dichlorhydrin und Epichlorhydrin, welches mit Natronlauge zu Glycerin umgesetzt werden kann.

## Weblinks

- Homepage der APAG<sup>[8]</sup>

## Literatur

- *Lipide als Funktionelle Lebensmittel*, von Siegfried Warwel, Nikolaus Weber, Landwirtschaftsverlag, 2002, ISBN 3784304958, ISBN 978-3784304953

## Siehe auch

Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaft

## Referenzen

- [1] Deutsche Melasse Handelsgesellschaft mbH (DMH): *Was ist Glycerin?* (<http://www.deutsche-melasse.de/Glyzerin.125.0.html>), Informationsseite, abgerufen am 11. Februar 2010
- [2] Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe Programm des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz ([http://www.nachwachsende-rohstoffe.de/cms35/fileadmin/fnr/pdf/Brosch\\_Foerderprogramm7\\_BMELV.pdf](http://www.nachwachsende-rohstoffe.de/cms35/fileadmin/fnr/pdf/Brosch_Foerderprogramm7_BMELV.pdf))

- [3] Siegfried Warwel: *Metathese in der Oleochemie* ([http://www.abiosus.org/docs/1.6\\_Warwel\\_Metathese.pdf](http://www.abiosus.org/docs/1.6_Warwel_Metathese.pdf))
- [4] Mark Rüschen gen. Klaas: *Epoxidierte Fettsäuren und Triglyceride in Aktuelle Wochenschau* (<http://www.aktuelle-wochenschau.de/2008/woche38/woche38.html>)
- [5] Handbook Vegetable Oil Ester ([http://www1.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh/pdfs/Handbook\\_Vegetable\\_oel\\_Ester.pdf](http://www1.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh/pdfs/Handbook_Vegetable_oel_Ester.pdf))
- [6] Alkylglucoside - Tenside aus Zucker und Pflanzenöl bei spektrum.de (<http://www.spektrum.de/artikel/821617>)
- [7] C. Boelhouwer et al., Chem. Commun. 1972, 1221+
- [8] <http://www.apag.org/>

## Ölertrag

Der **Ölertrag** ist ein Maß für die landwirtschaftliche Produktion von Pflanzenöl auf einer Anbaufläche innerhalb eines bestimmten Zeitraums, bezogen auf eine bestimmte Pflanzenart. Er ist abhängig vom Flächenertrag und dem Ölgehalt der Pflanze. Diese wiederum werden unter anderem von den Vegetationsbedingungen (z. B. Boden- und Klimaverhältnisse), der Anbauweise sowie der Saatsorte und -qualität bestimmt.

Meistens wird der Ölertrag in Tonnen pro Hektar (t/ha) im Jahr oder Liter pro Hektar im Jahr angegeben. So beträgt der z. B. Ölertrag von Raps 1200 bis 1400 l/ha im Jahr, der Ölertrag von Hanf beträgt 180 bis 350 l/ha im Jahr.

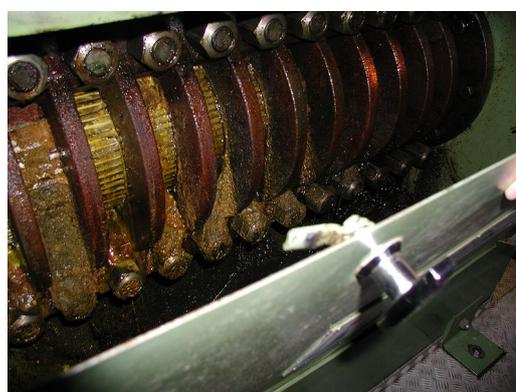
Der Ölertrag ist eine wichtige Zielgröße beim landwirtschaftlichen Anbau von Ölpflanzen, da er den ökonomischen Ertrag wesentlich beeinflusst. Neben der ökonomischen Relevanz dient der Ölertrag auch zur Einschätzung der Flächeneffizienz des Pflanzenbaus, die vor allem bei zunehmender Flächenkonkurrenz an Bedeutung gewinnt. Bei der Nutzung von Pflanzenöl als nachwachsender Rohstoff für Bioenergie (z.B. als Pflanzenöl-Kraftstoff oder Biodiesel) tritt neben dem Ölertrag der Energieertrag, der den Vergleich mit anderen Energiepflanzen ermöglicht.

## Ölmühle

Eine **Ölmühle** ist die Produktionseinrichtung zur Herstellung von Pflanzenöl aus Ölsaaten und -früchten. Bei den Rohstoffen wird unterschieden zwischen Ölpflanzen, bei denen das Fruchtfleisch genutzt wird (z. B. Olivenbaum, Ölpalme) und Ölfrüchten, bei denen die Samen genutzt werden (Soja, Sonnenblumen, Raps). Ölmühlen verarbeiten die Rohstoffe zu Ölen und Fetten sowie Ölschrot (Presskuchen). Verwendet werden die Pflanzenöle als Lebensmittel und Futtermittel wie auch im technischen Bereich (Oleochemie, Biokraftstoffe).

### Zentrale und dezentrale Ölmühlen

Pflanzenöle werden durch das Auspressen von Pflanzenteilen gewonnen. Produziert wird das Pflanzenöl in zentralen oder dezentralen Ölmühlen. *Zentrale Ölmühlen* verarbeiten bis zu 4.000 t Ölsaaten pro Tag in Verfahren der Heißpressung und ggf. einer anschließenden Extraktion. Die Ölausbeute der industriell arbeitenden Anlagen ist hoch. Die tägliche Verarbeitungskapazität *dezentraler Ölmühlen* dagegen liegt zwischen 0,5 bis 25 t Ölsaaten. Die Saaten werden kalt gepresst (Kaltpressung), dabei entsteht natives Pflanzenöl. Die Ölausbeute der in der Regel im landwirtschaftlichen Umfeld arbeitenden Einrichtungen ist geringer, bei höheren Restfettgehalten im Presskuchen.<sup>[1]</sup>



Blick in die geöffnete Seihersstab-Schneckenpresse einer dezentralen Ölmühle.

## Verfahren

Die Produktionsprozesse der zentralen und der dezentralen Ölgewinnung unterscheiden sich wesentlich. Zentrales Element bei beiden ist jedoch die Pressung (Schneckenpresse oder Seihstabs-Schneckenpresse). Weitere Verfahren zur Erzeugung von Pflanzenöl sind:

### Extraktion

Bei diesem Verfahren werden Schleimstoffe extrahiert und das Pflanzenöl mit Lösungsmitteln (Hexan) aus den Pflanzenzellen herausgelöst. Das „Miscella“ genannte Gemisch aus Hexan, Wasser und Öl wird in der Destillation in die drei Bestandteile getrennt. Das Öl wird so aufbereitet, dass es als Pflanzenöl weiterverarbeitet werden kann. Das zurück gewonnene Hexan wird für weitere Extraktionsvorgänge verwendet.

### Zentrifugation

Besonders bei der Herstellung von Olivenöl wird ein Zentrifugationsverfahren eingesetzt. Der unter Umständen mit Wasser versetzte und erwärmte Brei wird hier bei etwa 20 000 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert.

## Rohstoffe

Als Rohstoffe werden die Samen oder auch das Fruchtfleisch von Pflanzen verwendet. Weltweit gibt es viele Tausend Ölpflanzen, die als Rohstofflieferanten genutzt werden könnten. Von Ölmühlen in Europa werden mengenmäßig vor allem die Ölsaaten von Raps, Soja, Sonnenblume, Mais und Baumwolle<sup>[2]</sup> verarbeitet, daneben unter anderem Oliven, diverse Nüsse, Färberdistel und Traubenkerne. Weltweit haben zudem die Ölpalme zur Erzeugung von Palmöl und Palmkernöl sowie die Kokospalme (Kokosfett) große Bedeutung.

## Wirtschaftliche Bedeutung

In Deutschland gibt es etwa 20 zentrale Ölmühlen, zur effizienten Rohstoffversorgung meist an großen Wasserstraßen gelegen und eingebunden in nationale oder internationale Konzerne. Angebot und Nachfrage (Preisgestaltung) werden in der Regel an der Warenterminbörse in Chicago gehandelt. Daneben bestehen etwa 600 kleinere dezentrale Ölmühlen, die meist im landwirtschaftlichen Umfeld in regionalen Kreisläufen tätig sind.

Die zentralen Ölmühlen verarbeiten neben heimischen Produkten auch importierte Saaten, vor allem Sojasaat. Für die dezentralen Ölmühlen ist neben der Vermarktung des Pflanzenöls auch die Vermarktung des Koppelprodukts Presskuchen von wirtschaftlicher Bedeutung. Merkmal bei dezentralen Ölmühlen sind hier die kurzen Transportwege für die Saaten und die fertigen Produkte. Durch die Vielzahl und Unterschiedlichkeit der Ölmühlen ist eine durchgängige Versorgung mit Pflanzenöl gewährleistet.

Der überwiegende Teil der Produktion sowohl in zentralen als auch in dezentralen Anlagen dient aktuell der Kraftstoffproduktion. Daneben werden auch Speiseöle und Futteröle sowie Schmierstoffe und Trennmittel produziert. Bei Erzeugnissen aus zentralen Ölmühlen handelt es sich in der Regel um vollraffinierte Pflanzenöle, während in dezentralen Anlagen durch schonende Ölsaatenverarbeitung sogenannte kaltgepresste Pflanzenöle hergestellt werden, die keine Raffinationsschritte durchlaufen.<sup>[3]</sup>



Quetschen von Walnüssen im Kollergang

## Geschichte

Als Lebensmittel hat Pflanzenöl eine sehr lange Geschichte. Die Verfahren, Pflanzenöl aus den Saaten und Früchten auszupressen, sind in diesem Kontext entstanden. Im 19. Jahrhundert gab es in Deutschland 4.000 Ölmühlen. Mit Beginn der Industrialisierung im vorletzten Jahrhundert begann auch eine Zentralisierung in diesem Bereich. Seit Beginn der 1990er Jahre des letzten Jahrhunderts hat es Wiederbelebung der Dezentralisierung der Ölmühlen gegeben.

Mindestens zehn der großen Ölmühlen sind Tochterunternehmen internationaler Großunternehmen wie etwa Bunge Limited, Cargill oder Archer Daniels Midland.<sup>[4]</sup> Mehr als die Hälfte der dezentralen Ölmühlen befinden sich in Süddeutschland, insbesondere in Bayern.<sup>[5]</sup>

## Historische Ölmühlen

Die Ölmühle Berschweiler ist eine historische Ölmühle, die nicht mehr in Betrieb ist, deren ursprüngliche Technik jedoch vollständig erhalten ist. Diverse Ölmühlen finden sich in Freilichtmuseen, so beispielsweise im Vogtsbauernhof (Schwarzwald), in Fürth im Ostertal (Ölmühle Wern) und im Roscheider Hof (Obermosel). Die Herzsche Ölmühle in Wittenberge an der Elbe, 1823 gegründet und 1856 um den Speicher erweitert, bildet heute die Kulisse der Elblandfestspiele Wittenberge, einem jährlichen Open-Air-Festival der Operette und Filmmusik. Seit dem Sommer 2007 agiert das Festival auf einer neuen festen Bühne, der Elblandbühne, die in die Architektur des Speichers von 1856 eingefügt ist.



Ölmühle Halverde

Seit 1923 ist die denkmalgeschützte Ölmühle der Essig- & Senffabrik Ph. Leman GmbH ununterbrochen in Betrieb. Früher wurden hier neben Senfsaaten und Raps vor allem Bucheckern gepresst.

## Weblinks und weiterführende Informationen

- Edgar Remmele (Technologie- und Förderzentrum TFZ): *Handbuch Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen*. Herausgegeben von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow 2008; ISBN 978-3-9803927-1-6 . Download <sup>[6]</sup>
- UFOP – Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. <sup>[7]</sup>
- OVID – Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland e. V. <sup>[8]</sup>

## Referenzen

- [1] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.: *Dezentrale Ölsaatenverarbeitung – Arbeitspapier 267*. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup 1999; S. 1–130
- [2] Fediol: Oils and fats Production by main Countries 2005/06 (<http://www.fediol.org/2/index.php>)
- [3] B. A. Widmann: *Hintergründe und Zielsetzungen der dezentralen Ölsaatenverarbeitung*, in: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (Hrsg.), *Dezentrale Ölsaatenverarbeitung*, Darmstadt, 2005, S. 13–21
- [4] Mitgliedsfirmen des Verbands der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland e. V. (OVID) (<http://www.ovid-verband.de/der-verband/mitgliedsfirmen/>)
- [5] *Dezentrale Ölmühlen in Deutschland*, Webseite des Technologie- und Förderzentrums e. V., Bayern (<http://www.tfz.bayern.de/biokraftstoffe/26816/>)
- [6] [http://www.ufop.de/downloads/Handbuch\\_Rapsaelkraftstoff.pdf](http://www.ufop.de/downloads/Handbuch_Rapsaelkraftstoff.pdf)
- [7] <http://www.ufop.de>
- [8] <http://www.ovid-verband.de>

# Ölpalme

Ölpalme	
	
Ölpalme ( <i>Elaeis guineensis</i> )	
Systematik	
<i>Familie:</i>	Palmengewächse (Arecaceae)
<i>Unterfamilie:</i>	Arecoideae
<i>Tribus:</i>	Cocoseae
<i>Untertribus:</i>	Elaeidinae
<i>Gattung:</i>	Ölpalmen ( <i>Elaeis</i> )
<i>Art:</i>	Ölpalme
Wissenschaftlicher Name	
<i>Elaeis guineensis</i>	
Jacq.	

Die **Ölpalme** (*Elaeis guineensis*) gehört zu den wirtschaftlich bedeutendsten Palmenarten. Ursprünglich in Afrika beheimatet, wird sie inzwischen auch im tropischen Amerika und insbesondere in Südostasien kultiviert. Die bis zu 30 Meter hohe Palme produziert Fruchtstände mit einem Gewicht von bis zu 50 Kilogramm, die mehrere Tausend Früchte enthalten.

Die Früchte sind schnell verderblich und müssen daher sofort nach der Ernte verarbeitet werden. Dabei werden die Fruchtstände mit Wasserdampf behandelt, um ein fettspaltendes Enzym zu zerstören. Anschließend werden die Früchte gequetscht und die Steinkerne abgetrennt. Die harte Schale wird geknackt und die Samen werden getrocknet. Das durch einen hohen Carotingehalt orangefarbige Fruchtfleisch liefert das Palmöl, der Samen das Palmkernöl.

## Merkmale

[1] Die Ölpalme ist eine einhäusig getrenntgeschlechtige (monözische) Palme. Die Chromosomenzahl beträgt  $2n = 32$ .

## Wurzeln

Die primären Wurzeln streichen in einer Tiefe von 20 bis 60 cm horizontal im Boden. Ein kleiner Teil dringt bis in mehrere Meter Tiefe vor. Ein Teil der Seitenwurzeln erster Ordnung wächst negativ geotrop nach oben und bilden direkt unter der Bodenoberfläche ein dann horizontales, stark verzweigtes Wurzelsystem. Die höchste Wurzeldichte wird in zwei bis drei Metern Entfernung von Stamm erreicht. Die Nährstoffaufnahme erfolgt vorwiegend von den unverholzten Seitenwurzeln dritter Ordnung, die rund einen Zentimeter lang und 0,5 mm dick sind.

An erwachsenen Palmen finden sich häufig Luftwurzeln, die den Stamm bis in einen Meter Höhe bedecken können.



Junge Ölpalme

## Stamm

Der Stamm entwickelt sich, wenn die Palme 3 bis 4 Jahre alt ist und hat einen Durchmesser von 25 bis 75 cm. Das jährliche Höhenwachstum liegt zwischen 20 und 60 cm. Ab einem Alter von etwa 15 Jahren fangen an der Palme an, die Blattstümpfe abzufallen. Erst dann wird der eigentliche Stamm sichtbar. Ab einer Stammhöhe von 20 bis 30 m Höhe stellen sich Alterserscheinungen ein, die Fruchtproduktion geht zurück, die Blätter werden kleiner. Die Palme stirbt dann recht plötzlich ab. Sie kann ein Alter von 200 Jahren erreichen.

## Blätter

An der Jungpflanze sind die ersten sieben Blätter lanzettlich. Die nächsten paar Blätter sind an der Spitze der Spreite gespalten, die nächsten dann mehr und mehr gefiedert. Die Anzahl der Fiedern pro Blatt nimmt bis ins Alter von 12 oder 15 Jahren zu. Unter konstanten Wachstumsbedingungen ist das jeweils nächste Blatt länger und hat mehr, breitere und längere Fiederblättchen. Vom Erscheinen der Blattanlage am Vegetationskegel bis zur Ausbildung des Blattes vergehen bei ausgewachsenen Palmen rund 2 bis 2,5 Jahre. Unter günstigen Bedingungen bildet eine Palme pro Jahr 25 bis 35 Blätter, bei Trockenperioden nur rund 20.

Die Blätter können bis 7,5 m lang sein. Sie verbleiben etwa zwei Jahre an der Palme, bevor sie absterben. Sie brechen ab und am Stamm verbleibt die Blattbasis. In deren Achseln sammeln sich Staub, Pflanzenreste und Samen, sodass sich hier etliche Epiphyten ansiedeln.



Ölpalmpflanzung in Malaysia

## Blütenstand und Blüten

Der Blütenstand besteht aus einer etwa 5 bis 10 cm dicken Blütenstandsachse, an der spiralgig etwa 200 Seitenachsen stehen, die Ähren. Ein Blütenstand trägt entweder nur männliche oder nur weibliche Blüten. Bei jungen Palmen kommen auch gemischte Blütenstände vor.

Bei weiblichen Blütenständen stehen die Ähren in den Achseln von dornigen Deckblättern. Der lange Dorn bleibt auch am reifen Fruchtstand erhalten. Männliche Ähren sind länger als weibliche, ihre Deckblätter tragen aber keine Dornen. Eine einzelne Ähre trägt 700 bis 2000 Blüten, ein Blütenstand besteht aus 150.000 bis 200.000 Blüten. Die weiblichen Blüten haben einen dreifächrigen Fruchtknoten mit je einer Samenanlage.

In jeder Achsel eines Laubblattes bildet sich eine Anlage zu einem Blütenstand. Bei ausgewachsenen Palmen benötigt der Blütenstand etwa zwei Jahre zur Entwicklung. Bis zwei Wochen vor der Anthese ist er von zwei Hochblättern verhüllt.

Die Bestäubung erfolgt durch Rüsselkäfer, vor allem solchen der Gattung *Elaeidobius*.

## Früchte und Samen

Die Früchte sind etwa 5,5 bis 9 Monate nach der Bestäubung reif. Einen Monat vor der Reife werden im Fruchtfleisch Öltröpfchen und Carotine gebildet. Die zunächst harten Früchte werden weich. Der Ölgehalt ist dann am höchsten, wenn sich die ersten Früchte vom Fruchtverband ablösen. Dies ist auch der Erntezeitpunkt.

Die Steinfrüchte sind 3 bis 6 cm lang und 2 bis 4 cm breit. Sie wiegen rund 20 g. Das Exokarp, die äußere Schale, ist dünn. Das Fruchtfleisch (Mesokarp) ist fasrig und besteht zu 45 bis 50 % aus Öl. Durch die Carotine ist das Fruchtfleisch gelb bis rötlich. Innerhalb der Steinschale (Endokarp) befindet sich der meist einzelne Samen, der 48 bis 52 % Öl enthält.

Die Ölpalmen sind sehr variabel in Bezug auf Form, Farbe, Anzahl und Größe der Früchte, sowie in Anzahl und Größe der Fruchtstände. Afrikanische *Dura*-Palmen liefern im Schnitt etwa 18 kg Früchte, ostasiatische *Deli*-Palmen etwa 25 kg. Ein Fruchtstand enthält 800 bis 4000 Früchte.

## Keimpflanze

Das Keimpflanzenstadium dauert etwa zwei Monate. Zunächst erscheinen die Keimwurzel und das Keimblatt durch eines der drei Keimlöcher in der Schale. Das Ende des Keimlingsstadiums wird mit der Bildung des sechsten Blattes angesetzt. Bis dahin lebt die Pflanze praktisch nur von den Nährstoffen des Endosperm.

Die Keimwurzel (*Radicula*) wird bis 20 cm lang. An ihrer Ansatzstelle bildet sich ein Kranz von dünnen Adventivwurzeln. Das erste, noch ungefiederte Laubblatt erscheint rund einen Monat nach der Keimung. Wenn die erste primäre Wurzel gebildet wurde, stirbt die Keimwurzel ab.

## Krankheiten und Herbivoren

In Kultur sind wichtige Schädlinge an Keimlingen Engerlinge und Termiten. Blatterkrankungen sind in Anzucht- und Saatbeeten von Bedeutung, vor allem der Blattfleckenerreger *Leptosphaeria elaeidis* (Anamorphe *Pestalotiopsis palmarum*). Er verursacht gebraune bis graue Blattflecken, das Gewebe trocknet aus und die Blätter sterben ab. Es gibt drei bedeutende Erreger von Anthraknose, die unterschiedliche Symptome auslösen: *Botrydiploida palmarum* verursacht zunächst kleine Flecken an Spitzen oder Rändern von jungen Blättern, die später größer und dunkelbraun werden. Eine *Melancomium*-Art führt zu helleren Flecken mit hellgelbem Saum, die rasch trocknen. *Glomerella cingulata* führt zu langgestreckten dunklen Flecken zwischen den Blattnerven.

In Produktionsanlagen sind Wurzel- und Stammfäulen, die von etlichen bodenbewohnenden Pilzen ausgelöst werden, von Bedeutung. In Afrika ist auch die Tracheomykose, verursacht durch *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaedis* und f. sp. *redolens*.

In Süd- und Zentralamerika verursacht die Nematode *Rhadiphanelenchus cocophilus* Welke, Abwerfen von Früchten und das Absterben junger Palmen. Die Nematoden gelangen über den Palmrüssler *Rhynchophorus palmarum* in die Pflanzen. Die in Lateinamerika als Marchitez oder Plötzliche Welke bekannte Krankheit wird durch den Flagellaten *Phytomonas staheli* (Trypanosomatida) ausgelöst. Verursacher der von den Philippinen ausgehenden Cadang-Cadang-Krankheit, der neben Millionen Kokospalmen auch viele Ölpalmen zum Opfer fielen, ist das Viroid *coconut cadang cadang viroid* (CCCV).

Unter den Insekten sind neben Nashornkäfern der Gattung *Oryctes* und den Palmbohrern *Phynchophorus* vor allem eine Unzahl von blattfressenden Raupen von Bedeutung, besonders aus den Familien Limacodidae, Psychidae und Nymphalidae.<sup>[2]</sup>

## Geschichtliches

Die Ölpalme ist ursprünglich in den Regenwäldern von Westafrika beheimatet und wurde dort als Nutzpflanze genutzt. Erste Berichte über das Palmöl kamen 1466 durch portugiesische Seeleute nach Europa. Die Ölpalme wurde allerdings erst 1763 wissenschaftlich beschrieben. Über Sklaventransporte kam die Ölpalme wahrscheinlich nach Amerika. Nach Asien kam die Ölpalme Anfang des 19. Jahrhunderts zunächst als Zierpflanze in Botanischen Gärten: 1848 kamen je zwei Palmen aus dem Botanischen Garten von Amsterdam und von Réunion nach Bogor (Indonesien). Von hier gelangten Exemplare nach Singapur und von diesen beiden Orten später nach Deli auf Sumatra. Nachdem eine industrielle Aufbereitung des Öls möglich war, erfolgte ab etwa 1900 die Anlage von Großplantagen: in Westafrika ab 1908, Indonesien ab 1911 und in Malaysia ab 1919.<sup>[3]</sup>

## Systematik

Die Erstbeschreibung unter dem Namen *Elaeis guineensis* durch den österreichischen Botaniker Nikolaus Joseph Freiherr von Jacquin ist 1763 veröffentlicht worden.<sup>[4]</sup> Von 1910 bis 1914 sind durch Odoardo Beccari und Auguste Jean Baptiste Chevalier viele Varietäten beschrieben worden, die heute allesamt als Synonyme für den Typ selbst angesehen werden.<sup>[5]</sup>

Die Ölpalmen werden nach den Eigenschaften der Früchte in mehrere Typen unterteilt. Nach der Farbe des Exokarp unterscheidet man:<sup>[6]</sup>

- *nigrescens* ist weit verbreitet. Die dem Sonnenlicht ausgesetzten Teile der unreifen Früchte sind durch Anthocyane violett bis schwarz gefärbt, die beschatteten sind elfenbeinfarben. Reife Früchten werden noch weiter unterteilt:
  - *rubro-nigrescens*: die Frucht ist tief rotorange. der obere Fruchttteil ist braun. Das Fruchtfleisch ist orange bis rot, das Öl rötlich.
  - *rutilo-nigrescens*: das Exokarp ist fahlorange, der obere Fruchttteil ist schwarz.
- *virescens* ist wenig verbreitet. Die unreifen Früchte sind grün, die reifen rötlich-orange, die Spitze ist grün. Sie haben wenig bis kein Anthocyan.
- *albescens* ist sehr selten. Die Früchte sind elfenbeinfarben oder fahl gelb. Zur Reife ist die Spitze schwärzlich oder grün. Das Fruchtfleisch enthält kein Carotin.

Nach der Dicke des Endokarps werden drei Typen unterschieden:<sup>[6]</sup>

- *Dura* mit 2 bis 8 mm dickem Endokarp, das Fruchtfleisch nimmt 35 bis 55 % ein.
- *Tenera* mit 0,5 bis 3 mm dickem Endokarp, das Fruchtfleisch nimmt 60 bis 95 % ein.
- *Pisifera* ohne Endokarp, das Fruchtfleisch nimmt fast 100 % ein.



Früchte der Ölpalme auf einem Markt in Burkina Faso

Die wichtigsten Typen für den Anbau sind *Dura nigrescens* und *Tenera nigrescens*. Zum *Dura*-Typ gehören auch die in Ostasien weithin angebauten Deli-Palmen.<sup>[6]</sup>

## Nutzung

→ Hauptartikel: *Palmöl*

Die Weltproduktion an Palmöl hat sich seit 1995 wegen der zunehmenden energetischen Nutzung mehr als verdoppelt, Malaysia und Indonesien beherrschen mit einer Jahresproduktion von jeweils mehr als 15 Millionen Tonnen den Markt von über 35 Millionen Tonnen pro Jahr.<sup>[7]</sup> Im Jahr 2007/08 produzierte Indonesien allein 17,1 Mio Tonnen und Malaysia 16,6 Mio Tonnen, die Gesamtproduktion lag bei 39 Mio Tonnen.<sup>[8]</sup> Dabei stieg die Weltjahresproduktion in den letzten Jahren um jährlich bis zu 15,4%, allein Indonesien konnte seine Produktion seit 2002/03 um 66% steigern<sup>[8]</sup> und im Wirtschaftsjahr 2005/06 die bis dahin von Malaysia eingenommene Marktführerschaft überholen.<sup>[9]</sup> Damit besitzt Indonesien einen Weltmarktanteil von 44% und Malaysia einen von 43%, andere Produktionsländer wie Kolumbien, Nigeria und Thailand liegen mit jeweils etwa 800.000 Tonnen pro Jahr bei jeweils 2%.<sup>[9]</sup> Für das Wirtschaftsjahr 2008/09 wird eine weltweite Produktion von 42,9 Millionen Tonnen erwartet, damit ist Palmöl vor Sojaöl (38,8 Millionen Tonnen) das mengenmäßig am meisten produzierte Pflanzenöl der Welt.<sup>[10]</sup>

Der Großteil der weltweiten Palmölproduktion wird mit etwa 71,5% für Nahrungsmittel (Margarine, Küchenfett) verwendet. Etwa 21,5% werden für die industrielle Produktion von Reinigungsmitteln und Kosmetika verwendet und etwa 5% fließen in die energetische Nutzung.<sup>[11]</sup>

### Nutzung als Nahrungsmittel

Palmöl und Palmkernöl wird zum größten Teil im Bereich der Ernährung eingesetzt. Dabei wird Palmöl aufgrund seiner ausgezeichneten Hitze- und Oxidationsstabilität vor allem in Asien und Afrika als Speisefett zum Kochen, Braten und Friettieren eingesetzt. Außerdem wird es international für die Herstellung von Backwaren, Margarine und Süßwaren verwendet.<sup>[12]</sup> Palmkernöl findet ebenfalls zu einem großen Anteil Verwendung bei der Herstellung von Margarine, der es einen butterähnlichen Geschmack verleiht. Zudem wird es aufgrund seiner Schmelzeigenschaften für Kakaoglasuren, Eiskonfekt, cremeüberzüge und schnellschmelzende Schokoladenfüllungen, Toffees und Karamell verwendet. Durch verschiedene Veränderungen kann Palmkernöl auch zu hochwertigen Spezialfetten für die Süßwarenindustrie umgewandelt werden.<sup>[12]</sup>



Palmöl; erkennbar ist die rötliche Färbung.



Palmöltanks an einem Biokraftwerk werden befüllt.

## Industrielle Verwendung

Palmkernöl wird mit Kokosöl aufgrund der spezifischen Eigenschaften zu den Laurinölen zusammengefasst und wird für ein großes Spektrum von Anwendungen in der Oleochemie genutzt. Ebenso wie Palmöl werden diese Öle zur Gewinnung von Laurinsäure verwendet und als Grundstoff für verschiedene Tenside wie Natriumlaurylsulfat und Sorbitanmonolaureat eingesetzt. Weitere Produkte auf der Basis von Palm- und Palmkernöl finden Verwendung in unterschiedlichen Produkten der Kosmetik- und Reinigungsindustrie.<sup>[12]</sup>

Ein vergleichsweise geringer Teil des Palmöls wird für die Herstellung von Biokraftstoffen, vor allem Biodiesel sowie das aufbereitete NEXBtL, ein Hydriertes Pflanzenöl des finnischen Unternehmens Neste Oil, sowie als Brennstoff in Blockheizkraftwerken verwendet.

## Nachhaltigkeit und ökologische Probleme

### Ökologische und menschenrechtliche Probleme

Vor allem aufgrund der Plantagenwirtschaft und der damit einhergehenden Abholzung großer Regenwaldflächen in den Hauptanbaugebieten der Ölpalme steht der Anbau von Palmöl international sowohl bei Umweltschutzorganisationen als auch politisch in der Kritik. Der Anbau der Ölpalmen erfolgt zudem nach gängiger Einschätzung gegenwärtig in ökologisch nicht nachhaltiger Weise.

Verschiedene Umweltschutzorganisationen, in Deutschland insbesondere Greenpeace und Rettet den Regenwald, weisen darauf hin, dass für die Errichtung von neuen Ölpalmplantagen in großem Umfang Regenwälder zerstört werden. Diese Aussagen wurden durch Forschungsergebnisse auf der Basis von Daten der FAO bestätigt, nach denen zwischen 1990 und 2005 1,87 Millionen Hektar Palmölplantagen in Malaysia und mehr als 3 Millionen Hektar in Indonesien neu angelegt wurden, von denen mehr als die Hälfte durch Abholzung von Wäldern entstand.<sup>[13]</sup>

In Indonesien und Malaysia ist die Expansion des Palmölanbaus mittlerweile die Hauptursache für die Entwaldung, und durch die Brandrodungen insbesondere von Torfwäldern werden erhebliche Mengen CO<sub>2</sub> freigesetzt. Eine 2006 veröffentlichte Studie der ENGO *Wetlands International* kommt zu dem Schluss, dass jede auf ehemaligen Torfwaldflächen erzeugte Tonne Palmöl für den Ausstoß von 10 bis 30 Tonnen an CO<sub>2</sub> verantwortlich ist.<sup>[14]</sup> Das meteorologische Zentrum der ASEAN glaubt, dass sich aufgrund der Brandrodungen das Klimaphänomen El Niño verstärken würde und eine bis zum Oktober verlängerte Trockenzeit für die Region zur Folge hätte. Dies würde wiederum die Ausbreitung zukünftiger Waldbrände fördern. Rauchschwaden der Brandrodungen auf Sumatra trüben alljährlich den Himmel über Kuala Lumpur und Singapur, die östlich der Insel liegen. Ankündigungen der ASEAN, eine Nulltoleranzlinie gegenüber Brandrodungen zu verfolgen, wurden bereits 1997 und 1998 gemacht, blieben jedoch ohne Folgen. Politisch einflussreiche Plantagenbesitzer und gute Palmölpreise dürften dafür mitverantwortlich sein.<sup>[15]</sup>

Auch in anderen Ländern wie Kolumbien, Ecuador oder Kamerun wurden Ölpalmplantagen auf Regenwaldflächen erstellt, allein in der ecuadorianischen Provinz Esmeraldas in den vergangenen Jahren 60.000 Hektar. Zudem werden bei der Anlage von Ölpalmplantagen oftmals die Landrechte ansässiger Kleinbauern und indigener Gemeinschaften verletzt<sup>[16] [17]</sup>.



Pestizideinsatz auf einer Palmölplantage

Durch den massiven Einsatz von Pestiziden und Kunstdüngern auf den sehr nährstoffarmen tropischen Böden und in dem sehr regenreichen Klima wird das Grundwasser, Flüsse und indirekt die lokale Bevölkerung vergiftet. Zudem werden durch den enormen Wasserverbrauch der Plantagen die Trink- und Nutzwasserressourcen der Lokalbevölkerung stark beeinträchtigt. Palmölplantagen stellen (wie andere Monokulturen) ein Problem für den Erhalt der Artenvielfalt der strukturreichen Regenwälder dar. So bedrohen die ausgedehnten Ölpalm-Monokulturen Indonesiens den Lebensraum der Orang-Utans<sup>[18]</sup> oder die Entwaldung in Papua-Neuguinea den Prinzenhabicht (*Accipiter princeps*)<sup>[19]</sup>. Der Orang-Utan wird aufgrund dieser Problematik vor allem von *Rettet den Regenwald* als Symbol für die Kritik an der Palmölpolitik genutzt.



Orang-Utans sind durch großflächige Palmölplantagen direkt bedroht und wurden zum Symbol der Gegner von Ölpalmenplantagen

### Reaktionen auf internationale Kritik

Während für Palmöl und andere biogene Energieträger ein in der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung seit 2007 gesetzlich vorgeschriebenes Zertifizierungssystem die ökologische und soziale Nachhaltigkeit des Anbaus in Zukunft gewährleisten und damit ungewollte Auswirkungen wie Urwaldrodung und Menschenrechtsverletzungen verhindern soll, wird die Produktion der anderen Palmölprodukte wie Kosmetika und Margarine weiterhin keinerlei Nachhaltigkeitskriterien unterworfen sein.

Der im Jahr 2003 auf Initiative des WWF gegründete *Runde Tisch für nachhaltiges Palmöl* (*Roundtable on Sustainable Palm Oil*, RSPO) versucht als zentrale Organisation nachhaltige Anbaumethoden für Palmöl zu fördern und so die Umweltschädigung zu begrenzen.<sup>[20]</sup> Mitglieder des Roundtable sind neben Umweltschutzverbänden und anderen NGOs vor allem Firmen und Institutionen aus der Wertschöpfungskette des Palmöls, darunter Plantagenbetreiber, Händler und industrielle Abnehmer von Palmöl, aber auch Investoren und Banken.<sup>[21]</sup> Im Mai 2008 kündigte der Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland (OVID) an, dass die Zertifizierung von nachhaltig produziertem Palmöl auf der Basis der Richtlinien des RSPO noch in diesem Jahr realisiert wird.<sup>[22]</sup> Auch die Vereinigung der indonesischen Palmölhersteller Gapki (*Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia*) räumt mittlerweile Versäumnisse ein und kündigt an, dass in Zukunft darauf geachtet wird, dass ausschließlich Brachland für den Neuanbau von Ölpalmenplantagen verwendet werden soll.<sup>[23]</sup>

Allerdings bezeichnen einige Umweltverbände auch die von der RSPO entwickelten Anbauformen als umweltzerstörend mit der Begründung, dass der Palmölanbau in großen Monokulturen grundsätzlich nicht nachhaltig sein könne und der RSPO der Industrie nur zum Greenwashing diene, wie z. B. die indonesische Umweltorganisation *Sawit Watch* (Palmöl-Wächter) behauptet.

## Weblinks

- First Draft Of Oil Palm Genome Completed <sup>[24]</sup>
- *Elaeis guineensis*. <sup>[25]</sup> In: U. Brunken, M. Schmidt, S. Dressler, T. Janssen, A. Thiombiano, G. Zizka: *West African plants - A Photo Guide*. Forschungsinstitut Senckenberg, Frankfurt/Main 2008. <sup>[13]</sup>

## Referenzen

- [1] Der Abschnitt Merkmale beruht auf: Gunther Franke (Hg.): *Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Band 3: Spezieller Pflanzenbau*. Ulmer, Stuttgart 1994. ISBN 3-8252-1769-8, S. 221-227.
- [2] Gunther Franke (Hg.): *Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Band 3: Spezieller Pflanzenbau*. Ulmer, Stuttgart 1994. ISBN 3-8252-1769-8, S. 233-236.
- [3] Gunther Franke (Hg.): *Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Band 3: Spezieller Pflanzenbau*. Ulmer, Stuttgart 1994. ISBN 3-8252-1769-8, S. 219-221.
- [4] Select. Stirp. Amer. Hist.: 280 (1763).
- [5] Artenliste der Gattung *Elaeis* bei Kew Checklists (<http://www.kew.org/wcsp/home.do>) (*Elaeis* in der Suchbox eingeben); abgerufen am 29. März 2008.
- [6] Gunther Franke (Hg.): *Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Band 3: Spezieller Pflanzenbau*. Ulmer, Stuttgart 1994. ISBN 3-8252-1769-8, S. 222f.
- [7] Premium-Biodiesel aus Palmöl bedroht Regenwald ([http://www.vdi-nachrichten.de/vdi-nachrichten/aktuelle\\_ausgabe/akt\\_ausg\\_detail.asp?cat=2&id=37992&source=paging&cp=1](http://www.vdi-nachrichten.de/vdi-nachrichten/aktuelle_ausgabe/akt_ausg_detail.asp?cat=2&id=37992&source=paging&cp=1)) in VDI-Nachrichten, 11. April 2008
- [8] Graser, S.; Jack, N.; Pantoulis, S. (Hrsg.): *Agrarmärkte 2007*. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 4/2008
- [9] *Indonesia: Palm Oil Production Prospects Continue to Grow* ([http://www.pecad.fas.usda.gov/highlights/2007/12/Indonesia\\_palmoil/](http://www.pecad.fas.usda.gov/highlights/2007/12/Indonesia_palmoil/)) United States Department of Agriculture (USDA) Foreign Agricultural Service, 31. Dezember 2007
- [10] Palmöl weltweit an der Spitze ([http://www.zmp.de/presse/agrarwoche/marktgrafik/2008\\_07\\_28\\_zmpmarktgrafik\\_331\\_Welt-Pflanzenoel-Produktion.asp?id=rss20080728](http://www.zmp.de/presse/agrarwoche/marktgrafik/2008_07_28_zmpmarktgrafik_331_Welt-Pflanzenoel-Produktion.asp?id=rss20080728)), Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH (ZMP), 28. Juli 2008.
- [11] US Dep. of Agriculture 2008
- [12] Sabine Krist, Gerhard Buchbauer, Carina Klausberger: *Lexikon der pflanzlichen Fette und Öle*. Springer Verlag, Wien 2008; S. 330-337. ISBN 978-3-211-75606-5.
- [13] *Tropical forests axed in favour of palm oil*. (<http://environment.newscientist.com/channel/earth/mg19826582.900-tropical-forests-axed-in-favour-of-palm-oil.html>) NewScientist Environment 31. Mai 2008.
- [14] *Bio-fuel less sustainable than realised*. *Presseerklärung von Wetland International vom 8. Dezember 2006* (<http://www.wetlands.org/news.aspx?ID=804eddfb-4492-4749-85a9-5db67c2f1bb8>) abgerufen am 10. Januar 2008
- [15] K.P.: *Rauchwolken am Himmel über Südostasien. Neuer Anlauf zur Bekämpfung der Brandrodung*. Neue Zürcher Zeitung, Nr. 191, 20. August 2009, S. 5
- [16] Bericht über Landvertreibungen in Kolumbien ([http://www.kolko.de/downloads/kolko\\_friedensgemeinden\\_kolumbien.pdf](http://www.kolko.de/downloads/kolko_friedensgemeinden_kolumbien.pdf))
- [17] James Painter: *Losing land to palm oil in Kalimantan*. (<http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/6927890.stm>) BBC News, 3. August 2007.
- [18] UNEP, UNESCO: *The Last Stand of the Organutan* ([http://www.unep-wcmc.org/resources/PDFs/LastStand/full\\_orangutanreport.pdf](http://www.unep-wcmc.org/resources/PDFs/LastStand/full_orangutanreport.pdf)), abgerufen am 10. Januar 2008
- [19] *One in eight bird species threatened by climate change*. (<http://environment.newscientist.com/channel/earth/dn13935-one-in-eight-bird-species-threatened-by-climate-change.html>) NewScientist Environment 19. Mai 2008.
- [20] Roundtable on Sustainable Palm Oil, Website (<http://www.rspo.org/>)
- [21] *Players in the Palm Oil Supply Chain* ([http://www.rspo.org/Players\\_in\\_the\\_Palm\\_Oil\\_Supply\\_Chain.aspx](http://www.rspo.org/Players_in_the_Palm_Oil_Supply_Chain.aspx)) auf den Seiten des Roundtable on Sustainable Palm Oil
- [22] *Ölmühlen sind Vorreiter* ([http://www.ovid-verband.de/fileadmin/downloads/3\\_PM\\_OElmuehlen\\_sind\\_Vorreiter.pdf](http://www.ovid-verband.de/fileadmin/downloads/3_PM_OElmuehlen_sind_Vorreiter.pdf)), Pressemitteilung des Verbandes der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland (OVID)
- [23] *Palmölfirmer geloben Besserung. Indonesische Erzeuger wollen künftig Naturland verschonen*. Holz-Zentralblatt 20, 16. Mai 2008
- [24] [http://www.energy-daily.com/reports/First\\_Draft\\_Of\\_Oil\\_Palm\\_Genome\\_Completed\\_999.html](http://www.energy-daily.com/reports/First_Draft_Of_Oil_Palm_Genome_Completed_999.html)
- [25] [http://www.westafricanplants.senckenberg.de/root/index.php?page\\_id=13&preview=true&searchTextMenue=Elaeis+guineensis&search=Wikitemplate](http://www.westafricanplants.senckenberg.de/root/index.php?page_id=13&preview=true&searchTextMenue=Elaeis+guineensis&search=Wikitemplate)

# Ölpresse

Die **Ölpresse** ist das zentrale Element einer Ölmühle. Sie kommt in zentralen wie auch in dezentralen Ölmühlen zum Einsatz. In ihr wird das Pressgut (Ölfrüchte und –saaten) zu Pflanzenöl und Presskuchen verarbeitet.

## Verfahren

Während des bei steigender Verdichtung arbeitenden Pressvorgangs durchläuft das Pressgut verschiedene Phasen. Bei der Kompression ohne Flüssigkeitsabgabe werden zunächst die Pflanzenzellen aufgeschlossen und aus den Hohlräumen entweicht Luft. die eigentliche Abscheidung erfolgt in der Phase der Kompression mit Flüssigkeitsabgabe, während der das Porenvolumen sich verringert und zugleich Öl abgegeben wird. Nach Beendigung der Ölabgabe folgt die Formgebung des Pressrückstands.

## Bauformen

Waren Spindelpressen bereits seit der Antike bekannt, kommen heute hauptsächlich so genannte Schneckenpressen zum Einsatz. Generell arbeiten diese nach dem gleichen Prinzip wie ein Fleischwolf. In einem Zylinder wird das Pressgut mittels Schnecke (Spindel) transportiert und dabei durch Ausquetschen in noch ungereinigtes Trüböl und Presskuchen getrennt. Das Pressgut wird dem Zylinder durch einen Trichter zugeführt. Als Bauformen gibt es die Zylinderloch-Schneckenpresse und die Seiherstab-Schneckenpresse.

Schneckenpressen, denen eine Extraktion nachgeschaltet ist, reduzieren den Ölgehalt auf ca. 20% und werden als Vorpressen bezeichnet. In Ölmühlen ohne Extraktion dagegen wird angestrebt, den Restölgehalt im Presskuchen möglichst niedrig zu halten (ab ca. 10% Restölgehalt).

## Zylinderloch-Schneckenpresse

In der Zylinderloch-Schneckenpresse befinden sich am hinteren Ende des Zylinders kleine Bohrungen, über die das ausgepresste Öl austritt. Dadurch wird das zu pressende Produkt durch die Schnecke gegen eine Mündung gepresst, die am Ende des Zylinders angebracht ist. Durch die Mündungsöffnung (Pressdüse) werden die festen Bestandteile des Pressgutes (Presskuchen) in Form von Pellets herausgedrückt.



Einzelteile einer Monforts  
Zylinderloch-Schneckenpresse

## Seiherstab-Schneckenpresse

In der Seiherstab-Schneckenpresse wird der Zylinder durch parallel angeordnete Stäbe gebildet, die mit kleinen Spalten versehen, rund um die Schnecke angeordnet sind. Diese werden Seiherstäbe genannt. Bei der Verarbeitung des Pressgutes wird dieses durch die Schnecke transportiert und dabei tritt das Öl durch die Verquetschung zwischen den Stäben aus. Die Seiherstäbe werden durch Ringe in ihrer Position gehalten. Der Presskuchen wird am Ende der Schnecke in Form von kleinen Plättchen ausgeworfen.



Blick in eine geöffnete Seiherstab-Schneckenpresse. Das gepresste Öl tritt zwischen den Seiherstäben aus.

## Produkte

In der Ölpresse werden Ölsaaten und -früchte zu Pflanzenöl oder Pflanzenfette und dem Koppelprodukt Presskuchen, auch Ölschrote genannt, verarbeitet. Verwendet werden die Pflanzenöle als Lebens- und Futtermittel wie auch im technischen Bereich (Chemie, Biokraftstoffe). Beim Verpressen der Ölprodukte wird eine möglichst niedrige Temperatur angestrebt. Dadurch wird eine hohe Produktqualität gewährleistet. In größeren Anlagen (zentrale Ölmühlen) wird die Pressung durch Extraktion mit Lösungsmitteln ergänzt, um die Ölausbeute aus dem Rohstoff zu erhöhen.

## Literatur

- FNR, Handbuch Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen <sup>[1]</sup> (PDF-Datei; 5,41 MB)
- Eder, Barbara / Eder, Franz "Pflanzenöl als Kraftstoff", ISBN 978-3-936896-05-3
- Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann und Hermann Hofbauer (Hrsg.), 2009: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, 2. Auflage, S. 715-716 und 727-728, ISBN 9783540850946

## Referenzen

[1] [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_300handbuch\\_herstellung\\_rapsoelkraftstoff.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_300handbuch_herstellung_rapsoelkraftstoff.pdf)

# Ölsaat

---

Als **Ölsaat** werden Pflanzensamen bezeichnet, die zur Gewinnung von Pflanzenöl genutzt werden können. Bei der Nutzung spielt die Erzeugung von Lebensmitteln (Speiseöl) und Futtermitteln (Futteröl) eine wichtige Rolle, daneben auch die Erzeugung von Biokraftstoffen sowie von technischen Ölen (Oleochemie). Ein kleiner Teil der Samen wird im Ganzen oder als Ölschrot im Lebensmittel- oder Futtermittelhandel eingesetzt.

## Abgrenzung

Ölsaaten liefernde Pflanzen werden zu den Ölpflanzen gezählt. Daneben gibt es Ölpflanzen (zum Beispiel Olive, Ölpalme), bei denen das Öl aus den Früchten gewonnen wird. Zu den Ölfrüchten im landwirtschaftlichen Sinn werden dagegen sämtliche Ernteprodukte mit wirtschaftlicher Bedeutung zur Pflanzenölgewinnung gezählt, also sowohl Ölsaaten als auch ölliefernde Früchte und andere Pflanzenteile.

## Arten und Bedeutung

*siehe auch Pflanzenöl, Kapitel "Sorten nach Herkunftspflanze"*

Es gibt eine Vielzahl von Ölpflanzen, deren Samen sich zur Ölgewinnung eignen. Der Fettanteil dient den Samen als Fortpflanzungsorganen der Pflanze dabei als Energiespeicher bei der Keimung. Die weltweit bedeutendste Ölsaat ist Soja, deren Anteil an der gesamten Ölsaaterzeugung über 50% liegt (2007: 57%). Rund 12% der Erzeugung entfallen auf Rapssaat, die in Mitteleuropa die im Anbau wichtigste Ölsaat darstellt. Die wichtigsten Erzeugerländer und -regionen für Ölsaaten sind die USA, Brasilien, China und Argentinien. Weitere Ölsaaten mit vor allem regionaler Bedeutung sind Sonnenblumenkerne (v.a. Argentinien, EU, GUS), Erdnüsse (v.a. China, Indien) und Baumwollsaat (v.a. China, Indien, USA).<sup>[1]</sup> Der Ölertrag unterscheidet sich stark je nach Pflanzenart und Anbaubedingungen. Der jährliche Ölertrag von Rapssaat liegt bei ca. 1.600 l/ha, der Ölertrag von Sojabohnen bei rund 640 l/ha<sup>[2]</sup>.

Viele Ölsaaten dienen zugleich als Proteinquellen für die Tierernährung, da Koppelprodukte aus der Pflanzenölerzeugung (Presskuchen, Extraktionsschrot) als eiweißreiche Futtermittel genutzt werden.

## Eigenschaften

Der Fettgehalt der Saat ist unter anderem art- und sortenspezifisch und liegt im Mittel etwa bei 30–45 Prozent.<sup>[3]</sup> Neben dem Ölgehalt ist ein möglichst niedriger Anteil freier Fettsäuren des aus den Saaten gewonnenen Öls entscheidend für die Qualität. In der Regel liegen die Gehalte an freien Fettsäuren bei handelsüblichen Rohölen unter 3%. Deutliche Unterschiede zwischen den Ölsaaten bestehen bei der Kettenlänge und den Bindungsverhältnissen (Anzahl Doppelbindungen, Sättigungsgrad) der in den enthaltenen Ölen (Triglyceriden) gebundenen Fettsäuren, außerdem im Vorhandensein funktioneller Gruppen. Diese bestimmen die Eigenschaften der Pflanzenöle (Konsistenz, Schmelzpunkt, Lagerfähigkeit, Trocknungsverhalten, ernährungsphysiologischer Wert, etc.) und damit auch die Verwendungsmöglichkeiten der Saaten. Bei Lagerung und Verarbeitung enthalten die Saaten lediglich etwa 9% Wasser, ein im Vergleich zu Getreide mit ca. 14% niedriger Wert.<sup>[4]</sup>

## Verarbeitung

Verarbeitet werden Ölsaaten in Ölmühlen. Deren zentrale Einrichtung ist die Ölpresse, in der die Ölsaaten ausgepresst werden, um die flüssige Phase (Pflanzenöl) von der festen Phase (Pressrückstand, Presskuchen) zu trennen. Vor der Pressung werden die Ölsaaten gereinigt und, je nach Verfahren, eventuell geschält, konditioniert und / oder zerkleinert. In dezentralen Ölmühlen wird das aus der Presse austretende Trüböl lediglich filtriert, bei industriell arbeitenden Anlagen schließt sich eine Extraktion an, um die Ölausbeute zu erhöhen.

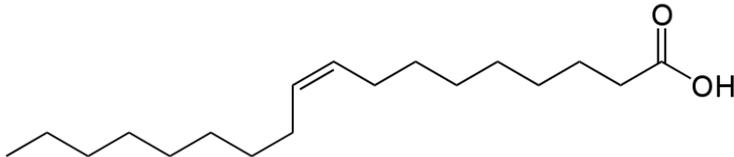
## Weblinks

- Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie <sup>[8]</sup>
- Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. <sup>[5]</sup>

## Referenzen

- [1] Agrarmärkte 2007: Ölsaaten ([http://www.lfl.bayern.de/iem/agrarmarktpolitik/28943/linkurl\\_0\\_5\\_0\\_0.pdf](http://www.lfl.bayern.de/iem/agrarmarktpolitik/28943/linkurl_0_5_0_0.pdf)). (pdf) Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, abgerufen am 17.07.2009
- [2] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR)e.V.; 2009: Biokraftstoffe - Eine vergleichende Analyse. ( pdf ([http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_236-biokraftstoffvergleich\\_2009.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_236-biokraftstoffvergleich_2009.pdf)))
- [3] Ölsaaten (auf schrotundkorn.de) (<http://www.schrotundkorn.de/cgi-bin/drucken/printer.pl?file=/1998/sk9803e1.htm>)
- [4] K.U.Heyland, H. Hanus, E.R. Keller: Ölfrüchte, Faserpflanzen, Arzneipflanzen und Sonderkulturen In: Handbuch des Pflanzenbaues, Bd. 4, S. 19-20, ISBN 3800132036
- [5] <http://www.ufop.de/>

# Ölsäure

Strukturformel	
	
Allgemeines	
Name	Ölsäure
Andere Namen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Z)-9-Octadecensäure (IUPAC)</li> <li>• <i>cis</i>-9-Octadecensäure</li> <li>• Oleinsäure</li> </ul>
Summenformel	$C_{18}H_{34}O_2$
CAS-Nummer	112-80-1
Kurzbeschreibung	farb- und geruchlose Flüssigkeit <sup>[1]</sup>
Eigenschaften	
Molare Masse	282,46 g·mol <sup>-1</sup>
Aggregatzustand	flüssig
Dichte	0,89 g·cm <sup>-3</sup> <sup>[1]</sup>
Schmelzpunkt	17 °C <sup>[2]</sup>
Siedepunkt	360 °C <sup>[2]</sup>
Dampfdruck	>0,1 hPa (20 °C) <sup>[2]</sup>
Löslichkeit	unlöslich in Wasser <sup>[2]</sup> , löslich in Methanol
Sicherheitshinweise	

Gefahrstoffkennzeichnung <sup>[2]</sup>	
<i>keine Gefahrensymbole</i>	
R- und S-Sätze R: <i>keine R-Sätze</i>	
S: <i>keine S-Sätze</i>	
MAK	<i>noch nicht festgelegt</i> <sup>[2]</sup>
<b>Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.</b>	

**Ölsäure**, auch Oleinsäure, ist der wichtigste Vertreter der einfach ungesättigten Fettsäuren. Ihr systematischer Name lautet *cis*-9-Octadecensäure.

## Vorkommen

Ölsäure kommt als Bestandteil der entsprechenden Triglyceride in fast allen natürlichen (pflanzlichen und tierischen) Ölen und Fetten vor. Einen besonders hohen Anteil an Ölsäure besitzen z. B. Olivenöl (70-75 %), Erdnussöl (50-70 %)<sup>[1]</sup>, Avocadoöl (44-76 %)<sup>[1]</sup>, Gänsefett (41-72 %)<sup>[1]</sup>, Palmöl (37-42 %)<sup>[1]</sup>, Schweineschmalz (36-52 %)<sup>[1]</sup>, Sesamöl (35-46 %)<sup>[1]</sup>, Hammeltalg (31-56 %)<sup>[1]</sup>, Rindertalg (26-45 %) und besonders Sonnenblumenöl (sogenannte High-Oleic-Sonnenblumen – Sorten mit 80-93 %).

## Gewinnung und Darstellung

Die Fettsäuren lassen sich durch alkalische Verseifung aus den entsprechenden Triacylglyceriden gewinnen, indem die entsprechenden Fette oder Öle mit Basen gekocht werden. Die Verseifung selbst liefert zunächst deren Salze. Die freien Fettsäuren werden durch Neutralisation mit (Mineral-)Säure erhalten. Da die natürlichen Fette und Öle stets viele unterschiedliche Fettsäuren enthalten, schließt sich in der Regel eine destillative Trennung des entstandenen Gemisches an.

Kommerziell wird Ölsäure über eine Hydrolyse und anschließende Kristallisation aus Talg gewonnen. Durch diesen Prozess können Konzentrationen von etwa 70 % gewonnen werden, die als Olein bezeichnet werden.<sup>[3]</sup> Neben Ölsäure können in diesem Gemisch Palmitoleinsäure, Linolsäure und weitere ungesättigte und gesättigte Fettsäuren enthalten sein.<sup>[4]</sup> Durch Hydrolysierung von sehr ölsäurereichen Pflanzenölen wie Olivenöl, *Euphorbia lathyris* oder High-Oleic-Sonnenblumen können Reinheiten von mehr als 90 % gewonnen werden.<sup>[3]</sup>

## Eigenschaften

### Physikalische Eigenschaften

Reine Ölsäure ist eine farblose, ölige und fast geruchlose Flüssigkeit. Das Molekulargewicht beträgt  $282,46 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  und die Dichte  $0,89 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ <sup>[1]</sup>. Sie hat einen Schmelzpunkt von  $17 \text{ }^\circ\text{C}$ <sup>[2]</sup> und einen Siedepunkt von  $360 \text{ }^\circ\text{C}$ <sup>[2]</sup>. Die Fettsäure ist unlöslich in Wasser, jedoch löslich in Methanol.

### Chemische Eigenschaften

Ölsäure ist im Vergleich zu den mehrfach ungesättigten Fettsäuren (z. B. Linolensäure) nur wenig oxidationsempfindlich. Sie oxidiert langsam an der Luft unter Gelbfärbung, die auf die Bildung von Zerfallsprodukten zurückzuführen ist. Hauptangriffspunkt der Oxidation ist die C-C-Doppelbindung. Sie wird dabei

besonders von Licht, Wärme oder gelösten Metallionen gefördert und verläuft hauptsächlich über radikalische Reaktionsmechanismen. Wichtiger Zwischenschritt der Oxidation ist die Bildung von Hydroperoxiden (-OOH) beim Aufbrechen der C-C-Doppelbindung. Die funktionelle Gruppe (-OOH) bildet selbst ebenfalls Radikale und fördert so eine oxidative Kettenreaktion. Weiter können Hydroperoxide zu Ketonen zerfallen und, falls es auch zu einer Spaltung der einfachen C-C-Bindung kommt, auch zu Aldehyden oder Carbonsäuren.

Ölsäure und speziell ihre Salze sind amphiphil, das heißt sie beinhalten sowohl einen polaren, hydrophilen Teil (die Carboxygruppe) als auch einen unpolaren, lipophilen Teil (die Kohlenwasserstoffkette).

## Nachweis

Der Nachweis und die Gehaltsbestimmung von Ölsäure wie auch anderer Fettsäuren in Fetten wird in der Regel durch Gaschromatographie der Methyl ester durchgeführt. Eine zweite Nachweismethode wäre die Bromwasserprobe. Als Resultat hat man ein Verschwinden der Braunfärbung.

## Nutzung

Ölsäure wird als Bestandteil von Mischungen mit anderen Fettsäuren in veränderlichen Anteilen vor allem zur Herstellung von Seifen und Metallseifen sowie für die Tensidproduktion verwendet.<sup>[3]</sup>

## Weblinks

- NIST Chemistry Webbook <sup>[5]</sup>, englisch
- Ölsäurekristalle <sup>[6]</sup>, englisch
- 3D-Abbildung der kristallinen Ölsäure-Konformation <sup>[7]</sup>

## Referenzen

- [1] Heinrich Heydt, in: *Roempp Online - Version 3.5*, 2009, Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- [2] Eintrag zu *CAS-Nr. 112-80-1* ([http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?q=\[F+casnr:112-80-1\]&f=hitlist&t=main-hit-h.htm&tf=doc&tt=document-frame.htm&x=Advanced&c=redirect&s=Contents&h1=Title\[,100\]\)](http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?q=[F+casnr:112-80-1]&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 07.01.2008 (JavaScript erforderlich)
- [3] Stichwort „Oleic Acid“ In: Hans Zobelein (Hrsg.): *Dictionary of Renewable Resources*. 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim und New York 1996; Seite 92. ISBN 3-527-30114-3.
- [4] Stichwort „Olein“ In: Hans Zobelein (Hrsg.): *Dictionary of Renewable Resources*. 2. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim und New York 1996; Seite 92. ISBN 3-527-30114-3.
- [5] <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C2027476&Units=SI>
- [6] <http://www.chm.bris.ac.uk/webprojects2003/arbery/pictures.htm>
- [7] <http://www.reciprocalnet.org/recipnet/showsample.jsp?sampleId=27344383&sampleHistoryId=16422&level=65536&applet=jamm2&setApplet=1>

# Ölschrot

Als **Ölschrot** werden die bei der Verarbeitung von Ölsaaten und -früchten neben dem Öl gewonnenen festen Koppelprodukte bezeichnet. Der Begriff wird meist im Kontext der Verwendung des Pressrückstands als Tierfütterung verwendet.

## Arten und Verwendung

Zusammensetzung und Eigenschaften der Ölschrote sind abhängig vom verwendeten Ausgangsmaterial (verschiedene Ölsaaten und Ölfrüchte) und dem Verfahren der Ölgewinnung. Je nach Verarbeitungsverfahren werden Ölschrote auch Presskuchen (bei Heiß- oder Kaltpressung der Ölsaaten) oder Extraktionsschrot (bei Ölextraktion durch Lösungsmittel) genannt.

Ölschrote essbarer Pflanzen (vor allem Sojas- und Rapsschrot, aber auch Palmkern-, Sonnenblumen- und Maiskeimschrot) werden in der Regel als hochwertige Eiweißfuttermittel in der Tierernährung eingesetzt und dienen als Alternative zu Futterleguminosen oder auch zu Tier- und Fischmehl.



Rapskuchenpellets: Pelletiertes Ölschrot aus der Pressung von Rapssaat

## Markt

Vor allem Sojaschrot und Rapsschrot werden als Futtermittel weltweit in großen Mengen gehandelt. Durch den weltweiten Zuwachs in der Tierhaltung vor allem den Schwellenländern steigt der Bedarf an proteinreichen Futtermitteln. Die steigende Nachfrage nach Ölschroten wirkt sich steigernd auf die weltweite Erzeugung von Ölsaaten aus.

In Deutschland werden jährlich rund 4,5 Mio. t Rapsschrot und 2,7 Mio. t Sojaschrot erzeugt. In der Europäischen Union wurden im Jahr 2008 35,8 Mio. t Sojaschrot, 9,8 Mio. t Rapsschrot und 10,8 Mio. t weitere Ölschrote verbraucht<sup>[1]</sup>.

## Literatur

- Siegfried Graser, N. Jack, S. Pantoulier (Hrsg.): Agrarmärkte 2007. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Bd 4. Freising-Weihenstephan 2008, ISSN 1611-4159.

## Referenzen

- [1] Jörg Eggers, Kirstin Karotki, 2009: Eiweißfuttermittel und die Importabhängigkeit vom Weltmarkt. (<http://www.proteinmarkt.de/aktuelle-meldungen/artikel/eiweissfuttermittel-und-die-importabhaengigkeit-vom-weltmarkt/2009/09/16/>) Grafik: Verbrauch und Anteile von Eiweißfuttermitteln in der EU und Deutschland in 2008. Abgerufen am 18.2.2010

---

# - P -

---

## Palmöl

---

Palmöl	
	
Herkunft	Afrika, Amerika, Südostasien
Farbe	rötlich
Inhaltsstoffe	
Ölsäure	39%
Linolsäure	11%
Weitere Fettsäuren	44% Palmitins., 4% Stearins., 1% Myristins.
Σ gesättigte Fettsäuren	46
Σ einfach ungesättigte Fettsäuren	46
Σ mehrfach ungesättigte Fettsäuren	8
Eigenschaften	
Dichte	0,92 kg/l bei 15 °C <sup>[1]</sup>
Viskosität	29,4 mm <sup>2</sup> /s (bei 50 °C) <sup>[1]</sup>
Schmelzpunkt	30-37 °C <sup>[2]</sup>
Flammpunkt	267 °C <sup>[1]</sup>
Iodzahl	34 - 61 <sup>[1]</sup>
Cetanzahl	42 <sup>[1]</sup>
Herstellung & Verbrauch	
Produktion weltweit	39 Mio. t (2007/08) <sup>[3]</sup>
Wichtigste Produktionsländer	Indonesien, Malaysia <sup>[3]</sup>
Verwendung	Ernährung, Bioenergie, Industrie

**Palmöl** ist ein Pflanzenöl, das aus dem Fruchtfleisch der Ölpalme gewonnen wird. Es besteht zu 44 % aus der gesättigten Palmitinsäure und zu 39 % aus der einfach ungesättigten Ölsäure. **Palmkernöl** wird aus den Kernen der

---

Früchte gewonnen und besteht zu über 80 % aus gesättigten Fetten (überwiegend Laurinsäure).

## Palmöl

**Palmöl** (auch: **Palmfett**) wird aus dem Fruchtfleisch der Palmfrüchte gewonnen. Die Früchte werden sterilisiert und gepresst, dabei entsteht das rohe Palmöl, CPO (*Crude Palm Oil*). Früchte und Öl haben wegen ihres hohen Carotingehaltes eine orangerote Färbung, die bei der Raffination entfernt wird. Reines und frisches Palmöl hat einen spezifischen Veilchengeruch, einen süßlichen, angenehmen Geschmack und ist von klarer und heller Farbe. Kommerzielles Öl ist aber aufgrund weniger sorgfältig ausgeführter Präparationsmethoden zumeist trüb und gefärbt. Auch bekommt das Öl durch Alterung eine zunehmende Trübung und einen intensiveren Geruch. Dieser auch als Fermentation bezeichnete Alterungsprozess wird durch Mikroorganismen verursacht. Der Schmelzpunkt von Palmöl liegt, je nach Zusammensetzung, zwischen 27 und 45 °C, die Dichte beträgt etwa 921 bis 924 g/l.

Wie alle Pflanzenöle setzt sich auch Palmöl aus verschiedenen Fettsäuren zusammen, die Zusammensetzung ist dabei:

Fettsäure	Anteil	in Prozent
Palmitinsäure		44,3
Stearinsäure		4,1
Myristinsäure		1,0
Ölsäure		38,7
Linolsäure		10,5
Andere Fettsäuren		0,9

Neben einem unterdrückten Fermentationsprozess, der sich in Farbe und Geruch widerspiegelt, war in der Vergangenheit ein weiteres Qualitätskriterium im internationalen Handel mit Palmöl der Säuregehalt des Öles. Öle mit geringerem Gehalt an sauren Bestandteilen galten als qualitativ hochwertiger und waren daher auch teurer, vor allem konnte der Säuregehalt durch unsachgemäße Pressung unangenehm ansteigen. Man sprach in diesem Zusammenhang von

- Pflanzungsöl: < 3 % Säure
- Export-Pflanzungsöl: um 5 % Säure
- weichen Ölen (frz.: *huiles molles*): 12–14 % Säure
- Halbölen (frz.: *huile demi-molles*): 25–40 % Säure
- harten Ölen: > 40 % Säure

## Palmkernöl

Palmkernöl	
Rohstoffpflanze(n)	Ölpalme ( <i>Elaeis guineensis</i> )
Herkunft	Afrika, Amerika, Südostasien
Farbe	gelblich-bräunlich
Inhaltsstoffe	
Ölsäure	15%
Linolsäure	2%
Weitere Fettsäuren	8% Palmitins., 3% Stearins., 16% Myristins., 48% Laurins., 3% Caprins., 3% Capryls.
Σ gesättigte Fettsäuren	83%
Σ einfach ungesättigte Fettsäuren	15%
Σ mehrfach ungesättigte Fettsäuren	2%
Eigenschaften	
Dichte	0,925-0,935 kg/l bei 15 °C <sup>[4]</sup>
Viskosität	21,5 mm <sup>2</sup> /s (bei 50 °C) <sup>[1]</sup>
Schmelzpunkt	25-30 °C <sup>[2]</sup>
Rauchpunkt	220 °C <sup>[2]</sup>
Iodzahl	14 - 22 <sup>[1]</sup>
Herstellung & Verbrauch	
Produktion weltweit	4 Mio. t <sup>[5]</sup>
Wichtigste Produktionsländer	Indonesien, Malaysia
Verwendung	Industrie (Nahrungsmittel, Oleochemie)

*Palmkernöl* wird aus den Kernen der Ölfrüchte gewonnen. Die Kerne werden getrocknet, gemahlen und dann gepresst. Das Palmkernöl gehört wie das Kokosöl zu den Laurinölen, d. h. es enthält einen großen Anteil (bis zu 80 %) der gesättigten Fettsäure Laurinsäure. Es gehört zu den festen Pflanzenfetten.

Die Zusammensetzung des Palmkernöls unterscheidet sich deutlich vom Palmöl, sie ist:

Fettsäure	Anteil	in Prozent
Palmitinsäure		8,4
Stearinsäure		2,5
Myristinsäure		16,2
Ölsäure		15,3
Linolsäure		2,3
Laurinsäure		48,2
Caprinsäure		3,4
Caprylsäure		3,3
Andere Fettsäuren		0,4

Das rohe Öl ist gelblich-bräunlich, nach der Raffination erhält man ein fast weißes bis leicht gelbliches Fett. Palmkernöl ist bei Raumtemperatur fest, der Schmelzpunkt liegt zwischen 23 und 30 °C. Bei Körpertemperatur

schmilzt es dann jedoch rasch ab und hinterlässt dabei einen angenehmen Kühleffekt. Es wird daher gern in Kakaoglasuren, Eiskonfekt und Eiscremüberzügen und kühl-schmelzenden Schokoladenfüllungen eingesetzt. Durch verschiedene Modifikationsverfahren lassen sich aus dem Palmkernöl hochwertige Spezialfette für die Süßwarenindustrie herstellen.

Palmkernöl findet außerdem Verwendung als feste Komponente bei der Margarineherstellung. Im großen Umfang dient es auch zur Herstellung von oleochemischen Zwischenprodukten, die in der Kosmetik- und Reinigungsmittelindustrie eingesetzt werden. Auch in der Aluminiumindustrie findet es Verwendung.

## Anbauggebiete und Produktion

Die wichtigsten Anbauländer für Ölpalmen sind Malaysia und Indonesien mit zusammen über 85 % der Weltproduktion, die 2007 bei etwa 39 Mio. Tonnen Palmöl lag.<sup>[6]</sup> Dabei stieg die Weltjahresproduktion in den letzten Jahren um jährlich bis zu 15,4%, allein Indonesien konnte seine Produktion seit 2002/03 um 66% steigern<sup>[6]</sup> und im Wirtschaftsjahr 2005/06 die bis dahin von Malaysia eingenommene Marktführerschaft überholen.<sup>[7]</sup>

Damit besitzt Indonesien einen Weltmarktanteil von 44% und Malaysia einen von 43%, andere Produktionsländer wie Kolumbien, Nigeria und Thailand liegen mit jeweils etwa 800.000 Tonnen pro Jahr bei jeweils 2%.<sup>[7]</sup> Für das Wirtschaftsjahr 2008/09 wird eine weltweite Produktion von 42,9 Millionen Tonnen erwartet, damit ist Palmöl vor Sojaöl (38,8 Millionen Tonnen) das mengenmäßig am meisten produzierte Pflanzenöl der Welt.<sup>[8]</sup> Die weltweit größte Handelsgesellschaft für Palmöl ist Wilmar International.

Die Hauptabnehmer für Palmöl befinden sich vor allem in Europa und Asien. Dabei stellt Indien vor der Europäischen Union, China und Pakistan den wichtigsten Importeur dar. Vor allem in China und Indien nahm die Nutzung als Lebensmittel sehr stark zu, allein im Jahr 2006/07 steigerte sie sich weltweit um 4,5% bzw. 1,2 Millionen Tonnen während die industrielle Nutzung, vor allem durch die Herstellung von Biodiesel, um 8,9% bzw. 710.000 Tonnen gesteigert wurde.<sup>[9]</sup>

## Verwendung

Nach Sarmidi et al. 2009 werden weltweit etwa 90 % der Palmölproduktion für Nahrungsmittel verwendet und die verbleibenden 10 % für Nicht-Nahrungszwecke wie Reinigungsmittel, Kosmetika und in der oleochemischen Industrie.<sup>[10]</sup> Nur etwa 5 % werden für Biokraftstoffe verwendet<sup>[11]</sup>.

## Nutzung als Nahrungsmittel

Palmöl und Palmkernöl wird zum größten Teil im Bereich der Ernährung eingesetzt. Dabei wird Palmöl aufgrund seiner ausgezeichneten Hitze- und Oxidationsstabilität vor allem in Asien und Afrika als Speisefett zum Kochen, Braten und Friettieren eingesetzt. Außerdem wird es international für die Herstellung von Backwaren, Margarine und Süßwaren verwendet.<sup>[12]</sup> Es eignet sich entsprechend gut zum Erhitzen (Braten), da kaum mehrfach ungesättigte Fettsäuren enthalten sind, die sich durch Erhitzen in die bedenklichen *trans*-Fettsäuren verwandeln können. Rotes (unraffiniertes) Palmöl enthält eine ungewöhnlich hohe Konzentration von Carotinoiden und Vitamin E, insbesondere von Tocotrienolen. Bereits ein Esslöffel rotes Palmöl enthält mehr als die empfohlene Tagesaufnahme (*Recommended Daily Allowance*) von Vitamin A, beta-Carotin und Vitamin E. Von Herstellerseite wird ein Gehalt von 400 bis 800 ppm von Tocopherol+Tocotrienol wie auch von Carotinoiden angegeben. Rotes Palmöl ist (gefolgt von Reisöl) die beste Quelle für Tocotrienole. Das ist eine Unterklasse des Vitamin E, deren gesundheitliche Vorteile



Aus dem Fruchtfleisch der Ölpalme wird Palmöl hergestellt, Palmkernöl wird aus den Kernen der Ölf Früchte gewonnen.

gegenüber Tocopherolen seit ca. 15 Jahren erforscht werden.

Palmkernöl findet ebenfalls zu einem großen Anteil Verwendung bei der Herstellung von Margarine, der es einen butterähnlichen Geschmack verleiht. Zudem wird es aufgrund seiner Schmelzeigenschaften für Kakaoglasuren, Eiskonfekt, cremeüberzüge und schnellschmelzende Schokoladenfüllungen, Toffees und Karamell verwendet. Durch verschiedene Veränderungen kann Palmkernöl auch zu hochwertigen Spezialfetten für die Süßwarenindustrie umgewandelt werden.<sup>[12]</sup>

## Industrielle Verwendung

Palmkernöl wird mit Kokosöl aufgrund der spezifischen Eigenschaften zu den Laurinölen zusammengefasst und wird für ein großes Spektrum von Anwendungen in der Oleochemie genutzt. Ebenso wie Palmöl werden diese Öle zur Gewinnung von Laurinsäure verwendet und als Grundstoff für verschiedene Tenside wie Natriumlaurylsulfat und Sorbitanmonolaureat eingesetzt. Weitere Produkte auf der Basis von Palm- und Palmkernöl finden Verwendung in unterschiedlichen Produkten der Kosmetik- und Reinigungsindustrie.<sup>[12]</sup>

## Palmöl als Energiequelle

Die Ölpalme hat einen sehr hohen Ertrag an Öl – und damit Energie – pro Fläche. Die Fläche von einem Hektar Palmölplantage ergibt einen Ertrag von 4 bis 6 Tonnen Palmöl pro Jahr, je nach Palmorte, Wetter und Pflege. Raps liefert lediglich einen Ertrag von 1,5 bis 2,5 Tonnen Rapsöl pro Hektar Anbaufläche pro Jahr. Zugleich erspart 1 t Palmöldiesel gegenüber der Verwendung der gleichen Menge herkömmlichen Diesels 44 GJ Primärenergie und reduziert damit den CO<sub>2</sub>-Ausstoß entsprechend (CO<sub>2</sub>-Äquivalente 1,4 t). Da Palmöl zudem aus Kohlenwasserstoffketten besteht, die denen mineralischer Öle ähneln, kann es unproblematisch herkömmlichem Diesel beigemischt werden. Aus diesen Gründen wird dem Palmöl als nachwachsende

Energiequelle eine sehr gute Öko- und Energiebilanz bescheinigt, was aber sehr kritisch zu betrachten ist. Wenn es in großem Maßstab angebaut wird und in Flächenkonkurrenz mit dem tropischen Regenwald tritt, was bei einem Großteil der momentanen Anbaufläche zutrifft, dann sind die Auswirkungen auf die Umwelt negativ.<sup>[13]</sup>

Malaysia bereitet einen verpflichtenden Wechsel von Diesel auf Biokraftstoffe zum Jahr 2008 vor. Seit 2007 muss in Malaysia verkaufter Diesel 5 % verestertes Palmöl enthalten. Zudem unterstützt die malayische Regierung aufgrund steigender Mineralölpreise den Bau von Palmöl-Biodiesel-Anlagen der finnischen Firma Neste Oil im Land. Die erste Anlage im finnischen Porvoo startete Mitte 2007 die Produktion des als „Next Generation Biomass-to-Liquid“ (NExBtL) bezeichneten Biodiesels mit einer Jahreskapazität von 170.000 Tonnen. Der dort produzierte NExBtL erreicht eine Cetanzahl von 84 bis 99 und wies in Fahrversuchen mit Bussen abhängig vom Fahrzyklus bis zu 45% weniger Partikel ausstoß und bis zu 20% weniger Stickoxide (NO<sub>x</sub>) auf. Ein weiterer Vorteil sind die geringen Kosten für die Herstellung, die bei rund einem Viertel gegenüber anderen Biodieselarten liegen. Zwei weitere Anlage befinden sich im Bau und sollen 2011 die Produktion von jeweils 800.000 t pro Jahr in Singapur<sup>[13]</sup> und Rotterdam<sup>[14]</sup> aufnehmen. Der österreichische Konzern OMV AG plant 2009 eine Anlage für NExBtL mit 200.000 t/a in Betrieb zu nehmen.<sup>[13]</sup> Die Pläne für eine Palmölraffiniere in Deutschland am Standort Emden scheiterten dagegen Anfang 2007.

Die Herstellung des Kraftstoffs aus Palmöl erfolgt nach einer Vorbehandlung mit Phosphorsäure (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) und Natronlauge (NaOH). Das Öl wird bei Temperaturen von 320 bis 360 °C und bis zu 80 bar Druck unter Zusatz von Katalysator mit Wasserstoff (H<sub>2</sub>) versetzt (hydriert). Der Wasserstoff wird in Parvoo in einem mit Erdgas betriebenen Dampfreformer erzeugt. Zur Strom- und Dampferzeugung dienen die im Prozess anfallenden Abfallstoffe (Schlämme, Gase und Benzinreste) in einem Blockheizkraftwerk.<sup>[13]</sup>



Palmöltanks an einem Biokraftwerk werden befüllt

## Ökologische Probleme

→ *Hauptartikel: Ölpalme#Nachhaltigkeit und ökologische Probleme*

Vor allem aufgrund der Plantagenwirtschaft und der damit einhergehenden Abholzung großer Regenwaldflächen in den Hauptanbaugebieten der Ölpalme steht der Anbau von Ölpalmen international sowohl bei Umweltschutzorganisationen als auch politisch in der Kritik. Der Anbau der Ölpalmen erfolgt zudem nach gängiger Einschätzung gegenwärtig in ökologisch nicht nachhaltiger Weise. Verschiedene Umweltschutzorganisationen, in Deutschland insbesondere Greenpeace und Rettet den Regenwald, weisen darauf hin, dass für die Errichtung von neuen Ölpalmplantagen in großem Umfang Regenwälder zerstört werden. Diese Aussagen wurden durch Forschungsergebnisse auf der Basis von Daten der FAO bestätigt, nach denen zwischen 1990 und 2005 1,87 Millionen Hektar Palmölplantagen in Malaysia und mehr als 3 Millionen Hektar in Indonesien neu angelegt wurden, von denen mehr als die Hälfte durch Abholzung von Wäldern entstand.<sup>[15]</sup>



Palmölplantage

Während für Palmöl und andere biogene Energieträger ein in der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung seit 2007 gesetzlich vorgeschriebenes Zertifizierungssystem die ökologische und soziale Nachhaltigkeit des Anbaus in Zukunft gewährleisten und damit ungewollte Auswirkungen wie Urwaldrodung und Menschenrechtsverletzungen verhindern soll, wird die Produktion der anderen Palmölprodukte wie Kosmetika und Margarine weiterhin keinerlei Nachhaltigkeitskriterien unterworfen sein. Der im Jahr 2003 auf Initiative des WWF gegründete *Runde Tisch für nachhaltiges Palmöl* (Roundtable on Sustainable Palm Oil, RSPO) versucht als zentrale Organisation nachhaltige Anbaumethoden für Palmöl zu fördern und so die Umweltschädigung zu begrenzen.<sup>[16]</sup> Mitglieder des Roundtable sind neben Umweltschutzverbänden und anderen NGOs vor allem Firmen und Institutionen aus der Wertschöpfungskette des Palmöls, darunter Plantagenbetreiber, Händler und industrielle Abnehmer von Palmöl, aber auch Investoren und Banken.<sup>[17]</sup>

## Literatur

- Sabine Krist, Gerhard Buchbauer, Carina Klausberger: *Lexikon der pflanzlichen Fette und Öle*. Springer Verlag, Wien 2008; S. 330-337. ISBN 978-3-211-75606-5.
- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: *Sozial-ökologische Bewertung der stationären energetischen Nutzung von importierten Biokraftstoffen am Beispiel von Palmöl*. Studie vom Februar 2008 (Pressemitteilung und Endbericht <sup>[18]</sup>)

## Weblinks

### positiv/neutral

- Analyse von Palmöl (USDA) <sup>[19]</sup> (englisch)
- Informationen eines Chemiehandelsunternehmens zu Palmöl und Palmkernöl <sup>[20]</sup>
- Runder Tisch für Nachhaltiges Palmöl <sup>[21]</sup> (englisch)

### kritisch

- Borneo Orang-Utan-Hilfe zur Palmöl-Problematik <sup>[22]</sup>
- Information des WWF zum Palmölproblem in Indonesien <sup>[23]</sup>
- Webseite von Rettet den Regenwald e.V. (Suchwort: Palmöl) <sup>[24]</sup>
- *Klimakiller Palmöl* (Bayerischer Rundfunk 12.3.2007) <sup>[25]</sup>

- *Palmöl-Boom* (SF 14.10.2008) <sup>[26]</sup>
- *The slippery business of palm oil* (The Guardian 6.11.2008) <sup>[27]</sup>
- [http://www.globalfilm.de/film\\_palmoelproduktion.shtml](http://www.globalfilm.de/film_palmoelproduktion.shtml)
- *Ökologische Wüsten statt Dschungel*, (SZ online, 25.8.2009) <sup>[28]</sup>

## Referenzen

- [1] FNR: Biokraftstoffe Basisdaten Deutschland. Oktober 2008. ([http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_174-basisdaten\\_biokraftstoff-freigabe.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174-basisdaten_biokraftstoff-freigabe.pdf)) (pdf)
- [2] Bertrand Matthäus: Welches Fett und Öl zu welchem Zweck? Merkmale und Spezifikationen von Ölen und Fetten. ([http://www.dgfett.de/material/welches\\_fett.pdf](http://www.dgfett.de/material/welches_fett.pdf)) (PDF)
- [3] Graser, S.; Jack, N.; Pantoulier, S. (Hrsg.): *Agrarmärkte 2007*. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 4/2008, S. 83-85
- [4] Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 2002: *Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke*. Reihe: Materialien Umwelt & Entwicklung Bayern. S. 18.
- [5] IKW, 2008, *Fakten zur Verwendung von Palm(kern)ölen in Wasch-, Pflege- und Reinigungsmitteln in Deutschland* (<http://www.ikw.org/pdf/broschueren/FaktenblattPalmkern.pdf>) (PDF)
- [6] Graser, S.; Jack, N.; Pantoulier, S. (Hrsg.): *Agrarmärkte 2007*. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 4/2008
- [7] *Indonesia: Palm Oil Production Prospects Continue to Grow* ([http://www.pecad.fas.usda.gov/highlights/2007/12/Indonesia\\_palmoil/](http://www.pecad.fas.usda.gov/highlights/2007/12/Indonesia_palmoil/)) United States Department of Agriculture (USDA) Foreign Agricultural Service, 31. Dezember 2007
- [8] *Palmöl weltweit an der Spitze* ([http://www.zmp.de/presse/agrarwoche/marktgrafik/2008\\_07\\_28\\_zmpmarktgrafik\\_331\\_Welt-Pflanzenoel-Produktion.asp?id=rss20080728](http://www.zmp.de/presse/agrarwoche/marktgrafik/2008_07_28_zmpmarktgrafik_331_Welt-Pflanzenoel-Produktion.asp?id=rss20080728)), Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH (ZMP), 28. Juli 2008.
- [9] *Palm Oil Continues to Dominate Global Consumption in 2006/07* (<http://www.fas.usda.gov/oilseeds/circular/2006/06-06/Junecov.pdf>). Oilseeds: World Markets and Trends FOP 6-06, United States Department of Agriculture (USDA) Juni 2006
- [10] Mohammad R. Sarmidi, Hesham A. El Enshasy und Mariani Abdul Hamid: *Oil Palm: The Rich Mine for Pharma, Food, Feed and Fuel Industries*, American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science 5(6), S. 767-776, 2009, ISSN 1818-6769
- [11] *Palmöl-Boom in Malaysia*, VDI-Nachrichten Nr. 41, S. 6, 10. Oktober 2008.
- [12] Sabine Krist, Gerhard Buchbauer, Carina Klausberger: *Lexikon der pflanzlichen Fette und Öle*. Springer Verlag, Wien 2008; S. 330-337. ISBN 978-3-211-75606-5.
- [13] *Premium-Biodiesel aus Palmöl bedroht Regenwald* ([http://www.vdi-nachrichten.de/vdi-nachrichten/aktuelle\\_ausgabe/akt\\_ausg\\_detail.asp?cat=2&id=37992&source=paging&cp=1](http://www.vdi-nachrichten.de/vdi-nachrichten/aktuelle_ausgabe/akt_ausg_detail.asp?cat=2&id=37992&source=paging&cp=1)) in VDI-Nachrichten, 11. April 2008
- [14] *Neste Oil to build a NExBTL renewable diesel plant in Rotterdam* (<http://www.nesteoil.com/default.asp?path=1;41;540;1259;1261;9663;10465>), Pressemitteilung von Neste Oil, 13.06.2008
- [15] *Tropical forests axed in favour of palm oil*. (<http://environment.newscientist.com/channel/earth/mg19826582.900-tropical-forests-axed-in-favour-of-palm-oil.html>) NewScientist Environment 31. Mai 2008.
- [16] Roundtable on Sustainable Palm Oil, Website (<http://www.rspo.org/>)
- [17] *Players in the Palm Oil Supply Chain* ([http://www.rspo.org/Players\\_in\\_the\\_Palm\\_Oil\\_Supply\\_Chain.aspx](http://www.rspo.org/Players_in_the_Palm_Oil_Supply_Chain.aspx)) auf den Seiten des Roundtable on Sustainable Palm Oil
- [18] [http://www.ifeu.de/index.php?bereich=lan&seite=palmoel\\_bmu](http://www.ifeu.de/index.php?bereich=lan&seite=palmoel_bmu)
- [19] <http://www.juggernaut.com.au/food/index.php?f=palm&n=4055>
- [20] [http://www.heess.de/produkte/prod\\_verz/prod\\_besch/prod\\_palm.htm](http://www.heess.de/produkte/prod_verz/prod_besch/prod_palm.htm)
- [21] <http://www.rspo.org/>
- [22] <http://www.borneorangutanhilfe.de/Palmoel.html>
- [23] <http://www.wwf.de/regionen/indonesien-malaysia/>
- [24] <http://www.regenwald.org>
- [25] <http://www.br-online.de/daserste/report/archiv/2007/00372/>
- [26] <http://www.sf.tv/sf1/kassensturz/manual.php?catid=kassensturzsendungsartikel&docid=20081014-palmoel>
- [27] <http://www.guardian.co.uk/environment/2008/nov/06/1>
- [28] <http://www.sueddeutsche.de/wissen/841/485269/text/>

# Papier

**Papier** (von französ.: *papier*, aus griechisch *πάπυρος* *pápyros*, „Papyrusstaude“) ist ein Material, das vorwiegend zum Beschreiben und Bedrucken verwendet wird und größtenteils aus pflanzlichen Fasern besteht. Weitere wichtige Einsatzgebiete sind Verpackungen (Pappe, Karton), Hygienepapiere wie Toilettenpapier und Spezialpapiere wie Tapeten. Heute wird Papier in der Regel aus Zellstoff oder aus Holzstoff (aus Holzschliff) hergestellt. Wiederverwertetes Papier in Form von Altpapier stellt mittlerweile eine wichtige Rohstoffquelle in Europa dar.

Normalerweise wird Papier als dünnes Substrat verwendet; es kann aber auch zu massiven Objekten wie Pappmaché geformt werden. In Japan und China wird Papier in der Inneneinrichtung vielfältiger verwendet, beispielsweise die japanischen Shoji, mit durchscheinendem Washi-Papier bespannte Raumteiler.



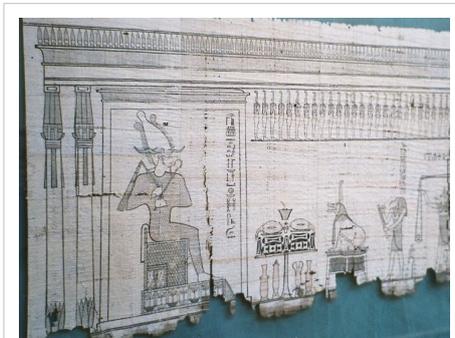
Stapel von Blattpapier

## Geschichte

### Frühere Schriftträger

Höhlenzeichnungen sind die ältesten Dokumente, die der Mensch mit Pigmentfarbe auf einen Untergrund gezeichnet hat. Die Sumerer, die Träger der ältesten bekannten Hochkultur, schrieben seit etwa 3200 v. Chr. mit Keilschrift auf weiche Tontafeln, die zum Teil bis heute überliefert sind, weil sie durch Zufälle gebrannt wurden. Auch aus Ägypten sind Schriftträger aus anorganischen Materialien bekannt, beispielsweise die Prunkpalette des Königs Narmer (3100 v. Chr.) aus Speckstein.

Papyrus besteht aus den flach geschlagenen, über Kreuz gelegten und gepressten Stängeln der am gesamten unteren Nil in ruhigen Uferzonen wachsenden Schilfpflanzen (Echter Papyrus). Geschrieben wurde darauf mit schwarzer und roter Farbe. Die schwarze Tusche bestand aus Ruß und einer Lösung von Gummi arabicum, die rote Farbe wurde auf Ocker-Basis hergestellt. Das Schreibgerät war ein Pinsel aus Binsen. Zwar gab es Papyrus im antiken Griechenland, jedoch war eine Verbreitung über Griechenland hinaus kaum bekannt. Im 3. Jahrhundert ersetzten die Griechen den Pinsel durch eine gespaltene Rohrfeder. Von dem griechischen Wort *pápyros* leitet sich das Wort Papier ab.



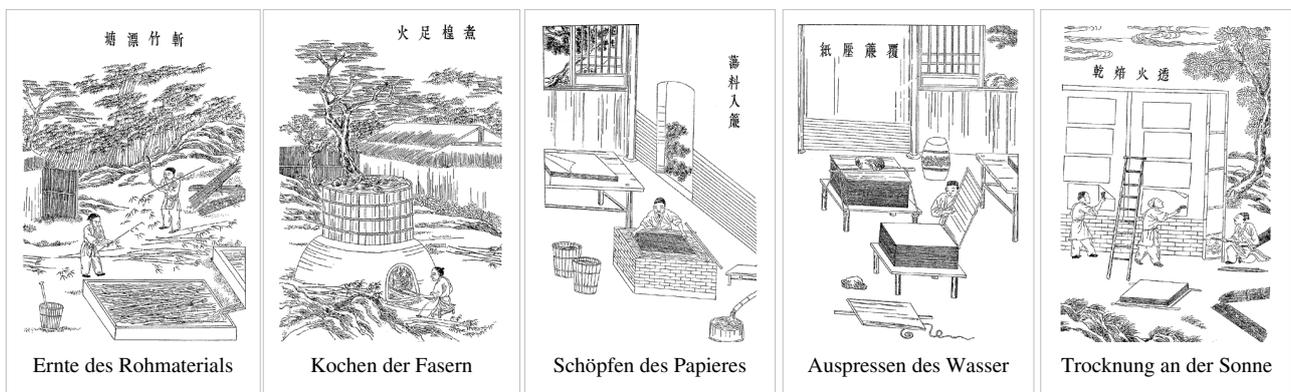
Antiker ägyptischer Papyrus

Im Römischen Reich wurde sowohl Papyrus benutzt als auch Wachstafeln. In die Letzteren wurde der Text mittels angespitzter Griffel geritzt. Nach dem Auslesen wurde das Wachs mit einem Schaber geglättet und die Tafel konnte erneut beschrieben werden. Öffentliche Verlautbarungen wurden meist als dauerhafte Inschrift an Tempeln oder Verwaltungsgebäuden angebracht. In Indien wurden Blätter von Palmengewächsen und in China Tafeln aus Knochen, Muscheln, Elfenbein benutzt. Später bestanden Schrifttafeln auch aus Bronze, Eisen, Gold, Silber, Zinn, Jade, Steinplatten und Ton oder auch aus organischem Material, wie Holz, Bambusstreifen und Seide. Pflanzenblätter und Tierhäute wurden noch nicht als Schriftträger benutzt. Orakelknochen wurden mit Griffeln geritzt oder mit Tinte mit Lampenruß oder Zinnober als Pigment beschriftet. Im mittelalterlichen Europa wurde dann vermehrt Pergament aus Tierhäuten benutzt. Die Tierhäute werden mit Pottasche oder Kalk gebeizt, gründlich gereinigt und aufgespannt getrocknet, es folgt das Schaben und die Oberflächenbearbeitung.

## Erfindung des Papiers

Die Erfindung des Papiers wird Tsai-Lun zugeschrieben, obwohl es Funde aus China gibt, die auf etwa 200 v. Chr. datiert wurden. Tsai-Lun war um 105 n. Chr. (Belegdatum der ersten Erwähnung der chinesischen Papierherstellungsmethode) chinesischer Ackerbauminister und beschrieb erstmalig das heute bekannte Verfahren, Papier herzustellen.<sup>[1]</sup> Zu seiner Zeit gab es einen papierartigen Beschreibstoff, welcher aus Seidenabfällen hergestellt wurde (*Chi*). Diesem mischten die frühen Papiermacher noch alte Lumpen und Fischnetze bei und ergänzten es mit Bast des Maulbeerbaumes.<sup>[2]</sup> Die chinesische Erfindung bestand vor allem in der neuartigen Zubereitung: Die gesäuberten Fasern und Fasernreste wurden zerstampft, gekocht und gewässert. Anschließend wurden einzelne Lagen mit einem Sieb abgeschöpft, getrocknet, gepresst und geglättet. Beim Schöpfen entstand an dem Papier eine „Schönseite“ die oberhalb des Siebes lag, und eine „Siebseite“, die an dem Sieb lag. Der entstehende Brei aus Pflanzenfasern lagerte sich als Vlies ab und bildete ein relativ homogenes Papierblatt.

### Papierherstellung auf einer chinesischen Federzeichnung



Da Bast ein Material ist, das im Vergleich zu dem heute verwendeten Holz längere Fasern und dadurch eine hohe zeitliche Haltbarkeit hat, war das Papier von Ts'ai Lun nicht nur zum Schreiben verwendbar, sondern auch für Raumdekorationen etwa in Form von Tapeten sowie Kleidungsstücken. Die Verwendung von Maulbeerbast lag nahe, da der Seidenspinner sich von den Blättern des Maulbeerbaums ernährte und somit dieses Material ein ohnehin vorhandenes Nebenprodukt aus der Seidenproduktion war. Wie alt die Verwendung von Bast ist, belegt die Gletschermumie Ötzi (circa 3.300 v. Chr), die Kleidungsstücke aus Lindenbast trägt.

### Amerika

In der neuen Welt wurde ein papierähnlicher Beschreibstoff im 5. Jh. n.Chr. von den Maya hergestellt.<sup>[3]</sup> Allerdings ist dieses Material, der Herstellungsart nach, eher dem Papyrus verwandt, denn es wird aus kreuzweise verpressten Baststrängen, nicht aber aus aufgeschlossenen Einzelfasern erzeugt. Auch der für die Papierdefinition essenziell wichtige Entwässerungsvorgang erfolgt weder auf einem Sieb noch durch mechanischen Wasserentzug. Insofern wäre es falsch, von einer Erfindung des Papiers in Amerika zu sprechen. Die tatsächliche und unabhängige Urherstellung von Papier lässt sich nur für Europa und Asien nachweisen.

## Asien und Ozeanien

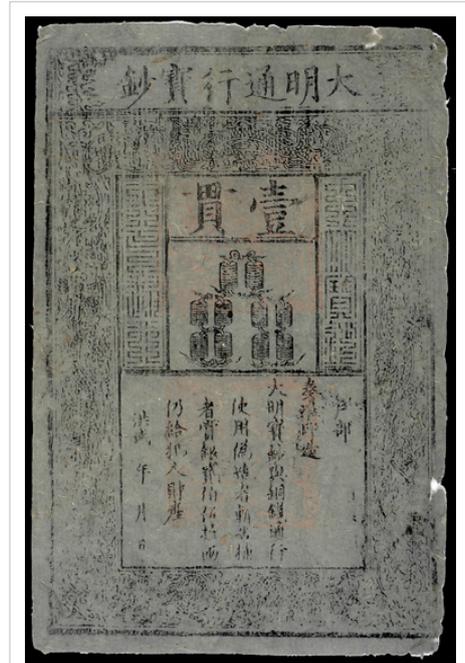
Bereits im 2. Jahrhundert gab es in China Papiertaschentücher. Im 5. Jahrhundert stellte man Toilettenpapier aus billigstem Reisstrohpapier her. Alleine in Peking wurden jährlich 10 Millionen Päckchen mit 1000 bis 10.000 Blatt produziert. Die Abfälle an Stroh und Kalk bildeten bald große Hügel, Elefanten-Gebirge genannt. Für Zwecke des chinesischen Kaiserhofes stellte die kaiserliche Werkstatt 720.000 Blatt Toilettenpapier her. Für die kaiserliche Familie waren es noch einmal 15.000 Blatt hellgelbes, weiches und parfümiertes Papier. Bekannt ist, dass um das Jahr 300 die Thais die Technik des schwimmenden Siebs zur Papierherstellung verwendeten und um das Jahr 600 die Technik des Schöpfsiebs in Korea und um 625 in Japan verwendet wurden. Die Amtsrobe der japanischen Shintō-Priester, die auf die Adelstracht der Heian-Zeit zurückgeht, besteht aus weißem Papier (Washi), das vorwiegend aus Maulbeerbaum-Bast besteht.

Kaiser Gaozong (650 bis 683, Tang-Dynastie) ließ erstmals Papiergeld ausgeben. Auslöser war ein Mangel an Kupfer für die Münzprägung. Seit dem 10. Jahrhundert hatten sich Banknoten in der Song-Dynastie durchgesetzt. Ab etwa 1300 waren sie in Japan, Persien und Indien im Umlauf und ab 1396 in Vietnam unter Kaiser Tran Thuan Tong (1388–1398).

Im Jahr 1298 berichtete Marco Polo über die starke Verbreitung des Papiergeldes in China, wo es zu dieser Zeit eine Inflation gab, die den Wert auf etwa 1 % des ursprünglichen Wertes fallen ließ. Im Jahre 1425 wurde das Papiergeld allerdings wieder abgeschafft, um die Inflation zu beenden. Um das Inumlaufbringen von Falschgeld zu erschweren, wurde Papiergeld zeitweise aus einem Spezialpapier gefertigt, welches Zusätze an Seidenfasern, Insektiziden und Farbstoffen enthielt.

## Arabische Welt

Wann genau das erste Papier in der arabischen Welt produziert wurde, ist umstritten. So wird als Datum 750 oder 751 genannt, als vermutlich bei einem Grenzstreit gefangengenommene Chinesen die Technik der Papierherstellung nach Samarkand gebracht haben sollen. Andererseits gibt es Erkenntnisse, die zu der Annahme führen, dass in Samarkand bereits 100 Jahre früher Papier bekannt war und auch hergestellt wurde. Als Papierrohstoff wurden Flachs und Hanf (Hanfpapier) benutzt. Bald hatten die Araber eine blühende Papierindustrie aufgebaut. In Bagdad wurde um 795 eine Papiermühle errichtet, 870 erschien dort das erste Papierbuch. Papiergeschäfte waren wissenschaftliche und literarische Zentren, die von Lehrern und Schriftstellern betrieben wurden. Das Haus der Weisheit entstand nicht zufällig zu dieser Zeit in Bagdad. In den Kanzleien des Kalifen Harun ar-Raschid wurde auf Papier geschrieben. Es folgten Papierwerkstätten in Damaskus, Kairo, in nordafrikanischen Provinzen bis in den Westen. Die Araber entwickelten die Herstellungstechnik weiter. Das Schöpfsieb aus Metalldraht ermöglichte es nun, Wasserzeichen zu verwenden. Durch Verwendung von Stärke konnte die Leimung (dünner Überzug, um Papier glatter und weniger saugfähig zu machen; die Tinte oder Tusche verläuft weniger stark) deutlich verbessert werden. Genormte Flächenmaße wurden eingeführt. 500 Bogen waren ein Bündel (rizma), worauf der heute noch in der Papierwirtschaft übliche Begriff Ries zurückgeht. Vom 8. bis zum 13. Jahrhundert dauerte die hohe Blütezeit des islamischen Reiches. Als Kulturzentrum zog Bagdad Künstler, Philosophen und Wissenschaftler, insbesondere Christen und Juden aus Syrien an.



Papiergeld der Hongwu-Ära

## Europa

Über den Kulturkontakt zwischen dem christlichen Abendland und dem arabischen Orient sowie dem islamischen Spanien gelangte das Schreibmaterial seit dem 12. Jahrhundert nach Europa. In San Felipe (Xativa) bei Valencia gab es nach einem Reisebericht von Al-Idrisi bereits in der Mitte des 12. Jahrhunderts eine blühende Papierwirtschaft, die auch in die Nachbarländer hochwertige Produkte exportierte. Auch nach der Vertreibung der Araber aus Spanien blieb das Gebiet um Valencia bedeutend für die Papierwirtschaft, da hier viel Flachs (Leinen) angebaut wurde, welcher ein hervorragender Rohstoff für die Papierherstellung ist.

Mit der Ausbreitung der Schriftlichkeit in immer weitere Bereiche der Kultur (Wirtschaft, Recht, Verwaltung und Weitere) trat das Papier gegenüber Pergament seit dem 14. Jahrhundert seinen Siegeszug an. Ab der Mitte des 15. Jahrhunderts begann mit dem Buchdruck auf dem billigeren Papier das Pergament als Beschreibstoff in den Hintergrund zu treten. Allerdings dauerte es bis ins 17. Jahrhundert, bis es vom Papier weitgehend verdrängt wurde. In der Folge spielte Pergament nur noch als Luxusschreibmaterial eine Rolle.

## Anfänge der Papierherstellung in europäischen und asiatischen Ländern

1100	Spanien: San Felipe bei Valencia
1109	Siziliens ältestes auf Papier geschriebenes Dokument
1225	Frankreichs ältestes Papierdokument
1228	Kaiser Friedrich II. sendet von Barletta die älteste auf deutschsprachigem Boden noch vorhandene Urkunde auf Papier an das Nonnenkloster Göss in Österreich. Das Mandat befindet sich heute im Haus-, Hof- und Staatsarchiv in Wien.
vor 1231	Papiermühle in Amalfi (unsicher)
1231	Für Urkunden verbietet Kaiser Friedrich II. die Verwendung von Papier im Königreich Sizilien
1236	Laut den Statuten Paduas sind Urkunden auf Papier ohne Rechtskraft
1246	Das in Lyon geschriebene Registerbuch des Passauer Domdekans Albert Behaim auf italienischem Papier ist die älteste in Deutschland erhaltene Papierhandschrift
1268	In Italien wird Papier hergestellt (Papiermühle in Fabriano bei Ancona)
1282	Erfindung des Wasserzeichens in Bologna
1283	Papiermühle in Treviso
1293	Papiermühle in Bologna
1389	Deutschlands erste Papiermühle, die Gleismühl wurde von Ulman Stromer in Nürnberg gegründet (siehe unten).
1393	Weitere Papiermühlen in Deutschland folgten: 1393 Ravensburg, 1398 Chemnitz, 1407 Augsburg, 1415 Straßburg, 1420 Lübeck, 1460 Wartenfels, 1468 Kempten, 1478 Memmingen. Bis Ende des 16. Jahrhunderts gab es etwa 190 Papiermühlen in Deutschland.
1411	Marly FR in der Schweiz
1469	St. Pölten in Österreich
1494	Stevenage in England
1573	Klippan in Schweden
1576	Moskau in Russland
1586	Dordrecht in Holland

Die erste deutsche Papiermühle entstand 1389/1390 bei Nürnberg. Gegründet wurde die Gleismühl vom Ratsherrn und Exportkaufmann Ulman Stromer. Stromer unternahm Geschäftsreisen, unter anderem auch in die Lombardei, und kam dort mit der Papierherstellung in Berührung. Stromer ließ Mitarbeiter und Erben einen Eid ablegen, die Kunst der Papierherstellung geheim zu halten. Die Gleismühl bestand aus zwei mit Wasserkraft angetriebenen

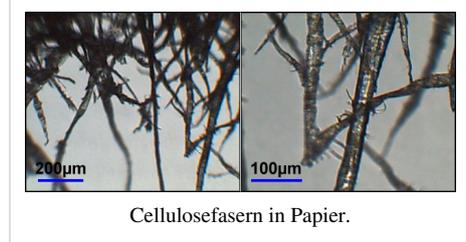
Werkseinheiten. Die kleinere Mühle wies zwei Wasserräder auf, die größere verfügte über drei. Insgesamt wurden 18 Stampfen angetrieben.

1389 bis 1394 leitete Stromer selbst die Papiermühle und verpachtete sie dann gegen eine Pacht von „30 Ries gross Papier“ an Jörg Tirman, seinen Mitarbeiter. Die Schedelsche Weltchronik von 1493 zeigt sie als früheste Darstellung einer Papiermühle auf der Darstellung der Stadt Nürnberg. Die Gleismühle brannte später ab.

## Herstellung und Vermarktung

Unabhängig von der Faserart kann Papier in Handarbeit oder maschinell hergestellt werden.

Papier besteht hauptsächlich aus Cellulosefasern, die wenige Millimeter bis zu einigen Zentimetern lang sind. Die Cellulose wird zunächst weitgehend freigelegt, also von Hemicellulosen, Harzen und anderen Pflanzenbestandteilen getrennt. Der so gewonnene Zellstoff wird mit viel Wasser versetzt und zerfasert. Diesen dünnen Brei nennt der Papiermacher „Stoff“ oder „Zeug“. Wenn dieser in einer dünnen Schicht auf ein feines Sieb gegeben wird, hat er einen Wassergehalt von über 99 % (Papiermaschinenauflauf) beziehungsweise etwa 97 % bei der Handschöpferei. Ein Großteil des Wassers tropft ab. Das Sieb muss bewegt werden, so dass sich die Fasern möglichst dicht über- und aneinander legen und ein Vlies, das Papierblatt, bilden. Wenn das Papier getrocknet ist, kann die Oberfläche mit Hilfe von Stärke, modifizierter Cellulose (beispielsweise Carboxymethylcellulose) oder Polyvinylalkohol geschlossen werden. Dieser Vorgang wird als Leimung bezeichnet, obwohl der Begriff Imprägnierung der richtige wäre. Leimung erfolgt heute auch mit Harzseifen und/oder Alkylketendimeren innerhalb des Stoffes (Masseleimung in der Papiermaschine oder Bütte).



Wird auf dem Handschöpf- oder Rundsieb ein Muster aus Draht angebracht, lagern sich an dieser Stelle weniger Fasern ab, und das Muster ist beim fertigen Papier zumindest im Gegenlicht als Wasserzeichen zu erkennen. Wasserzeichen werden heute auch auf der Papiermaschine als Egoutteurwasserzeichen gefertigt (siehe dazu auch ausführlicher Artikel Wasserzeichen).

## Geschichte der Papierherstellung

In Japan verfeinerte man die Technik und setzte dem Faserbrei Pflanzenschleim der Wurzel des *Abelmoschus manihot* zu. Die Fasern waren nun gleichmäßiger verteilt, es traten keine Klümpchen mehr auf. Dieses Papier bezeichnet man als Japanpapier.

Zunächst wurde Papier mit dem *schwimmenden Sieb* geschöpft. Das Bodengitter des Siebes war fest mit dem Rahmen verbunden. Jedes geschöpfte Blatt musste im Sieb trocknen und konnte erst dann herausgenommen werden. Entsprechend viele Siebe waren nötig. Diese Technik gelangte um das Jahr 300 zu den Thai.

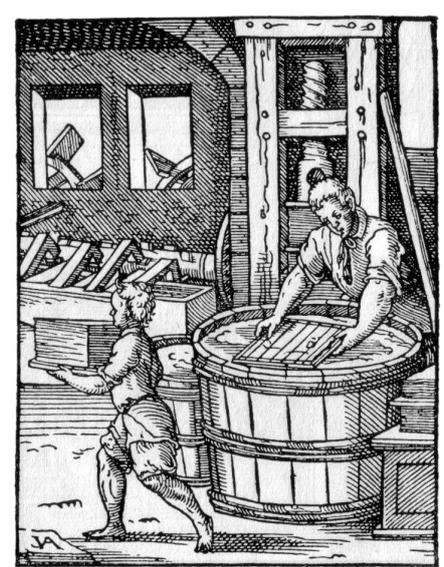
Um das Jahr 600 gelangte die weiter entwickelte Technik des Schöpfens mit dem *Schöpfesieb* nach Korea und später nach Japan. Bei dem Schöpfesieb kann der Rahmen vom Sieb gelöst werden. Das frisch geschöpfte Blatt kann feucht entnommen und zum Trocknen ausgelegt werden. Diese Technik wird heute noch bei *handgeschöpftem Papier* verwendet. Daraus ergibt sich, dass das Schöpfesieb in der Zeit zwischen 300 und 600 erfunden wurde.

Der Prozess der Papierherstellung besteht aus rund 60 Arbeitsschritten.

Die benötigten Zellstofffasern wurden bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts aus abgenutzten Leinentextilien (Lumpen, Hadern (von althochdeutsch *hadara*, „Schafspelz“)) gewonnen. Lumpensammler und -händler versorgten die Papiermühlen mit dem Rohstoff. Lumpen waren zeitweise so begehrt und rar, dass für sie ein Exportverbot bestand, welches auch mit Waffengewalt durchgesetzt wurde. In den Papiermühlen wurden die Hadern in Fetzen geschnitten, manchmal gewaschen, einem Faulungsprozess unterzogen und schließlich in einem Stampfwerk zerfasert. Das Stampfwerk wurde mit Wasserkraft angetrieben.

Die Rohstoffaufbereitung erfolgte noch im 17. Jahrhundert in handwerklich organisierten Betrieben sowie teilweise in größeren Manufakturen mit einem höheren Grad der Arbeitsteilung. Im frühen 18. Jahrhundert wurden halbmechanische Lumpenschneider eingeführt, die zunächst nach dem Fallbeilprinzip sowie später nach dem Scherenprinzip arbeiteten. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts ging man dazu über, die Hadern statt des Faulens und Reinigens mit Chlor zu bleichen. Der Verlust an Fasern war so geringer, es konnten außerdem auch farbige Stoffe zu weißem Papier verarbeitet werden. Die typische Archivordnung in farbigen Aktendeckeln stammt beispielsweise noch aus der Zeit, als echt gefärbte blaue und rote Lumpen nur zu rosa oder hellblauem Papier verarbeitet werden konnten. Erst im 19. Jh. kommen andersfarbige Aktendeckel (etwa gelb) hinzu.

Aus dem dünnen Papierbrei (*Stoff*) in der Bütte (= Bottich, daher der Name des Büttenpapiers) schöpfte der Papiermacher das Blatt mit Hilfe eines sehr feinmaschigen, flachen, rechteckigen Schöpfsiebes aus Kupfer von Hand. Das Schöpfsieb zeichnet sich durch einen abnehmbaren Rand, den *Deckel* aus. Die Größe des Papierbogens wurde von der Größe des Siebes bestimmt. Nun drückte der Gautscher den frischen Bogen vom Sieb auf ein Filz ab, während der Schöpfer den nächsten Bogen schöpfte. Nach dem Gautschen wurden die Bögen in großen trockenen Räumen, vornehmlich auf Speichern und Dachböden, zum Trocknen aufgehängt. Anschließend wurde das Papier nochmals gepresst, geglättet, sortiert und verpackt (eine Pauscht entspricht 181 Bogen Papier). Handelte es sich um Schreibpapier, wurde es geleimt. Dazu wurde es in Leim getaucht, gepresst und getrocknet. Der Leim hindert die Tinte am Verlaufen. Bei Handarbeit, die heute in der Regel nur bei Fasern – und somit Papier – hoher Qualität angewendet wird, nehmen die Fasern keine bevorzugte Richtung ein (Isotropie)



Der Papyrer aus Jost Ammans *Ständebuch*, 1568

Der moderne technische Durchbruch begann sich mit der Erfindung des **Holländers** um 1670 abzuzeichnen. Es handelt sich um eine Maschine, die den Faserbrei (Pulpe) nicht mehr durch reine Schlageinwirkung aufschließt, sondern durch eine kombinierte Schneid- und Schlageinwirkung. Der Holländer bot aufgrund der hohen Rotationsgeschwindigkeit einen schnelleren Faserdurchgang als das Stampfwerk. Somit stieg die Produktivität der Faseraufbereitung. Üblicherweise wurden Holländer anfangs dort eingesetzt, wo nur geringe Wasserkraft zur Verfügung stand (geringe Antriebsmomente aber hohe Drehzahlen möglich) und/oder eine Feinzeugaufbereitung einem großen Stampfwerk nachgeschaltet werden sollte. Das Zeitverhältnis für 1 kg Ganzstoff liegt bei etwa 12:1 (Stampfzeit/Holländerzeit) wobei die schonende Stampfung eindeutig den besseren Halbstoff ergibt. Der Holländer wurde in deutschen Papiermühlen ab etwa 1710 umfassend eingesetzt. Durch den höheren, möglichen Eintrag im Holländer (circa 15 kg Stoff im Gegensatz zu 2–5 kg im Stampfwerk) und die geringere, erforderliche Mannkapazität verbreitete sich das Gerät schnell. Auch ist der Holländer wartungsärmer als ein Stampfwerk, was sich bei den Reinvestitionskosten erheblich bemerkbar machte. Später wurden dann direkt aus dem Holländerprozeß die ersten Stetigmahlerkonstruktionen (Jordan-Mühle, Scheibenrefiner) entwickelt.

## Papiermacher

Ein Papiermacher ist ein Handwerker, der Papier herstellt, in der Regel in einer Papiermühle mit entsprechenden Produktionseinrichtungen (heute industrielle Papierfabrik). Seit dem Jahr 2005 ist der Beruf nur noch unter der neuen Bezeichnung Papiertechnologe zu erlernen.

In der größten Zahl der Fälle hat jeder leitende Papiermüller ein Wasserzeichen verwendet, das allein für seine Wirkungszeit typisch war. Da die Papiermacher ein Sonderberuf mit einer ausgeprägten Berufstradition innerhalb bestimmter Familien waren, ergänzen sich genealogische und Wasserzeichenforschung gegenseitig. Aus diesem Grunde ist das Deutsche Buch- und Schriftmuseum in der Deutschen Bücherei in Leipzig zugleich Standort einer Papiermacherkartei (siehe Verkartung), in der die Daten von über 8.000 Papiermachern, Papiermühlenbesitzern, Lumpensammlern und Papierhändlern samt ihren Familien erfasst worden sind, und einer Kartei der Papiermühlen mit den Papiermachern, die jemals auf ihnen erwähnt worden sind.

## Industrialisierung

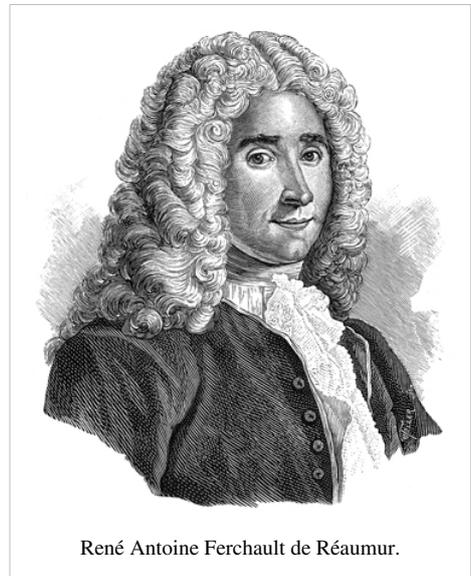
Der Mangel an Lumpen (Hadern), die für die Papierherstellung notwendig waren, wurde zum Engpass der Papierherstellung. Deshalb suchte man bereits um 1700 nach Alternativen für die Hadern. Der französische Physiker René Antoine Ferchault de Réaumur schrieb 1719 der französischen Akademie der Wissenschaften in Paris:

*„Die amerikanischen Wespen bilden ein sehr feines Papier, ähnlich dem unsrigen. Sie lehren uns, dass es möglich ist, Papier aus Pflanzenfasern herzustellen, ohne Hadern oder Leinen zu brauchen; sie scheinen uns geradezu aufzufordern zu versuchen, ebenfalls ein feines und gutes Papier aus gewissen Hölzern herzustellen. Wenn wir Holzarten ähnlich denen besäßen, welche die amerikanischen Wespen zu ihrer Papierherstellung benutzen, so könnten wir das weißeste Papier herstellen.“*

Jacob Christian Schäffer führte umfassende Experimente durch, um Papier aus Pflanzenfasern oder Holz zu gewinnen; in sechs Bänden beschrieb er zwischen 1765 und 1771 seine *Versuche und Muster, ohne alle Lumpen oder doch mit einem geringen Zusatze derselben, Papier zu machen*. Seine Verfahren zur Papierherstellung aus Pappelwolle, Moos, Flechten, Hopfen, Weinreben, Disteln, Feldmelde, Beifuß, Mais, Brennnesseln, Aloe, Stroh, Rohrkolben, Blaukohlstrunken, Graswolle, Maiblümchen, Seidenpflanzen, Ginster, Hanfschäben, Kartoffelpflanzen, Torf, Waldreben, Tannenzapfen, Weiden- und Espenholz sowie Sägespänen und Dachschindeln ergaben aber kein qualitativ gutes Papier und wurden deshalb von den Papiermüllern nicht verwendet.

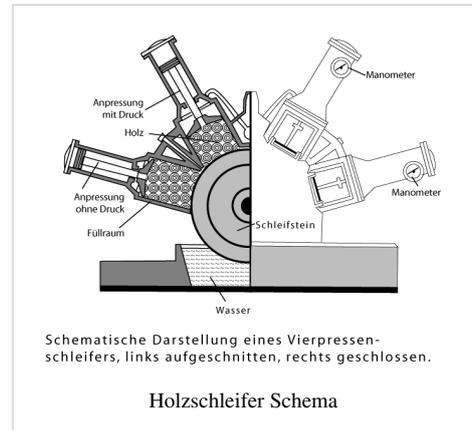
1798 erhielt der Franzose Louis-Nicolas Robert ein Patent auf eine Längssiebmaschine, die eine maschinelle Fabrikation des Papiers ermöglichte. Bei dieser *Papierschüttelmaschine* wurde das Schöpfen des Papierbreis durch dessen Aufgießen auf ein rotierendes Metallsieb ersetzt.

Friedrich Gottlob Keller erfand Anfang Dezember 1843 das Verfahren zur Herstellung von Papier aus Holzschliff, wobei er auf einem Schleifstein Holz in Faserquerrichtung mit Wasser zu Holzschliff verarbeitete, das zur Herstellung von qualitativ gutem Papier geeignet war. Er verfeinerte das Verfahren bis zum Sommer 1846 durch die Konstruktion von drei Holzschleifermaschinen. Am 11. Oktober 1845 ließ er eine Reihe von Exemplaren der Nummer 41 des *Intelligenz- und Wochenblattes für Frankenberg mit Sachsenburg und Umgebung* auf seinem Holzschliffpapier drucken.



René Antoine Ferchault de Réaumur.

Die industrielle Auswertung seiner Erfindung blieb Friedrich Gottlob Keller versagt, da ihm die Geldmittel zur technischen Erprobung und die Patentierung des Verfahrens vom Sächsischen Ministerium des Inneren verweigert wurden. So übertrug er am 20. Juni 1846 die Rechte zur Nutzung des Verfahrens gegen ein geringes Entgelt an den vermögenden Papierfabrikanten Heinrich Voelter, der das Kellersche Holzschliffverfahren weiterentwickelte, in die Praxis einführte und durch die Entwicklung von Hilfsmaschinen zur großtechnischen Nutzung gebracht hat.



Holzschleifer im Industriemuseum „Alte Dombach“ in Bergisch Gladbach

Seit etwa 1850 wurde der Holzschleifer eingesetzt, mit der die Papierherstellung aus dem preiswerten Rohstoff Holz im industriellen Maßstab möglich wurde; um 1879 arbeiteten allein in Deutschland rund 340 solcher Holzschleifereien.

Die Holzschliffpapiere erwiesen sich aufgrund der im Schliff inkrustierten Lignin- und Sulfonsäurereste als problematisch. Durch die beständige Lufteinwirkung bilden sich organische, chemisch sehr aktive, Komplexe im Papier, die das Papier braun und brüchig werden lassen. Hauptursache für das Vergilben und Degradieren des Holzschliffpapiers ist dabei das Lignin.

Häufig wird das Holzschliffpapier mit sogenanntem *säurehaltigen Papier* gleichgesetzt - was aber fachlich falsch ist. Das säurehaltige Papier ist eine Folge der instabilen Leimung, Holzschliff hingegen vergilbt auch ohne jede chemische Behandlung und verliert seine Falzfähigkeit. Leider wurden billiger Holzschliff und die nahezu zeitgleich erfundene Leimung mit verseiften Harzen oft kombiniert, so dass insbesondere Bücher des späten 19. und frühen 20. Jahrhunderts unter beiden Ursachen leiden. Die Restaurierung ist kompliziert und bei hohen Zerfallsraten der Zellulose nur noch durch Spaltung und Laminierung möglich.

So hat das Holzschliffpapier nicht nur einen Nutzen für die kostengünstige Herstellung von Papier gebracht, sondern auch einen großen Schaden für die schriftliche Überlieferung des 19. und 20. Jahrhunderts.

## Industrielle Herstellung

### Rohstoffe

Die für das Papier notwendigen Ausgangsstoffe kann man in vier Gruppen einteilen:

- Faserstoffe (Holzschliff, Halbzellstoffe, Zellstoffe, andere Fasern)
- Leimung und Imprägnierung (tierische Leime, Harze, Paraffine, Wachse)
- Füllstoffe (Kaolin, Talkum, Gips, Bariumsulfat, Kreide, Titanweiß)
- Hilfsstoffe (Wasser, Farbstoffe, Entschäumer, Dispergiermittel, Retentionsmittel, Flockungsmittel, Netzmittel)

Die Faserstoffe unterteilen sich prinzipiell in zwei Gruppen.

- Primärfaserstoffe, Rohstoffe, die erstmals in der Produktion eingesetzt werden, und
- Sekundärfaserstoffe, Recyclingstoffe, die nach dem Gebrauch noch einmal dem Produktionsprozess zugeführt werden.

Die Cellulose ist die eigentliche, qualitativ hochwertige Fasersubstanz eines jeden Papiers. Die Cellulose ist ein Polysaccharid der Kohlenhydrate mit der angenäherten chemischen Formel  $(C_6H_{10}O_5)_n$  und die häufigste organische

Verbindung der Welt, aus der fast alle Zellwände von Pflanzen und Hölzern bestehen.

Cellulose kann aus Holz, Einjahrespflanzen (beispielsweise Stroh), Hadern, Kunststoff-Fasern und heute etwa zur Hälfte Altpapier gewonnen werden. Cellulose besteht aus sehr vielen, kettenförmig miteinander verknüpften Glukoseresten. Die einzelnen Cellulosemoleküle sind also kettenförmige Makromoleküle, deren kleinste Glieder Glukoseeinheiten sind. Das Glukosemolekül ( $C_6H_{12}O_6$ ), das Monomer der Cellulose, bildet mit einem weiteren Glukosemolekül durch Lösung eines Wassermoleküls eine Cellobiose. Das Aneinanderreihen solcher Cellobiosen zu einer Kette bildet ein Zellstoffmolekül (es entsteht ein Polymer).

Die Kettenmoleküle bilden miteinander Mizellen, das sind Molekülbündel, aus denen sich die Fibrillen aufbauen. Erst eine größere Anzahl Fibrillen bilden die sichtbare Cellulosefaser. Die Molekülbündel bestehen aus kristallinen Bereichen (regelmäßige Molekül-Führung) und amorphen Bereichen (unregelmäßige Molekülführung). Die kristallinen Bereiche sind für die Festigkeit und Steifheit, die amorphen Bereiche für die Flexibilität und Elastizität des Papiers verantwortlich. Die Länge der Kette, also die Anzahl der Monomere, variiert je nach Papierrohstoff und ist für die Qualität und Alterungsbeständigkeit von großer Bedeutung.

Das nicht aufbereitete Fasermaterial zur Papierherstellung nennt der Papiermacher Halbstoff.

Zu 95 % wird Papier heute aus Holz (in Form von Holzstoff, Halbzellstoff oder Zellstoff) hergestellt. Faserbildung und Härte des Holzes spielen bei der Auswahl als Papierrohstoff eine Rolle, nicht jedes Holz ist für jede Papierart gleich gut geeignet. Häufig werden Nadelhölzer wie Fichte, Tanne, Kiefer und Lärche verwendet. Aufgrund der längeren Fasern gegenüber Laubhölzern verfilzen diese Fasern leichter und es ergibt sich eine höhere Festigkeit des Papiers. Aber auch Laubhölzer wie Buche, Pappel, Birke und Eukalyptus werden gemischt mit Nadelholz-Zellstoff eingesetzt. Die Verwendung sehr kurzfasriger Harthölzer ist auf hoch ausgerüstete Spezialpapiere beschränkt.

Die Verfügbarkeit und die regionalen Gegebenheiten bestimmen hauptsächlich, welche Holzart als Primärrohstoff eingesetzt wird, wobei seit den 1960er Jahren große Mengen an Holz für die Papierherstellung mit sogenannten Holzspänetransportern weltweit über See verschifft werden. Allerdings muss auch beachtet werden, dass die Eigenschaften des gewinnbaren Zellstoffes mit der gewünschten Papierbeschaffenheit korrelieren. Schnellwüchsige Hölzer, wie Pappeln kommen dem großen Bedarf entgegen, eignen sich jedoch nur für Voluminöse, weiche und weniger reißfeste Papiere. Zellstoffe aus Laubhölzern haben kürzere und dünnere Fasern als jene aus Nadelhölzern. Entsprechend den späteren Anforderungen an das Papier werden unterschiedliche Mischungen von diesen Kurzfaser- und Langfaserzellstoffen beziehungsweise Hart- und Weichfaserstoffen eingesetzt. Die Steuerung der Eigenschaften kann geringfügig über den Aufschlußprozeß und die spätere Mahlung variiert werden. So kann ein Fichtenstoff sowohl mit Natronlauge hart erkocht werden als auch langfaserig und weicher im Sulfatverfahren. Zellstoffe aus Einjahrespflanzen zeigen größtenteils Eigenschaften wie die typischen Nadelholzzellstoffe und werden deshalb auch als Surrogate für diese eingesetzt (etwa Esparto statt Fichte). Alle cellulosehaltigen Stoffe sind grundsätzlich zur Papierherstellung geeignet. Zunehmend ist die Bedeutung von Altpapier als Rohstoff. Stroh und Papierabfälle werden bis zu 100 % für weniger wertvolle Papiersorten eingesetzt. Bei Feinpapieren gewinnt moderner Deinkingstoff immer höhere Einsatzanteile. LWC-Papiere enthalten teilweise bis zu 70 % AP-Stoff ohne nennenswerte Einbuße in der Gebrauchsfähigkeit. Der früher wichtigste Rohstoff, die Hadern (Lumpen), finden heute nur noch in geringen Mengen Verwendung.

Einen Anteil von etwa 65 % hat der Sekundärrohstoff Altpapier an den heute in Deutschland eingesetzten Rohstoffen für Papier, Pappe und Kartonagen. Da Altpapier bereits einmal zu Papier verarbeitet wurde, enthält es viele Zusatzstoffe und wurde bereits gemahlen. Die Fasern werden durch die erneute Verarbeitung zu Papier weiter geschädigt, der Anteil der Zusatzstoffe im Verhältnis zu den Faserstoffen nimmt weiter zu. Klassischerweise wird Altpapier nur 5- bis 6-mal recycled.

In Europa und Amerika werden vor allem Weizen und Roggen zur Strohfasergewinnung genutzt, aber auch Grassorten aus Nordafrika (Alfa- und Espartogras) können verwendet werden. In Japan verwendet man auch heute noch Reisstroh, in Indien den schnell wachsenden Bambus.

Für besonders wertvolle (Banknoten, Wertpapiere), dauerhafte und stark beanspruchte Papiere werden auch heute noch in geringem Umfang Hadern verwendet.

## Aufbereitung von Halbstoff

### Mechanische Aufbereitung

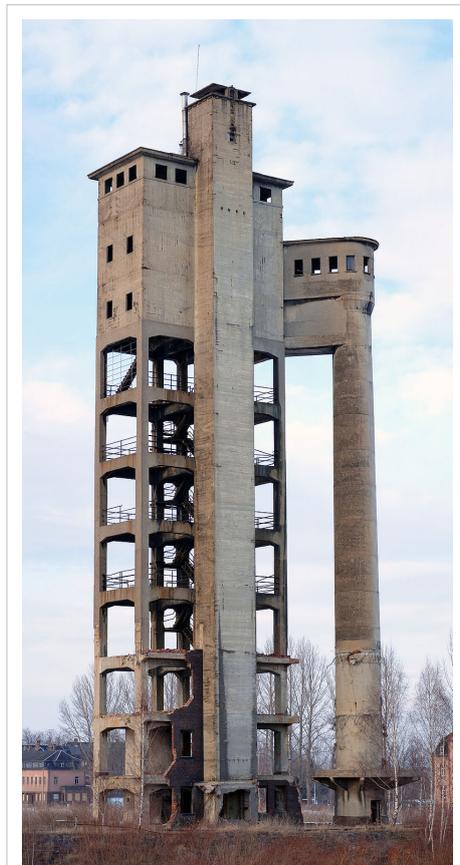
1. *Weißer Holzstoff* entsteht aus geschliffenen Holzstämmen. Dazu werden geschälte Holzabschnitte mit viel Wasser in Pressenschleifern oder Stetigschleifern zerrieben. (vergleiche auch Holzschleifer) Im gleichen Betrieb wird die stark verdünnte Fasermasse zu Papier verarbeitet oder zum Versand in Pappenform gebracht. Dies geschieht mit Entwässerungsmaschinen.
2. *Brauner Holzstoff* entsteht, wenn Stammabschnitte in großen Kesseln erst gedämpft und dann geschliffen werden.
3. *Thermomechanischer Holzstoff* entsteht aus gehäckselten Holzabfällen und Hackschnitzeln aus Sägereien. Diese werden im TMP-Verfahren (Thermomechanisches-Refiner-Verfahren) bei 130 °C gedämpft. Die Lignin-Verbindungen zwischen den Fasern lockern sich dadurch. Anschließend werden die Holzstücke in Refinern (Druckmahlmaschinen mit geriffelten Mahlscheiben) und Zusatz von Wasser gemahlen. Thermomechanischer Holzstoff hat im Vergleich zum Holzschliff eine gröbere Faserstruktur. Werden außerdem Chemikalien zugesetzt, handelt es sich um das *chemo-thermomechanische Verfahren (CTMP)*. Durch rein mechanische Verfahren gewonnener Holzstoff besteht nicht aus den eigentlichen Fasern, sondern aus zerriebenen und abgeschliffenen Faserverbindungen, diese werden *verholzte Fasern* genannt. Um die elementaren Fasern zu gewinnen ist eine chemische Aufbereitung des Holzes notwendig.

### Chemische Aufbereitung

Holzschnitzel werden in einem Kochprozess chemisch behandelt. Die Fasern werden durch zwölf- bis fünfzehnstündiges Kochen von den Inkrusten, den unerwünschten Holzbestandteilen, Begleitstoffen von Cellulose getrennt. Chemisch betrachtet besteht Holz aus:

- 40 % bis 50 % Cellulose
- 10 % bis 15 % Hemicellulose
- 20 % bis 30 % Lignin
- 6 % bis 12 % sonstigen organischen Stoffen
- 0,3 % bis 0,8 % anorganischen Stoffen

Es gibt Natron-, Sulfit- und Sulfatverfahren, die nach den eingesetzten Kochchemikalien unterschieden werden. Das Organocell-Verfahren ist eine neue Entwicklung. Vor allem enthaltenes Restlignin färbt den Zellstoff nach dem Kochen gelblich bis braun, er muss also gereinigt und gebleicht werden. Restlignin und andere unerwünschte Stoffe werden beim Bleichen herausgelöst, chemische Aufhellung beseitigt Verfärbungen. Der gebleichte Zellstoff (Cellulose) wird entwässert. Er wird nun entweder direkt zu Papier verarbeitet oder zu Rollen aufgewickelt. Die Ausbeute ist bei der Zellstoffherstellung geringer als bei der Holzstoffherstellung. Zellstofffasern aber haben den Vorteil, dass sie länger, fester und geschmeidiger sind. Aus Nadelholz gewonnene Zellstofffasern sind ca. 2,5 mm bis 4 mm lang, aus Laubholz gewonnene sind etwa 1 mm lang. Der größte Teil, ca. 85 % des benötigten Zellstoffs, vor allem Sulfatzellstoff, werden aus den



Früher für die Papierherstellung verwendeter Säureurm in Crossen (Zwickau)

skandinavischen Ländern, USA und Kanada importiert. Sulfatzellstoff ist im Vergleich zu Sulfitzellstoff langfaseriger und reißfester, somit wird er hauptsächlich für die Herstellung hochweißer Schreib- und Druckpapiere verwendet. Sulfitzellstoff findet überwiegend Verwendung bei der Herstellung weicher Hygienepapiere.

Der Faserstoff muss gebleicht werden, damit daraus weißes Papier entstehen kann. Traditionell wird der Zellstoff mit Chlor gebleicht. Das führt jedoch zu einer hohen Belastung der Abwässer mit organischen Chlorverbindungen (AOX). Modernere Verfahren ersetzen Chlor durch Chlordioxid und man erhält ECF-Zellstoffe (**e**lementary **c**hlorine **f**ree). Aufgrund der höheren Oxidationswirkung und der besseren Selektivität von Chlordioxid sinkt die AOX Belastung um 60–80 %. Wird vollständig auf Chlorverbindungen verzichtet und Sauerstoff, Ozon, Peroxoessigsäure und Wasserstoffperoxid verwendet, wird der Zellstoff mit TCF (**t**otally **c**hlorine **f**ree) bezeichnet. Papier aus ECF-Zellstoffen wird als chlorarm bezeichnet, (es sind noch Chlorverbindungen vorhanden). Chlorarme Druckpapiere sind in hochweißer Qualität schon ab einer Flächenmasse von 51 g/m<sup>2</sup> herstellbar, chlorfreie erst ab 80 g/m<sup>2</sup>.

TCF-Zellstoff hat eine geringere Faserfestigkeit als chlorgebleichter oder ECF. Da er jedoch umweltverträglicher ist, setzt er sich zunehmend durch. Vorwiegend aus Holzstoff hergestelltes Papier nennt man *holzhaltig*, im Handel *mittelfein*, da Lignin, Harze, Fette und Gerbstoffe im Faserbrei verbleiben, sind sie von geringerer Qualität als *holzfreie Papiere*.

### **Organocell-Verfahren**

Das Organocell-Verfahren dient der schwefelfreien und damit umweltfreundlicheren Zellstoffproduktion. In mehreren Kochstufen werden die Holzschnitzel in einem Methanol-Wasser-Gemisch unter Zusatz von Natronlauge bei Temperaturen von bis zu 190 °C unter Druck aufgeschlossen. Dabei lösen sich Lignin und Hemicellulose. Es folgen verschiedene Waschstufen, in denen der Zellstoff von der Kochflüssigkeit befreit wird sowie Bleichen und Entwässern.

Der Zellstoff wird in drei Stufen gebleicht:

1. im alkalischen Milieu mit Sauerstoff unter Verwendung von Wasserstoffperoxid
2. mit Wasserstoffperoxid oder Chlordioxid
3. mit Wasserstoffperoxid

Methanol und Natronlauge, die Kochchemikalien werden in einem Recyclingverfahren, welches parallel zur Zellstoffproduktion abläuft zurückgewonnen. Es werden schwefelfreies Lignin und schwefelfreie Hemicellulose gewonnen, die von der chemischen Industrie verwendet werden können.

### **Strohzellstoff**

Durch Zerkleinern und Kochen in Natronlauge wird aus Stroh der Halbstoff *Strohzellstoff* oder, bei anderer Aufbereitung, *gelber Strohstoff*.

### **Kugelkocher und Pulper**

Im Kugelkocher werden Hadern gekocht. Dazu werden sie zunächst sortiert, im Haderndrescher gereinigt. Mit Kalklauge und Soda werden die Hadern unter Dampfdruck von 3 bar bis 5 bar im Kugelkocher gekocht. Dabei werden Farbstoffe zerstört, Fett verseift und Schmutz gelöst. Während des mehrstündigen Kochens lockert sich das Gewebe der Hadern und sie lassen sich anschließend leicht zu Halbstoff zerfasern.

Der Pulper (Stoffauflöser) ist eine Bütte mit rotierendem Propeller. In ihm wird nach Güteklassen sortiertes, zu Ballen gepresstes Altpapier mit viel Wasser zerkleinert und mechanisch aufgelöst. So werden die Fasern des Altpapiers geschont. Ein Arbeitsgang, der früher häufig mit dem Kollergang durchgeführt wurde. Der pumpfähige Faserbrei ist noch verunreinigt. Er gelangt im Pulper in einen Zylinder und wird von einem Rotor zerfasernd. Dann wird der grob gelöste Stoff durch ein Sieb gedrückt. In Folge der Zentrifugalkraft werden grobe Verunreinigungen ausgeschieden. An der Zylinderachse sammelt sich der leichte Schmutz. Weitere Fremdstoffe wie Wachse und Druckfarben werden in Spezialanlagen herausgelöst.

### Entfärbung von Altpapier

Beim De-inking werden die Druckfarben mit Hilfe von Chemikalien (Seifen und Natriumsilicat) von den Fasern des Altpapiers gelöst. Durch Einblasen von Luft bildet sich an der Oberfläche des Faserbreis Schaum, in welchem sich die Farbbestandteile sammeln und abgeschöpft werden können. Dieses Trennverfahren nennt man Flotation.

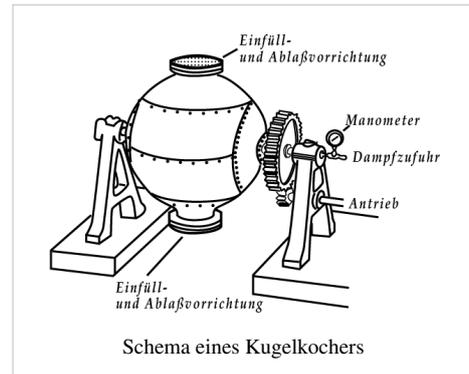
### Aufbereitung zum Ganzstoff

Der Halbstoff wird durch Faserstoffmahlung und Mischung zum Ganzstoff verarbeitet. Die Halbstoffe werden in Refinern (Kegelstoffmühle) weiter zerfasernd. Als dicker Brei fließt das Halbfertigprodukt im Refiner zwischen einer Messerwalze und seitlich befestigten Grundmessern hindurch. Die Fasern werden dabei zerschnitten (*rösche Mahlung*) oder zerquetscht (*schmierige Mahlung*), je nach Einstellung der Messer. Die Enden der gequetschten Fasern sind fibrilliert (ausgefranst), was bei der Blattbildung zu einer besseren Verbindung der Fasern führt.

- Weiche, voluminöse, saugfähige und samtige Papiersorten entstehen aus *rösch gemahlenen Fasern*, etwa Löschpapier.
- *Schmierig gemahlene Fasern* führen zu festen harten Papieren mit geringer Saugfähigkeit und wolkiger oder gleichmäßiger Transparenz z. B. transparentes Zeichenpapier aber auch Urkunden- Banknoten- und Schreibmaschinenpapier.

Außerdem können die Fasern bei der Mahlung lang oder kurz gehalten werden, wobei die langen Fasern stärker verfilzen als die kurzen. Es ergeben sich daraus vier verschiedene Möglichkeiten der Mahlung. Faserlänge und Mahlart bestimmen Faser- und Papierqualität. Übliche Kombinationen sind rösch/lang und schmierig/kurz.

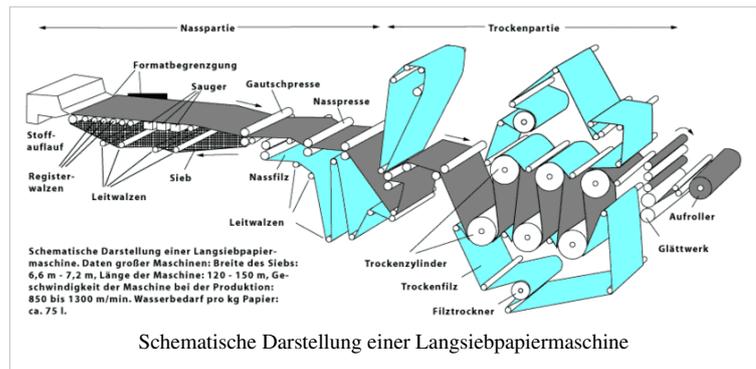
Die Messer des Refiners liegen bei der Kurzfasermahlung sehr eng aneinander, Zwischenraum ist fast keiner mehr vorhanden. Das Mischen der verschiedenen Halbstoffe sowie die Zugabe von Füll-, Leim- und Farbstoffen gehört zur Herstellung des Ganzstoffes.



Kugelkocher im Industriemuseum „Alte Dombach“ in Bergisch Gladbach

Auf der Papiermaschine wird die Papierbahn gebildet. Folgende Maschinenstationen sind hintereinander geschaltet:

- Stoffauflauf
- Siebpartie
- Nasspressenpartie
- Trockenpartie
- Aufrollung



### Blattbildung

Die Blattbildung findet bei der industriellen Papierproduktion auf der Papiermaschine statt. Der gereinigte und entlüftete Papierbrei, welcher zu ca. 99 % aus Wasser besteht, wird im *Stoffauflauf* zu einem dünnen, möglichst gleichförmigen Strahl geformt. Dieser trifft bei *Langsiebpapiermaschinen* auf ein rotierendes, endloses Sieb (siehe dazu auch Metalltuch). Innerhalb weniger Sekunden läuft ein sehr großer Teil des Wassers ab und die Papierstruktur entsteht. Hierbei tragen unter dem Sieb angebrachte *Sauger* sowie Pulsationen erzeugende *Foils* zur Entwässerung des Faserstoffs bei. Oftmals wird auch versucht, die Temperatur der Suspension zu erhöhen (z.B. über Dampfblaskästen), was über eine niedrigere Viskosität ebenfalls die Entwässerung fördert. Soll das Papier ein Wasserzeichen enthalten, ist dieses in das Sieb eingearbeitet oder wird von oben mittels einer sogenannten *Egoutteurwalze* aufgebracht.

Auf Langsiebpapiermaschinen gefertigtes Papier hat wegen der einseitigen Entwässerung i.d.R. eine ausgeprägte Zweiseitigkeit. Diese drückt sich neben den unterschiedlichen Oberflächen (die *Siebseite* und die glatte Filz- oder *Schönseite*) meist auch in einer sehr ungleichmäßigen Verteilung der Füllstoffe innerhalb des Papiers aus. Dies hat neben unterschiedlicher Bedruckbarkeit oftmals auch eine Rollneigung (Curl) zur Folge. Abhilfe verschafft hier teilweise die Entwässerung über ein zweites Sieb nach oben (sogenannte Hybrid-Former), welche zudem die Gesamtentwässerungsleistung erhöht.

Langsiebpapiermaschinen geraten jedoch spätestens ab Geschwindigkeiten von ca. 1200 m/min an physikalische Grenzen, da die erzeugten Luftverwirbelungen über dem Langsieb die Formation zerstören. Moderne Papiermaschinen, insbesondere für graphische Papiere und Tissue, produzieren jedoch mit Geschwindigkeiten von bis zu 2000 m/min bei Arbeitsbreiten von mehr als 10 m. Daher sind für diese Maschinen andere Stoffauflaufkonzepte entwickelt worden, sogenannte *Gap-Former*. Hierbei wird der Papierbrei direkt in einen Spalt zwischen zwei rotierende Siebe gespritzt. Neben der höheren Laufgeschwindigkeit bieten Gap-Former auch eine deutlich gleichmäßigere Entwässerung und damit verminderte Zweiseitigkeit. Bei Papieren aus maschineller Produktion verlaufen fast alle Fasern parallel zur Siebrichtung (siehe auch Laufrichtung).

Am Ende des Siebes wird die weiche Papierbahn auf einen Filz übergeben und gelangt in die *Pressenpartie*. Traditionelle Pressenpartien bestehen aus drei bis vier aufeinanderfolgenden Pressen, in denen die Papierbahn mittels gegeneinandergesessener Walzen zwischen Filzen entwässert wird. Seit Anfang der 90er Jahre hat sich jedoch zunehmend das Konzept der *Schuhpresse* durchgesetzt, bei der eine Walze den Filz und das Papier in einen polymerbespannten 'Schuh' presst. Dies hat eine deutlich größere Niplänge zufolge, womit sich eine schonendere und gleichzeitig stärkere Entwässerung erzielen lässt.

In der *Trockenpartie* findet schließlich die endgültige Entwässerung statt. Hier läuft die Papierbahn durch eine Anzahl dampfbeheizter *Trockenzylinder* und wird anschließend *geglättet* und *aufgerollt*. In einigen Fällen (hochglatte und scharf satinierte Papiere) wird vor dem endgültigen Aufrollen noch ein weiterer Glättungsschritt im Kalander vollzogen.

Der Papierbrei enthält außerdem:

## Füllstoffe

Neben den Faserstoffen werden bis zu 30 % Füllstoffe dem Ganzstoff hinzugefügt. Diese können sein:

- Kaolin (im engl. *China Clay*) (Porzellanerde) In der Vergangenheit war Kaolin das bei der Papierherstellung am meisten verwendete Pigment. Kaolin bleibt über ein weites pH-Spektrum chemisch inert und kann deshalb nicht nur in sauren, sondern auch in alkalischen Produktionsverfahren verwendet werden. In den letzten zwei Jahrzehnten ist der Anteil des Kaolins bei der Papierherstellung jedoch deutlich zurückgegangen, da es sowohl als Füllstoff als auch als Streichpigment nach und nach durch Calciumcarbonat ersetzt wurde. Kaolin ist heute das bevorzugte Material bei der sauren Papierherstellung. Bei der sauren Papierherstellung ist der Einsatz von Calciumcarbonat nicht sehr verbreitet, da das dieses aufgrund chemischer Reaktionen mit der Säure zerstört wird und deshalb die ihm zugeordnete Funktion nicht mehr erfüllt. Im letzten Jahrzehnt war in der Papierindustrie ein Trend von der Verwendung von Kaolin hin zu Calciumcarbonat zu beobachten. Dieser Trend ist durch mehrere Faktoren verursacht worden: Zum einen durch die steigende Nachfrage nach weißerem Papier und durch die Weiterentwicklung von gefällttem Calciumcarbonat (PCC), die seinen Einsatz in Streichanwendungen für Papier und in mechanischen Druckverfahren erst ermöglichte, zum anderen durch die zunehmende Verwendung von Recyclingpapier, die stärkere und weißere Pigmente, die Karbonate, erforderlich macht.<sup>[4]</sup>
- Talkum Talkum verringert die Porosität von Papier und wird daher zur Verbesserung der Bedruckbarkeit ungestrichener Papiere eingesetzt. Seine Eigenschaften unterscheiden sich jedoch erheblich von denen des Calciumcarbonats. Durch die Verwendung von hochpreisigem Talkum zur Beeinflussung der Holzfaserkörnung werden die Laufeigenschaften des Papiers verbessert. Der Glanz und die erreichte Lichtstreuung liegen jedoch unter denen von Calciumcarbonat.<sup>[4]</sup>
- Titanweiß (Titandioxid) Mit Titandioxid können eine hohe Opazität, eine gute Lichtstreuung und ausgezeichneter Glanz erzielt werden, aber dieses Material ist um ein Vielfaches teurer als Calciumcarbonat und wird daher nicht in standardmäßigen Füll- oder Streichanwendungen eingesetzt. Es wird für die Herstellung von hochwertigem Papier mit kleinen Auftragsmengen, wie beispielsweise für Bibeln, verwendet.<sup>[4]</sup>
- Stärke
- Blanc fixe
- Calciumcarbonat
  - a) **Gemahlenes Calciumcarbonat (GCC):** Die chemische Formel  $\text{CaCO}_3$  bezeichnet einen Rohstoff, von dem es überall auf der Welt natürliche Vorkommen gibt. Trotz der Vielzahl der Lagerstätten sind nur einige von so hoher Qualität, dass der Rohstoff außer im Bausektor und im Straßenbau auch in der Industrie und in der Landwirtschaft verwendet werden kann. Die wichtigsten für die Herstellung von GCC verwendeten  $\text{CaCO}_3$ -haltigen Materialien sind Sedimentgesteine (Kalkstein oder Kreide) und das metamorphe Gestein Marmor, die sowohl im Tagebau als auch unter Tage abgebaut werden. Anschließend werden in einem Siebverfahren Schlamm und Verunreinigungen wie farbige Silikate, Grafit und Pyrit entfernt. Nach der Siebung wird der Rohstoff weiter zerkleinert und gemahlen, bis die für die betreffende Anwendung erforderliche Körnung erreicht ist. Marmorsplitt aus hochwertigen Lagerstätten kann auch ohne weitere Bearbeitung direkt an die GCC-Werke geliefert werden. GCC wird aus verschiedenen Quellen (Kalkstein, Kreide, Marmor) gewonnen und hat ein großes Helligkeitsspektrum. Wenn ein hoher Helligkeitsgrad erforderlich ist, bevorzugt die Papierindustrie in der Regel Marmor. Auch Kalkstein und Kreide können verwendet werden, haben jedoch einen niedrigeren Helligkeitsgrad. Als Füllstoff enthält GCC zu 40-75 % Körner mit einer Größe von weniger als 2  $\mu\text{m}$ . Mit der Umstellung von der sauren auf die alkalische/neutrale Papierherstellung hat GCC das Kaolin als führendes Füllstoffpigment abgelöst. GCC ist zwar ein wichtiger Papierfüllstoff, im Europa wird er jedoch in erster Linie als Papierstreichpigment verwendet.

- b) **Gefälltes Calciumcarbonat (PCC):** Industrielles Calciumcarbonat wird auf zweierlei Art hergestellt: durch Abbau und Mahlen von natürlichem Gestein (gemahlene Calciumcarbonat – GCC) und durch chemische Fällung (gefälltes Calciumcarbonat – PCC). PCC ist ein synthetisches Industriemineral, das aus gebranntem Kalk oder dessen Rohstoff, Kalkstein, hergestellt wird. In der Papierindustrie, die der größte Abnehmer von PCC ist, dient das Material als Füllstoff und als Streichpigment. Im Gegensatz zu anderen Industriematerialien ist PCC ein synthetisches Produkt, das geformt und modifiziert werden kann, um dem herzustellenden Papier unterschiedliche Eigenschaften zu verleihen. Die physikalische Form des PCC kann sich im Reaktor erheblich verändern. Variable Faktoren sind unter anderem die Reaktionstemperatur, die Geschwindigkeit, mit der Kohlenstoffdioxidgas zugesetzt wird, und die Bewegungsgeschwindigkeit. Diese Variablen beeinflussen die Körnung und die Kornform des PCC, seine Oberflächengröße und Oberflächenchemie sowie die Korngrößenverteilung. Zwar ergeben sich daraus, dass mithilfe des PCC die Eigenschaften des Papiers gesteuert werden können (größere Helligkeit, Lichtundurchlässigkeit und Dicke als bei GCC), viele Vorteile, PCC kann jedoch nicht unbegrenzt als Füllstoff verwendet werden, da er die Faserfestigkeit reduziert. PCC wird auch als Papierstreichpigment verwendet, jedoch sind die verwendeten Mengen im Vergleich zu den Mengen des als Papierfüllstoff verwendeten PCC gering.<sup>[4]</sup>
- **Weitere Füllstoffe:** In verschiedenen Anwendungen mit geringen Auftragsmengen kommen zahlreiche andere Minerale zum Einsatz. Dazu gehören u. a. Gips, Bentonit, Aluminiumhydroxid und Silicate. Diese Minerale werden jedoch nur in sehr geringem Umfang eingesetzt und erreichen lediglich einen Anteil von 3 % an den in der Papierindustrie eingesetzten Pigmenten.<sup>[4]</sup>

Durch das Ausfüllen der Zwischenräume zwischen den Fasern machen die Füllstoffe das Papier weicher und geschmeidiger und geben ihm eine glatte Oberfläche. Der Anteil der Füllstoffe am Flächengewicht drückt sich in der Aschezahl aus. Bei Spezialpapieren, die, wie im Fall des Theaterprogrammepapieres, raschelfrei sein sollen, wird ein hoher Aschegehalt mit langen Fasern kombiniert. Auch Zigarettenpapier wird stark gefüllt, damit es glimmt und nicht abbrennt. Die Zusammensetzung und Kristallstruktur der Füllstoffe bestimmt Transparenz und Opazität eines Papiers sowie die Farbanahme beim Druck mit wegschlagenden Farben. Für die Tintenfestigkeit hingegen ist Leim notwendig. Füllstoffe können teilweise auch die Eigenschaften der Farbstoffe mit übernehmen. Viele Pigmentfarbstoffe sind z. B. gleichzeitig auch ein effektiver Füllstoff.

#### Farbstoffe

Auch weiße Papiere enthalten manchmal Farbstoffe, die in unterschiedlichen Mengen zugesetzt werden, denn auch optische Aufheller zählen zu den Farbstoffen. Es werden für Buntfarben vor allem Teerfarbstoffe verwendet. Wichtig beim Papierfärben ist die Abstimmung des Farbsystems auf die Fasereigenschaften und das verwendete Leimungssystem. Grundsätzlich unterscheidet man saure (substantielle, selbstaufziehende) Farbstoffe und alkalische oder saure Entwicklungs- bzw. Verlackungsfarbstoffe. Erstere sind einfach in der Anwendung, aber sie reagieren empfindlich auf pH-Wertschwankungen und mangelhafte Fixierung. Letztere neigen, der nötigen Fällungsreaktion wegen, zur Verlackung jenseits der Faser, so dass ein Großteil der Flotte unwirksamen Farbverlust aufweist. Farbstoffe reagieren vorzugsweise auf Cellulose oder Holzbestandteile, selten aber auf beides. Somit muss der Auswahl des richtigen Systems zum zu färbenden Zellstoff besonderes Augenmerk geschenkt werden. Eine Sondergruppe stellen die natürlichen oder Pigmentfarbstoffe (Körperfarben) dar. Beide sind nur begrenzt wirksam, da sie meist durch Einlagerung im Lumen und durch Kapillarretention im Blatt gehalten werden. Intensivtönungen sind nur mit Küpenfärbung (Indigo) oder Rotpigmenten (Rotlack, Chenille) möglich.

#### Leimungsstoffe

Leim macht das Papier beschreibbar, weil es weniger saugfähig und weniger hygroskopisch sondern hydrophober wird. Als Leimung bezeichnet man daher in der Papiermacherei die Hydrophobierung der Faser. Die Leimstoffe sind chemisch modifizierte (verseifte) Baumharze in Kombination mit KaliAlaun bzw. Aluminiumsulfat oder Polymere auf Basis von Acrylaten oder Polyurethanen. Heute wird neben verschiedenen Harzen auch häufig ASA (Alkenyl Succinic Acid = alkyliertes Bernsteinsäureanhydrid) und alkylierte Ketendimere (AKD) zur Leimung von Papier

eingesetzt. Die früher häufig verwendete, saure Leimung mit Harzsäuren und Alaun ist der Hauptgrund dafür, dass so geleimte Papiere zerstört werden, da das statt des Alaun benutzte Aluminiumsulfat durch überschüssige Restionen Schwefelsäure bilden kann, die wiederum die Cellulose zerstört. Heute wird die Leimung meist im neutralen oder schwach alkalischen pH-Bereich durchgeführt. Einige Farben verlangen aber nach wie vor eine saure Leimung, wobei die Einstufung sauer oder alkalisch sich lediglich auf den prozessbedingten pH-Wert der Bütte bezieht, nicht auf das fertige Endprodukt. Die Wahl der Papierleimung wird ebenfalls durch nachfolgende Schritte beeinflusst. Ist die Beschreibbarkeit auf bedrucktem Papier nötig, kann das Eindringen der Bindemittel der Druckfarbe den Leimgrad senken.

Prinzipiell wird bei der Leimung zwischen Masseleimung und der Oberflächenleimung unterschieden. Bei der Masseleimung wird das Leimungsmittel der Flotte zugegeben, bei der Oberflächenleimung wird das schon fertige Papier beschichtet. Verseifte Harze, Alkylketendimere und ASA sind typische Masseleimungsmittel, polymere Leimungsmittel wie Gelatine oder Stärkederivate sind eher als Oberflächenleimungsmittel im Gebrauch. Über den möglichen Einsatz als effektives Masseleimungsmittel entscheidet vor allem die Eigenretention und der technisch mögliche Einsatz von Retentionschemikalien.

#### Nassfestmittel

Unbehandeltes Papier wird mechanisch unbeständig, wenn es feucht oder nass wird. Durch die Aufspaltung der Wasserstoffbrücken unter Wasserzutritt, verliert das Faservlies seinen inneren Zusammenhalt. Papier wird deshalb auch als *hydroplastisch* bezeichnet. Um auch im nassen Zustand eine - wenn auch beschränkte - mechanische Festigkeit zu erhalten, werden dem Papier bei der Herstellung Nassfestmittel (etwa Luresin) zugesetzt. Reißfestes Küchenkrepp dürfte das bekannteste Papier dieser Klasse sein, aber auch Kartons, Landkartenpapiere oder Papier für Geldnoten enthalten große Mengen Nassfestmittel. Nassfestmittel sind im Verarbeitungszustand wasserlösliche Polymere, die vorrangig aus Polyaminen und Epichlorhydrinderivaten hergestellt werden und mit den Papierfasern reagieren. Dabei bilden sich wasserunlösliche Quervernetzungen zwischen den Fasern, die den Papierfilz stabilisieren. Die hydrophobe Verkettung verhindert jedoch ein erfolgreiches Recycling, so dass der zunehmende Einsatz von Nassfestmitteln im Hygienepapierbereich weitreichende Konsequenzen für die Altpapierverwertung hat. Der Anfall von unlöslichen Stippen im normalen Löseprozeß ist beständig steigend. Werden Nassfestmittel (ähnlich wie Bitumenklebstoffe) chemisch aufgebrochen, so degradiert die Faser untypisch schnell. Die Altpapierqualität nimmt somit schneller ab als bei normalen Recyclingprozessen. Nassfestmittel dürfen nicht mit Leimungschemikalien (beispielsweise AKD) verwechselt werden, da der chemo-physikalische Wirkprozess verschieden ist. So ist etwa ein nassfestes, ungeleimtes Papier nach wie vor hoch kapillar wohingegen ein überleimtes Papier sich trotzdem nach langem Wasserzutritt zerfasern lässt.

#### Gestrichenes Papier

*Hauptartikel: Gestrichenes Papier*

Gestrichenes Papier (auch Kunst- oder Bilderdruckpapier) ist ein Papier, bei dem die Oberfläche mit einem Bindemittelauftrag („Strich“) veredelt ist. Das Papier bekommt eine geschlossene, glatte und stabile Oberfläche, wodurch eine bessere Qualität beim Druck erreicht wird.

#### Normmaße für Papier

## Zählmaße nach DIN 6730

<b>Bogen</b>	1 Stück (ein „Blatt“) = 8 Blatt im gebunden Buch = 16 Seiten
<b>Buch</b>	Schreibpapier: 24 Bogen
	Druckpapier: 25 Bogen (A4 Papier mit 80 g/m <sup>2</sup> DIN 6730)
<b>Ries, Rieß</b>	20 Buch („ein Paket“)
<b>Ballen</b>	10 Ries

Formate nach EN ISO 216, DIN 476

Die bekanntesten international genormten Papierformate sind diejenigen der *A-Reihe* nach DIN 476 *Papierformat*, die seit 2002 teilweise durch EN ISO 216 ersetzt ist. In einigen Ländern wie den Vereinigten Staaten und Kanada werden andere Formate verwendet.

## Papiermarkt

Die Papierindustrie unterscheidet folgende vier Großgruppen von Papiersorten:

- Grafische Papiere,
- Papier, Karton und Pappe für Verpackungszwecke,
- Hygienepapiere,
- Papiere und Pappe für spezielle technische Verwendungszwecke.

Weltweit werden jährlich rund 381 Millionen Tonnen (2006) Papier, Karton und Pappe produziert. Der rechnerische Papierverbrauch pro Kopf lag im Jahr 2006 in den USA bei 301 kg, in der EU bei 186 kg und weltweit bei 58 kg. In Deutschland betrug der rechnerische Papierverbrauch (Produktion+Import-Export) 2007 21 Millionen Tonnen<sup>[5]</sup>, also etwa 256,4 kg pro Kopf. Davon gingen 47 Prozent in grafische Papiere, 41 Prozent in Verpackungen und 5 Prozent in Hygiene-Papiere sowie 7 Prozent in Spezialpapiere.

Ein Drittel der Kapazitäten für die Papierproduktion weltweit entfällt auf die europäische Papierindustrie. Europa ist führend bei der Herstellung von Druck- und Schreibpapier, gefolgt von Asien und Nordamerika, und hat einen Anteil von rund 30 % an der gesamten Papier- und Pappeproduktion. Durch die Konsolidierung der europäischen Papierindustrie im letzten Jahrzehnt ist die Zahl der Unternehmen, Papierfabriken und Papiermaschinen in Europa gesunken, die Produktionskapazität jedoch gleichzeitig erheblich gestiegen. Es wird geschätzt, dass die zehn größten Papierhersteller 2003 einen Anteil von rund 28 % an der weltweiten Papier- und Pappeproduktion hatten. Der Umsatz der europäischen Papierindustrie betrug 2004 rund 70 Mrd. EUR. Neben großen Papierherstellern wie Stora Enso, International Paper, UPM-Kymmene, Svenska Cellulosa Aktiebolaget, M-real, die Exacompta Clairefontaine Group, Sappi und Myllykoski existiert eine große Zahl kleinerer Papierhersteller.<sup>[4]</sup>

## Papierforschung

Die Papierforschung wird in Deutschland gebündelt in der PTS („Papiertechnische Stiftung, München und Heidenau“), die im Jahre 1951 gegründet wurde und von den Unternehmungen der Papierindustrie gefördert wird. Es werden Auftragsforschungen und Dienstleistungen für die Papierindustrie und deren Zulieferfirmen erbracht. Darüber hinaus betreiben verschiedene Zulieferer eigenständige Forschungsanlagen.

Die Technischen Universitäten in Darmstadt und Dresden, die Fachhochschule München sowie die Berufsakademie Karlsruhe bilden Papieringenieure aus. Forschungsschwerpunkte in Darmstadt sind Recyclingverfahren sowie Wasserkreisläufe, in Dresden wird vornehmlich zu Energieeffizienz sowie Oberflächeneigenschaften geforscht.

Der Papiermaschinenhersteller Voith Paper unterhält auf seinem Betriebsgelände in Heidenheim/Brenz ein weltweit einzigartiges Papierforschungszentrum, das Paper Technology Center (PTC). Dort werden die Forschungsbereiche „Faserstofftechnologie“ und „Prozess der Papierherstellung“ auf bisher einmalige Weise kombiniert. Im PTC ist es

erstmals möglich, den kompletten Papierherstellungsprozess unter realen Bedingungen vorab zu testen und zu optimieren – vom Rohstoff über die Maschinenkonfiguration, die Automation und die Bespannungen bis hin zum Endprodukt. 140 Papiermacher, Automatisierungsexperten und Papieringenieure forschen im Paper Technology Center gemeinsam mit Papierherstellern aus aller Welt am Papier der Zukunft. Aufgrund des modularen Aufbaus dieser Anlage können unterschiedliche Produktionskonzepte erprobt und direkt miteinander verglichen werden. Im Bedarfsfall können ganze Maschinenteile mit Gewichten von bis zu 600 Tonnen en bloc ausgebaut und ausgetauscht werden. Darüber hinaus ist das Paper Technology Center mit einer Fiberdesignanlage ausgestattet, mit der der Rohstoff für die Papierherstellung gezielt an die Anforderungen des späteren Papiers angepasst werden kann.

Eine weitere Forschungsanlage betreibt der größte Hersteller für chemische Produkte zur Papierherstellung, die BASF in Ludwigshafen, teilweise in Partnerschaft mit der Omya.

## Sorten

Naturpapier ist ein Oberbegriff für alle Papiere, die aus Naturfasern ohne Zusatz von synthetischen Fasern und ohne Oberflächenbehandlung maschinenglatt oder satiniert sind.

Eine weiterführende Darstellung der Sorten befindet sich im Artikel Papiersorten.

## Eigenschaften

### Physikalische Eigenschaften

Grundsätzlich ist bei allen Messungen zu beachten, dass Luftfeuchtigkeit und Temperatur einen sehr großen Einfluss auf die Messwerte haben. Deshalb findet die Messung immer in Klimäräumen bei einem nach ISO-Normen festgelegten Normklima (23 °C, 50 % Luftfeuchtigkeit) statt. Meist wird die Papierprobe vor der Messung 24 Stunden in dem Raum gelagert, um sie zu akklimatisieren. Da die Messungen von der flächenbezogenen Masse ( $\text{g/m}^2$ ) des Papiers abhängen, werden so genannte *Laborblätter* mit einer nach ISO-Norm festgelegten Flächenmasse verwendet.

Die tatsächliche Dichte von normalem Schreibpapier wird zumeist in der Größenordnung zwischen 700 und 1200  $\text{kg/m}^3$  angegeben. Empirische Messungen an Fotokopierpapier in Büroqualität (80  $\text{g/m}^2$ ) haben bei Normalbedingungen einen Wert von etwa 800  $\text{kg/m}^3$  ergeben. Damit ist ein Blatt knapp ein zehntel Millimeter dick.

Wärmeleiteigenschaften: siehe Temperaturleitfähigkeit.

Lichtundurchlässigkeit: siehe Opazität. Der Grad der Lichtundurchlässigkeit des Papiers bezieht sich auf seine Fähigkeit, Licht nicht durchscheinen zu lassen. Papier ist lichtundurchlässig, wenn das auf die Papieroberfläche treffende Licht reflektiert, absorbiert oder im Papier gestreut wird. Je höher die Streuung des Lichts, umso lichtundurchlässiger ist das Papier. Lichtundurchlässigkeit ist eine erwünschte Qualität, die das Durchscheinen des Druckes minimiert oder verhindert. Ein Blatt mit 100 %iger Lichtundurchlässigkeit lässt überhaupt kein Licht durchscheinen und damit auch nicht den Druck. Im Allgemeinen ist die Lichtundurchlässigkeit des Papiers umso geringer, je niedriger sein Flächengewicht ist. Der Weißegrad und die Helligkeit des Füllstoffs, seine Kornstruktur und -größe, sein Brechungsindex und der Füllstoffgehalt sind Faktoren, die die Lichtundurchlässigkeit des Papiers bestimmen. Die Helligkeit ist ein Gradmesser für die Licht reflektierenden Eigenschaften des Papiers, die die Wiedergabe von Kontrasten und Halbtönen beeinflussen. Der Unterschied zwischen dem Helligkeitsgrad, der durch Kaolin erzielt wird (80 bis 90 auf der ISO-Helligkeitsskala), und dem Helligkeitsgrad, der durch Calciumcarbonate erzielt wird (GCC über 90 und PCC 90-95), ist erheblich.<sup>[4]</sup>

### Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit ist einer der zentralen physikalischen Werte bei der Papierherstellung, bei Kraftpapier ist sie sogar der wichtigste Wert. Die Maßeinheit der Zugfestigkeit ist N·m/g. Da die Zugfestigkeit vorwiegend von der Flächenmasse abhängt, wird tatsächlich der Zugfestigkeitsindex mit der Maßeinheit: kN/m verglichen.

Zur Bestimmung dieses Wertes wird eine Zerreißprobe gemacht. Dazu werden Papierstreifen einer genormten Länge und Breite mechanisch eingespannt, der so genannte Reiapparat zieht die Probe auseinander und zeichnet die benötigte Kraft auf. Die im Moment des Zerreißens benötigte Kraft ist die Zugfestigkeit. Um einen Durchschnittswert zu erhalten, werden meist 10 Streifen zerrissen, wovon 5 längs der Laufrichtung und 5 quer zur Laufrichtung der Papiermaschine genommen werden. Als Nebenprodukt dieser Messung werden noch die Bruchdehnung und die Zugbrucharbeit ermittelt. Die Bruchdehnung wird in Prozent angegeben und gibt an, um wie viel Prozent der Papierstreifen sich im Moment des Bruchs verlängert. Die Zugbrucharbeit wird in  $\text{J/m}^2$  angegeben und ist die aufgewendete Zugkraft pro Papierfläche.

#### **Spezifischer Weiterreißwiderstand**

Die Maßeinheit des spezifischen Weiterreiwiderstandes ist  $\text{mN}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ . Diese Maßeinheit gibt an, wie leicht ein Papier, das bereits eingerissen ist, weiterreit. Dazu wird das Papier mit einem Schnitt versehen und in das Reifestigkeitsprfgert (nach Elmendorf) eingespannt. Durch einen Knopfdruck wird ein blockiertes Pendel ausgelöst, welches die Probe im Zuge der Pendelbewegung zerreißt und dabei die Kraft misst.

#### **Berstwiderstand**

Der Berstwiderstand gibt die benötigte Kraft an, um ein Papier zum Bersten zu bringen. Die Maßeinheit des Berstwiderstandes lautet  $\text{kPa}$ . Dazu wird das Normblatt in den Prfapparat eingespannt und eine Membran mit genormter Fläche drückt mit ansteigender Kraft gegen das Papier. Die Kraft die beim Durchstoßen des Papiers aufgewendet wird, ist der Berstwiderstand.

#### **Porosität**

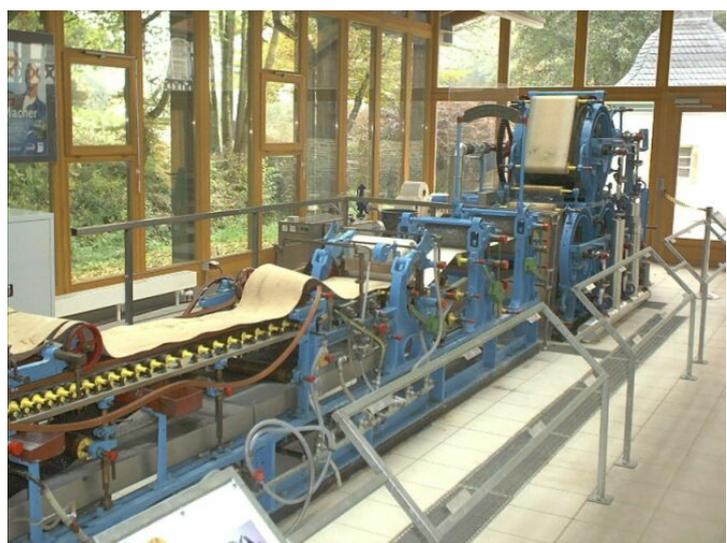
Die Porosität gibt an, wie viel Luft ein Papier durchlässt. Die Maßeinheit der Porosität lautet *Gurley*. Dazu wird das Normblatt in den Prfapparat eingespannt und der Prfapparat drückt 100 ml Luft mit 1,23  $\text{kPa}$  durch eine Prüffläche von  $6,42 \text{ cm}^2$  und misst die dafür benötigte Zeit. Eine Zeitdauer von einer Sekunde entspricht dabei einem Gurley.

#### **Spaltwiderstand**

Der Spaltwiderstand gibt die aufzubringende Kraft an, welche benötigt wird, die Papierbahn in der Masse zu spalten. Dies wird gewöhnlich bei mehrlagigen Papieren angewandt, wo mehrere Papierbahnen nass (25–35 %) vergautscht wurden, so beispielsweise bei Faltschachtelkarton (FSK) oder besonders voluminöse Papiere (Rohdichte  $<1,5$ ) wie Bierdeckeln.

## Laufriichtung

Während bei der Papierherstellung von Hand die Fasern gleichmäßig in allen Richtungen liegen, tritt bei der maschinellen Papierherstellung, die auf einem Endlossieb erfolgt, eine (teilweise) Ausrichtung der Fasern längs des Bandes auf. Man spricht von der Laufriichtung des Papiers und unterscheidet zwischen der Maschinenrichtung (in Laufriichtung) und der Querrichtung (quer zur Laufriichtung). Man spricht dabei auch von Schmalbahn (*Long Grain*) und Breitbahn (*Short Grain*) Angabe in Katalogen und auf Riesetiketten: Das Maß quer zur Laufriichtung wird unterstrichen oder fett ausgezeichnet oder zuerst genannt. Üblich sind auch die Abkürzungen SB (Schmalbahn) und BB (Breitbahn) oder ein Pfeil, der die Laufriichtung markiert.



Langsiebpapiermaschine für den Laborbetrieb, aufgestellt von der Papierfabrik Stora Kabel im Hagener Freilichtmuseum

In Abhängigkeit von der vorherrschenden Faserrichtung beeinflussen Feuchtigkeit, Temperatur und Alterung das Papier. Bei einer ungleichmäßigen Ausrichtung ändert somit jede Karte im Laufe der Zeit und mit dem Wechsel der Witterung bzw. des Raumklimas ihren genauen Maßstab unterschiedlich in den beiden Richtungen. Nur durch spezielle beziehungsweise geschichtete Papiersorten kann dieser Effekt bei maschinell produzierten Papieren verringert werden.

Bei der Herstellung von Büchern (und anderen gebundenen Gegenständen) ist darauf zu achten, dass die Laufriichtung aller Seiten (und des Buchdeckels) parallel zum Buchrücken verläuft, da Papier sich immer quer zur Laufriichtung ausdehnt. Andernfalls bricht das Buch leicht an der Bindung auseinander bzw. lässt sich schlecht durchblättern.

Durch das Aufeinanderkleben mehrerer Papierschichten abwechselnder Laufriichtung erhält man sehr starres Papier (vergleichbar zum Sperrholz), wie beispielsweise der mindestens dreilagige Bristolkarton.

## Alterungsbeständigkeit

Die Anforderungen bezüglich der Alterungsbeständigkeit von Büchern sind in den so genannten Frankfurter Forderungen der Deutschen Bibliothek und der Gesellschaft für das Buch, sowie in der US-Norm ANSI/NISO Z 39.48–1992 und ISO-Norm 9706 fixiert.<sup>[6]</sup>

## Weißgrad

Der Weißgrad ist ein technischer Kennwert für die Reflexionsfähigkeit des Papiere für weißes Licht. Er wird idealerweise mit einem Spektralphotometer gemessen. Aus der spektralen Verteilung wird der Zahlenwert nach verschiedenen Formeln berechnet. Für Papier wird meist der *Weißgrad nach Berger* genutzt. Bei einem normalen Kopierpapier ohne UV-sensible Aufheller liegt der Weißgrad nach Berger etwa bei 160. Durch optische Aufheller und Farbstoffe werden die Messergebnisse beeinflusst. Darum wird der Weißgrad üblicherweise unter Normlicht bestimmt. Hierbei ist der Anteil an kurzwelliger UV-Strahlung gegenüber Tageslicht geringer. Handelsübliche weiße Papiere sind meist aufgehellt. Unter Normlicht gemessene neutralweiße Papiere sehen so unter Glühlampenlicht gelblicher, im sonnigen Tageslicht oder unter Leuchtstofflampen dagegen bläulich-weiß aus.

Der Weißgrad gibt lediglich den Unbuntanteil einer gemessenen Fläche bezogen auf eine ideal weiße oder ideal schwarze Fläche an. Bei zwei Papieren, die messtechnisch den gleichen Weißgrad besitzen, kann ein sichtbarer Farbstich bestehen, der den subjektiven Weißindruck verfälscht. Menschen empfinden leicht gelbliches oder rötliches Papier als weniger weiß, also grauer gegenüber einem leicht bläulichen oder grünlichen des gleichen Weißgrades.

Der Weißgrad wird als Standardprüfung in der Papierproduktion verwendet. Um unerwünschte Farbstiche zu vermeiden, ist vom Anwender neben dem Weißgrad auch der Farbstich des Papiers zu beachten. Den Effekt der „Weißgraderhöhung“ durch optische Verschiebung nutzt man unter anderem beim sogenannten Bläuen des Papiers aus. Dabei wird durch Zugabe blauer Pigmente ein Gelbstich verringert. Beim sogenannten Drücken wird ein zu weißes Papier durch Zugabe roter oder brauner Pigmente gebrochen. In beiden Fällen nimmt der technische Weißgrad leicht ab, der subjektive Weißindruck jedoch wird beim Bläuen erhöht und beim Drücken verringert.

## Verwendung

### Beschriftung

Beim Beschriften wird ein Farbstoff (beispielsweise Tinte, Toner und Druckfarbe) mit einem Gerät auf Papier aufgetragen. Dies kann von Hand mit einer Schreibmaschine, einem Füllfederhalter, einem Bleistift, einem Buntstift, einem Filzstift oder einem Federkiel geschehen. Seit der Erfindung des Buchdrucks gibt es Maschinen, die einen Text seitenweise auf Papier übertragen können. Dies ist mit einer Druckmaschine millionenfach oder mit einem Laserdrucker für nur wenige Seiten möglich. Während anfänglich noch der zur Verfügung stehende Rohstoff die Eigenschaften des Papiers bestimmte, kann heute Papier den Anforderungen angepasst werden. Gestrichenes Bilderdruckpapier zum Kunstdruck, zum Zeitungsdruck ein billiges, reißfestes Papier und als Kopierpapier holzfreies, ungestrichenes Papier.

### Bildende Kunst

Pappmaché ist ein Gemisch aus Papier, Bindemittel und Kreide oder Ton, das im 18. Jahrhundert als Ersatz für Stuck in der Innenausstattung verwendet wurde. So gab es eine Manufaktur, in der aus alten Akten für das Schloss Ludwigslust Deckenverzierungen, Büsten, etc. und sogar Statuen, die wenige Monate im Freien aufgestellt werden konnten, hergestellt wurden. Heute findet man Papier im Modellbau, in der japanischen Papierfaltkunst Origami und bei Collagen und Assemblagen. Aquarellpapier für Aquarelle hat eine Flächenmasse von bis zu 850 g/m<sup>2</sup>. Fotopapier muss speziell beschichtet werden, damit es als Träger für die Fotoemulsion oder zum Einsatz für Tintenstrahldrucker geeignet ist.



Banknoten und Luxuspapiere: kolorierter Stahlstich (um 1850), Grußkarten (1866), Ansichtskarte mit Lithografie (1902), bedruckte Pappkärtchen für Fotos (um 1900).

## Luxuspapiere

Dies ist die Bezeichnung für veredelte, geschmückte und verzierte, oft aufwendig bearbeitete Papiererzeugnisse die von etwa 1820/60 bis 1920/30 hergestellt wurden, als es eine eigene Luxuspapierindustrie gab. Zur Veredlung wurde eine Reihe von Bearbeitungsverfahren eingesetzt, wie Kolorierung als Hand- und Schablonenkolorierung, Farbendruck als Chromolithografie, Gold- und Silberdruck, Prägen (Gaufrieren) und Stanzen, das Aufbringen von Fremdmaterialien, wie Glimmer, Seide sowie das Anbringen von Laschen, Klappen und Mechanismen bei Spielzeugen. Unter Luxuspapiere fallen Andachts- und Fleißbildchen, viele Ansichts- (Leporello), Gelegenheits- (Glückwunsch-, Weihnachts- und Neujahrskarten) und Bildpostkarten (Motivkarten), verzierte Briefbogen, Etiketten, allerlei Papierspielzeug (Papiertheater), Reklamemarken und Sammelbilder und vieles mehr. Heute sind solche Luxuspapiere Sammelobjekte.

## Technische und Spezialpapiere

Pappe hat eine Flächenmasse von mindestens 300 g/m<sup>2</sup> und ca 1,5 mm Dicke. Dünneres Material, ab 130 g/m<sup>2</sup>, heißt Karton und wird vorwiegend als Kartonage verwendet. Mit einer Kunststoffbeschichtung und eventuell einer Aluminiumfolie als Zwischenlage kann sie als Getränkekarton sogar Flüssigkeiten verpacken. Die am meisten verbreitete Pappe ist die Wellpappe, die in den vielfältigsten Sorten vorkommt. Pappe und Kartons werden vorwiegend aus Recyclingpapier produziert, da es hierbei nicht so sehr auf die Farbe des Materials ankommt. Inzwischen kann jedoch Recyclingpapier mit einer sehr hohen Qualität produziert werden und unterscheidet sich im Weißegrad nur noch sehr schwach von Papier aus neuen Fasern. Das Papier mit der größten, relativen Zugfestigkeit wird Kraftpapier genannt. Es besteht zu beinahe 100 % aus langfaserigen Zellstofffasern von Nadelhölzern. Es wird z. B. für Papiersäcke verwendet. Es gibt Filterpapiere (z.B. Luftfilter für Fahrzeuge und Staubsauger), Kabelisolierpapiere, Medizinische Papiere, Klebezettel, Zigarettenpapier und Thermopapiere. Papiere finden sich ebenfalls in Metallpapierkondensatoren und Elektrolytkondensatoren, wo sie als Isolator oder Träger des flüssigen Elektrolyts dienen. Eine neue Erfindung stellt das sog. I-PAPER dar (Intelligent Paper). Es besteht aus mehreren Papierlagen und einer magnetischen Speicherschicht. Dadurch wird es möglich, ähnlich wie bei Disketten oder Festplatten, Daten ins Papier zu speichern und wieder auszulesen. Der sog. Medienbruch wird aufgehoben und eine automatische Verbindung zwischen elektronischer Datenverarbeitung und Papier hergestellt. Die Erfindung wurde im Jahr 2000 von Wolfgang Bossert zum Patent angemeldet.

## Fliegen mit Papier

Es gibt Flugdrachen aus Papier in China, seitdem es dieses Material gibt. Die 1783 erbaute Montgolfière, der Gebrüder Montgolfier, war ein Heißluftballon aus Leinwand, der mit einer dünnen Papierschicht luftdicht verkleidet war. Im Zweiten Weltkrieg produzierte Japan ca. 10.000 Ballons aus Papier, die mit Lack gasdicht gemacht wurden und Brand- und Sprengsätze (5 bis 15 Kilogramm) über den Pazifik nach Amerika transportierten.

Im Flugzeugmodellbau wird Papier als Bespannung (Spannpapier) von Tragflächen in Holm-Rippen-Bauweise und für Flugzeugrümpfe verwendet. Dazu wird es aufgeklebt, mit Spannlack getränkt und überlackiert sobald durch Trocknen die nötige Oberflächenspannung erreicht ist.

Des Weiteren wird Papier zum Basteln von Papierfliegern benutzt. Dazu wird das Papier in eine einem Flugzeug ähnelnde Form gefaltet.

## Garne, Textilien

Papier kann zu Textilien verarbeitet werden, einerseits direkt aus Papier, andererseits in Streifen geschnitten, versponnen und zu Textilien verwebt, s. Papiertextilien.

## Umweltaspekte

Bei der Papierproduktion ist vor allem der Verbrauch an Holz, Wasser und Energie Gegenstand der umweltpolitischen Diskussion. Rund 20 % des weltweit eingeschlagenen Holzes werden zu Papier verarbeitet. Vornehmlich wird allerdings so genanntes „Durchforstungsholz“, Sturmholz, oder Sägerestholz verwendet. Kontroverse Themen finden sich vor allem beim Thema nachhaltige Forstwirtschaft, der Forstzertifizierung<sup>[7]</sup> und der Nutzung von Urwald.

Der hohe Wasserverbrauch war bereits vor 1900 problematisch, was die mehrfache Nutzung des Wassers bedingte, um den Verbrauch zu reduzieren. In den ersten Papiermühlen benötigte man 1.200 Liter pro Kilogramm Papier, um 1900 waren es 100 bis 800 Liter, heute sind es noch 7 Liter. Ein völliges Schließen des Kreislaufs ist im Regelfall nicht möglich. Auf Grund der Wasserhärte kommt es zu Verstopfungen von Maschinenteilen, wenn sich Calciumcarbonat anreichert. Nur in Einzelfällen, falls nur Altpapier eingesetzt wird, ist der komplette Abwasserrücklauf derzeit möglich.

Der Wasserverbrauch bedingt das Abwasser. Mit der Industrialisierung Ende des 19. Jahrhunderts und der steigenden Nachfrage nach Zellstoff und Chlorbleiche stieg die Menge der Abwässer und damit der darin enthaltenen Schadstoffe. Die Hemicellulosen und das Lignin (über 50 % des Holzes) wurden anfangs fast unbehandelt in die Gewässer entsorgt. Aufgrund der Umwelt- und Gesundheitsschäden und des Verlustes der Kochchemikalien mit der Ablauge wurden zunächst die Laugen zur Energieerzeugung eingesetzt. Moderne Zellstofffabriken arbeiten energieautark, die Kochchemikalien werden aus dem Abgas und der Asche zurückgewonnen.

Die deutschen Umweltvorschriften gehören zu den strengsten weltweit. Abwässer aus Zellstofffabriken dürfen eine Belastung bis 25 Kilogramm CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) pro Tonne Zellstoff aufweisen, bei der Papierherstellung sind zwei bis fünf Kilogramm CSB pro Tonne Papier zulässig.<sup>[8]</sup>

Die meisten Papierfabriken betreiben eigene Kläranlagen, die das eingesetzte Wasser in bis zu drei Stufen (mechanisch, biologisch, chemisch) reinigen und erst anschließend in den Vorfluter einleiten. Andere Papierfabriken sind Indirekteinleiter, d.h. ihr Abwasser wird gemeinsam mit kommunalem Abwasser gereinigt.

Der Energieverbrauch zur Herstellung liegt bei etwa 2,3 kWh pro Kilogramm Papier<sup>[9]</sup>.

## Schädlinge und Konservierung

Ein bedeutsamer tierischer Schädling ist das Silberfischchen, wobei es das Papier entweder oberflächlich frisst oder gar Löcher verursacht. Natürliche Gegenspieler sind der Bücherskorpion und die Speispinnen. Ein weiterer tierischer Schädling sind die Bücherläuse, die sich parthenogenetisch fortpflanzen und somit schnell massenhaft feucht gewordene Papiere befallen können. Unter den Pilzen sind Schimmelpilze von großer Bedeutung, die ebenfalls durch Feuchtigkeit begünstigt werden und die beispielsweise in Folge von Wasserschäden auftreten können. Ein wichtiger Schritt bei der Konservierung von nass gewordenem Papier ist die umgehende Gefriertrocknung.

Aus bestimmten Inhaltsstoffen von Papieren können Säuren gebildet werden, die das Papier zerstören. Zur Konservierung, um dem Säurefraß entgegen zu wirken, wurden automatisierte Anlagen gebaut, in denen „saures“ Papier neutralisiert wird und eine alkalische Reserve eingebracht wird.

## Literatur

### Bücher

- „Papier 2007“, Ein Leistungsbericht. Statistisches Jahrbuch des Verbandes Deutscher Papierfabriken, VDP, Bonn 2007
- Wilhelm Sandermann: *Papier, eine Kulturgeschichte*, 3. Auflage. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1997 (zuerst 1988), ISBN 3-540-55313-4
- Passion Papier, Hrsg. Verband Deutscher Papierfabriken, Bonn 2007
- Sabine Schachtner: *Größer, schneller, mehr. Zur Geschichte der industriellen Papierproduktion und ihrer Entwicklung in Bergisch Gladbach*, Rheinland-Verlag, Köln 1996, ISBN 3-7927-1561-9
- Uwe Baufeldt, Hans Rösner, Jürgen Scheuermann und Hans Walk: *Informationen übertragen und drucken, Lehr- und Arbeitsbuch für das Berufsfeld Drucktechnik*, 14. Auflage. Verlag Beruf + Schule, Itzehoe 2000, ISBN 3-88013-606-8
- Lothar Götsching (Hrsg.): *Papier in unserer Welt*, Econ Verlag, Düsseldorf-Wien-New York 1990, ISBN 3-430-13252-5
- Wolfgang Walenski: *Das PapierBuch*, Verlag Beruf + Schule, Itzehoe 1999, ISBN 3-88013-584-3
- Christa Pieske: *Das ABC des Luxuspapiers. Herstellung, Verarbeitung und Gebrauch 1860 bis 1930*, Dietrich Reimer Verlag, Berlin 1964, ISBN 3-496-01023-1
- Elke Gottschalk: *Papierantiquitäten. Luxuspapiere von 1820 bis 1920*, Verlag Battenberg, Augsburg 1996, ISBN 3-89441-216-X
- Josep Asunción: *Das Papierhandwerk*, Verlag Paul Haupt, 2003
- Paul Ludger Göbel: *Papier als Werkstoff in der Bildenden Kunst. Eine Bestandsaufnahme der Moderne und die gestalterischen Möglichkeiten für den Kunstunterricht*. Dissertation, Universität Potsdam 2007 (Volltext <sup>[10]</sup>)

### Aufsätze

- Günter Bayerl: *Vorindustrielles Gewerbe und Umweltbelastung – das Beispiel der Handpapiermacherei*, Technikgeschichte – Beiträge über d. geschichtl. Entwicklung d. Technik und d. Industrie sowie deren naturwiss. Voraussetzungen, Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Verl., Düsseldorf 48.1981, S. 206–238. ISSN 0082-2361 <sup>[11]</sup>
- Victor Thiel: *Papierherzeugung und Papierhandel vornehmlich in den deutschen Landen von den ältesten Zeiten bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts* <sup>[12]</sup> Ein Entwurf, in: *Archivalische Zeitschrift*, Dritte Folge, Böhlau, Köln 8=41.1932, S. 106–151.
- Andreas Pingel Keuth: *Papierherstellung*, in: *Chemie in unserer Zeit*, Wiley-VCH, Weinheim 39.2005,6, S. 403–409. ISSN 0009-2851 <sup>[13]</sup>
- Klaus Roth: *Papierkonservierung – Chemie kontra Papierzerfall*, in: *Chemie in unserer Zeit*, Wiley-VCH, Weinheim 40.2006,1, S. 54–62. ISSN 0009-2851 <sup>[13]</sup>

## Weblinks

- Kleine Papiergeschichte – vom Papyrus zum Papier des 20. Jahrhunderts <sup>[14]</sup>
- Papier & Das Ressourcenproblem Holz <sup>[15]</sup>
- Homepage des Verbandes Deutscher Papierfabriken <sup>[16]</sup>
- Homepage der Vereinigung der österreichischen Papierindustrie <sup>[17]</sup>
- Homepage der Confederation of European Paper Industries <sup>[18]</sup>
- Papiermaschine systematischer Aufbau <sup>[19]</sup>

## Referenzen

- [1] Dieter Pothmann: Impressionen von der IPH-China-Expedition. (<http://www.paperhistory.org/vortrag.htm>)
- [2] Dagmar Lorenz: SWR2 Papier und Schriftkultur. Vierte Folge der Reihe: Chinoiserien. (<http://db.swr.de/upload/manuskriptdienst/wissen/wi0620021500.rtf>)
- [3] The Construction of the Codex In Classic- and Postclassic-Period Maya Civilization (<http://www.mathcs.duq.edu/~tobin/maya/>) Maya Codex and Paper Making
- [4] Entscheidung der Europäischen Kommission in der Sache Nr. COMP/M.3796 – OMYA/HUBER PCC ([http://ec.europa.eu/competition/mergers/cases/decisions/m3796\\_20060719\\_20600\\_de.pdf](http://ec.europa.eu/competition/mergers/cases/decisions/m3796_20060719_20600_de.pdf))
- [5] Verband Deutscher Papierfabriken: Papier-Kompass 2008 (<http://www.vdp-online.de/pdf/Kompassdeutsch.pdf>)
- [6] A. Haberditzl: *Woran erkenne ich alterungsbeständiges Papier? Eine Replik*, in: Der Archivar, Jahrgang 58, Heft 4 (November 2005), S. 327 ([http://www.archive.nrw.de/archivar/2005-04/Archivar\\_2005-4.pdf](http://www.archive.nrw.de/archivar/2005-04/Archivar_2005-4.pdf)).
- [7] WWF Deutschland: *Zertifiziertem Papier gehört die Zukunft* ([http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf\\_neu/wwf\\_papierzertifizierung\\_.pdf](http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/wwf_papierzertifizierung_.pdf)), Broschüre, Mai 2008
- [8] BMU: *Abwasserverordnung*, Anhänge 19 und 28 (<http://www.bmu.de/gewaesserschutz/doc/3712.php>)
- [9] <http://www.wiwo.de/unternehmer-maerkte/hohe-energiekosten-bremsen-papierindustrie-133856>
- [10] <http://opus.kobv.de/ubp/volltexte/2007/1257/>
- [11] <http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=0082-2361>
- [12] <http://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/Thiel1932>
- [13] <http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=0009-2851>
- [14] <http://papiergeschichte.freyerweb.at/>
- [15] <http://csr-news.net/main/2006/09/14/papierdruck-ein-puzzleteil-der-csr-mit-grosen-handlungspotentialen/>
- [16] <http://www.vdp-online.de/>
- [17] <http://www.austropapier.at/>
- [18] <http://www.cepi.org/>
- [19] <http://www.lfp-plotterpapier.de/images/papiermaschine.gif>

# Papierstärke

---

**Papierstärke** ist modifizierte und nativer Stärke, die bei der Papierherstellung zur Behandlung der Papieroberfläche, der so genannten Leimung bzw. Imprägnierung, und Stärkung eingesetzt wird. Sie verschließt aufgrund der Polymerisierung des enthaltenen Gluten die Oberfläche und verbessert damit die Eigenschaften des Papiers, um es beschreib- oder mit wässrigen oder alkoholischen Tinten bedruckbar zu machen. Der Effekt beruht auf einer Hydrophobierung des Papiers, das in seinem Normalzustand hydrophil ist.

In ungeleimtem Zustand würden wasserbasierte und niedrigviskose Schreibmaterialien wie Tinte oder Tusche verlaufen, und die Kapillarität des Papiers würde so ein sauberes Schriftbild behindern, wie es bei ungeleimten Produkten wie etwa Toilettenpapier oder Küchenkrepp der Fall ist. Ähnliche Effekte können auch durch den Einsatz von modifizierter Cellulose (beispielsweise Carboxymethylcellulose) oder Polyvinylalkohol erreicht werden.

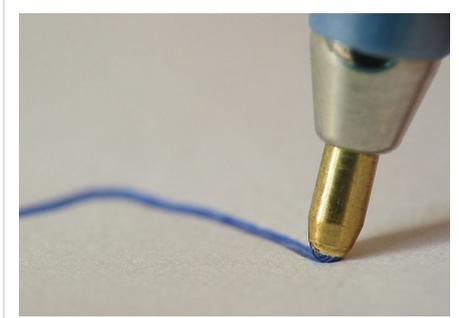
Für die Herstellung von Papierstärke werden vor allem Kartoffelstärke, Maisstärke und Weizenstärke verwendet, in geringeren Mengen auch Erbsenstärke, Reisstärke und Maniokstärke.

## Weblinks

- Papermakers starch <sup>[1]</sup>

## Referenzen

- [1] <http://www.starch.dk/isi/applic/paper.htm>



Ohne Leimung würden Schreibtinten auf dem Papier verlaufen

# Pappelholz

Pappel	
	
Baumarten	Zitter-Pappel (AS), Schwarz-Pappel (PA), Weiß-Pappel (PA), Grau-Pappel (PA)
Herkunft	Europa, Asien, Nordamerika
Farbe	schmutzigweiß, rötlichbraun bis bräunlich
Materialeigenschaften	
Rohdichte Mittelwert	AS: 450–490 kg/m <sup>3</sup> , PA: 410–450 kg <sup>3</sup>
Rohdichte Grenzwerte	AS: 360–600 kg/m <sup>3</sup> , PA: 370–560 kg/m <sup>3</sup>
Axiales Schwindmaß	0,4 %
Radiales Schwindmaß	3,3 %
Tangentiales Schwindmaß	8,2 %
Biegefestigkeit	76 N/mm <sup>2</sup>
Druckfestigkeit	36 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit	69 N/mm <sup>2</sup>
Wärmeleitfähigkeit	0,17-0,19 W/Km
Brennstoffeigenschaften	
Brennwert	19,8 MJ/kg

Als **Pappelholz** wird das Holz verschiedener Arten der Pappeln (Gattung *Populus*) bezeichnet, die als Nutzhölzer verwendet werden. Die Pappeln sind eine Gattung von sommergrünen Laubbäumen. Sie sind die raschwüchsigsten einheimischen Baumarten und bereits nach 30 bis 50 Jahren ausgereift. Pappelholz stammt meist von Kultursorten, die durch Züchtung aus verschiedenen Pappelarten hervorgegangen sind. Zunehmend wird Pappelholz nicht nur im Forst, sondern auch in Kurzumtriebsplantagen erzeugt.

Etwa 1 % der in Deutschland jährlich eingeschlagenen Holzmenge ist Pappelholz. Aus Pappelholz wird vor allem Rund- und Schnittholz hergestellt. Zudem wird es als Brennholz genutzt. In Deutschland werden etwa 40 % des Pappelholzes zu Spanplatten und Spanholzformteilen verarbeitet, der Rest wird als Brennholz u.a. für die Herstellung von Holzpellets und Hackschnitzeln verwendet.

Nach DIN 4076 ist das Kurzzeichen für alle Pappelarten mit Ausnahme der Zitterpappel „PA“, die Zitter-Pappel hat das Kurzzeichen „AS“ für Aspe.<sup>[1]</sup>

## Herkunft

Die Pappeln sind eine Gattung von sommergrünen Laubbäumen, die in fünf Sektionen unterteilt ist. Arten aus drei der fünf Sektionen sind zur Erzeugung von Nutzholz von Bedeutung. In Mitteleuropa sind drei Pappelarten heimisch, die Schwarz-Pappel (*Populus nigra*) aus der Sektion der Schwarzpappeln (*Aigeiros*), die Weiß-Pappel (*Populus alba*) und die Zitter-Pappel (*Populus tremula*), auch Aspe oder Espe genannt, beide aus der Sektion der Weißpappeln (*Populus*). Ebenfalls heimisch ist die Grau-Pappel (*Populus × canescens*), eine natürliche Kreuzung aus Zitter-Pappel und Weiß-Pappel, und die Säulen-Pappel (*Populus nigra* var. *italica*), eine Varietät der Schwarzpappel. Pappelholz stammt meist von sogenannten Wirtschaftspappeln, dies sind Kultursorten, die durch Kreuzung und Selektion aus den zuvor genannten Arten hervorgehen. Als Kreuzungspartner dienen auch Pappelarten aus Nordamerika und Asien aus den Sektionen der Schwarzpappeln, der Weißpappeln und der Balsampappeln (*Tacamahaca*). Früher hatten die Schwarzpappeln die größte wirtschaftliche Bedeutung, sie wurden inzwischen von den Balsampappeln abgelöst.

Pappeln sind die raschwüchsigsten der einheimischen Baumarten, sie sind bereits nach 30 bis 50 Jahren ausgereift. Ein Pappelbestand zeigt pro Jahr und Hektar einen Zuwachs von 10 bis 15 Festmeter Holz, auf besten Standorten auch 20 Festmeter. Zum Vergleich: Buchen schaffen an guten Standorten einen Zuwachs von 6 bis 8 Festmetern. Jährlich werden in Deutschland etwa 350.000 bis 400.000 Festmeter Pappelholz eingeschlagen, was etwa 1 % der gesamten eingeschlagenen Holzmenge entspricht.<sup>[1]</sup>

## Aussehen

Pappelholz ist ein helles, weißliches, rötlichbraunes bis bräunliches, zerstreutporiges Laubholz. Die Gefäße werden durch das ganze Jahr sehr gleichmäßig gebildet. Früh- und Spätholz ähneln sich, das Holz ist daher gleichmäßig aufgebaut. Trotzdem sind deutlich Jahresringe erkennbar, da das Spätholz zu den Jahresringgrenzen ein schmales dichteres Band bildet. Bei den Pappeln sind Splintholz und Kernholz deutlich getrennt, eine Ausnahme bildet die Zitterpappel, die zu den Splintholzbäumen gezählt wird. Das Kernholz der Schwarz-Pappel und ihrer Hybriden ist im frischen Zustand hellbraun bis hell grünlichbraun, es wird beim Trocknen schwach rotbraun und gleicht sich der Farbe des Splintholzes an. Das Holz der Zitter-Pappel ist schmutzigweiß bis gelblich weiß, das Kernholz der Weiß-Pappel und der Grau-Pappel ist dunkel, rötlichgelb bis gelblichbraun. Das Splintholz der Arten ähnelt dem der Zitter-Pappel und ist von weißlicher Farbe.<sup>[1]</sup>

## Eigenschaften

Das Holz der verschiedenen Pappelarten hat sehr ähnliche Eigenschaften, und es wird üblicherweise nicht zwischen den Arten unterschieden. Eine Ausnahme bildet die Zitter-Pappel wegen der fehlenden Kernfärbung und der etwas höheren Rohdichte. Das Holz der Pappeln ist sehr weich und gehört mit einer Rohdichte von 400 bis 500 kg/m<sup>3</sup> bei einer Holzfeuchte von 12 bis 15 % zu den leichtesten heimischen Laubholzarten und weist entsprechend geringe absolute Festigkeitswerte auf. Bezogen auf die Masse des Holzes kann die Festigkeit aber mit anderen Holzarten mithalten. Das Holz gilt als splitterfest und verglichen zu anderen Laubhölzern als leicht spaltbar. Durch Faserverfälschung an der Holzoberfläche und an den Reibflächen ist auch der Widerstand gegen Abnutzung hoch.

Das Holz ist wenig witterungsbeständig und zeigt unter Wasser nur eine geringe Beständigkeit. Frisch weist es einen hohen Feuchtigkeitsgehalt auf. Bei Schwarz- und Balsampappeln ist die Feuchtigkeit des Kernholzes deutlich höher als die des Splintholzes, bei Weißpappeln in etwa gleich, was bei der Trocknung berücksichtigt werden muss. Beim Trocknen neigt es nicht zum Reißen oder Werfen, braucht jedoch lange, bis die Gebrauchsfeuchtigkeit erreicht ist.

Das Holz kann gut mit scharfen Werkzeugen bearbeitet werden, es lässt sich gut sägen, fräsen, schälen und messern. Frisches Holz ist leichter zu bearbeiten als trockenes, da filzige Sägespäne zu starker Reibung und Erhitzung der Sägeblätter führen. Breitringiges Holz lässt sich meist weniger glatt aufbereiten. Es lässt sich gut verleimen und befriedigend nageln. Die Oberflächenbehandlung ist problemlos, es lässt sich gut beizen, aber weniger gut polieren.<sup>[1]</sup>

## Verwendung

### Stoffliche Verwendung

Bis heute wird Pappelholz, aufgrund seiner hohen Belastbarkeit, guten Verarbeitungsmöglichkeiten und nicht zuletzt wegen seines relativ geringen Gewichts, neben Abachi als bevorzugtes Holz in der Prothetik eingesetzt. Sowohl Fertigpassteile, wie Kniebauteile, als auch Oberschenkelprothesenrohlinge werden aus Pappel gefertigt. Die Holzprothese wird aber mehr und mehr durch technische Kunststoffe ersetzt.

Das Holz der Pappeln wird vor allem als Rund-, Industrie- und Schnittholz, zudem werden erhebliche Mengen energetisch verwertet (als biogener Brennstoff unter anderem in Heizwerken).

In Deutschland werden etwa 40 % des Pappelholzes zu Spanplatten und Spanholzformteilen verarbeitet. Der mit Abstand wichtigste Verbraucher von Schäl furnieren aus Pappelholz ist die Zündholzindustrie, außerdem werden aus Schäl furnier der Pappel Sperrholz, Schichtholz für gebogene Formteile, Spankörbe für Obst und Gemüse und Geschenkverpackungen produziert. Auch Messerfurnier wird aus Pappelholz hergestellt.

Etwa ein Viertel des in Deutschland hergestellten Holzes wird zu Schnittholz weiter verarbeitet. Es wird in der Schuhindustrie, aber auch zur Herstellung von Sitz- und Liegebänken in Saunabauten verwendet. Weiters wird es zu Paletten und Kisten weiterverarbeitet.

Aus Pappelholz wird eine Spezialholzkohle hergestellt, die für Zeichenzubehör und in der chemischen Industrie Verwendung findet.

Das Holz wird auch zu Zeichenbrettern, Haushaltsgeräten, Zahnstochern und Schneeschaufeln weiterverarbeitet. Es eignet sich auch gut zur Fertigung von Faserplatten und zur Erzeugung von Zellstoff und Papier. Weiters wird Pappel zu Holzwolle und Holzwolleplatten verarbeitet.

In früheren Zeiten wurde Pappelholz zur Herstellung der Holzpantinen oder Holzklumpen verwendet, da das Holz billig, leicht und unempfindlich ist. Aus dem frischen oder feucht gehaltenen Holz wurden in Handarbeit die berühmten „Holländerschuhe“ geschnitzt.<sup>[2]</sup> Im Emsland und im Münsterland wird Pappelholz auch für Außenverkleidungen, Giebelverschalungen und andere Verbretterungen eingesetzt.<sup>[1]</sup>



Holzschuhe wurden in den Niederlanden meist aus Pappelholz gefertigt

## Energetische Verwendung

Der Brennwert von Pappelholz liegt mit 19,8 MJ/kg zwischen dem von Fichten- und Buchenholz. Aufgrund der geringen Dichte ist die Energieausbeute des Holzes bezogen auf das Holzvolumen (z. B. pro Ster oder pro Schüttraummeter) geringer als die anderer Brennhölzer.

Neben Weiden stellen Pappeln als schnellwachsende Baumarten die wichtigsten Baumarten für den Anbau in Kurzumtriebsplantagen dar. Bei Pappelholz aus Kurzumtriebsplantagen, die bereits nach wenigen Jahren geerntet werden, beträgt der Ascheanteil mit 1,8 % rund das Dreifache von Fichtenholz aus dem Forst.<sup>[3]</sup>

## Nachweise

### Literatur

- D. Grosser, W. Teetz: *Pappel*. In: Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. (Hrsg.): *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung)*. Nr. 14, Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond – Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn 1998, ISSN 0446-2114 <sup>[1]</sup> (Online <sup>[4]</sup>).
- Doris Laudert: *Mythos Baum : Geschichte, Brauchtum, 40 Baumporträts von Ahorn bis Zitrone*. 7., durchgesehene Auflage. blv, München 2009, ISBN 978-3-8354-0557-8, S. 173–179.

## Referenzen

[1] Grosser, Teetz: *Pappel*

[2] Laudert: *Mythos Baum*, S. 174–175

[3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2007): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. ISBN 3-00-011041-0 ( pdf ([http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_278Bioenergie\\_Kleinanlagen\\_2007.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_278Bioenergie_Kleinanlagen_2007.pdf)))

[4] [http://www.infoholz.de/html/f\\_page.phtml?p1=1257821284a725407291&p3=741](http://www.infoholz.de/html/f_page.phtml?p1=1257821284a725407291&p3=741)

# Pappeln

Pappeln	
	
Kanadische Pappel ( <i>Populus canadensis</i> )	
Systematik	
<i>Abteilung:</i>	Bedecksamer (Magnoliophyta)
<i>Klasse:</i>	Dreifurchenpollen- Zweikeimblättrige (Rosopsida)
<i>Unterklasse:</i>	Rosenähnliche (Rosidae)
<i>Ordnung:</i>	Malpighienartige (Malpighiales)
<i>Familie:</i>	Weidengewächse (Salicaceae)
<i>Gattung:</i>	Pappeln
Wissenschaftlicher Name	
	<i>Populus</i>
	L.

Die **Pappeln** (*Populus*) sind eine Pflanzengattung in der Familie der Weidengewächse (Salicaceae). Diese meist baumförmigen Pflanzen sind in Nordamerika und Eurasien heimisch. Sie wachsen an Flussufern und in Wäldern und werden häufig zur Gewinnung von Holz, Papier und Energie angebaut.

## Merkmale

### Habitus und Geschlechterverteilung

Pappeln sind sommergrüne Bäume oder Sträucher, die Wuchshöhen von 30 bis 45 Meter erreichen. Der Stamm ist gewöhnlich aufrecht, die Borke ist rau oder glatt und häufig grau.<sup>[1]</sup> Wie sämtliche Vertreter der Weidengewächse (*Salicaceae*) sind Pappeln zweihäusig, es gibt also männliche und weibliche Pflanzen.<sup>[2]</sup> In allen Sektionen der Gattung wurden aber ausnahmsweise auch Individuen beobachtet, deren Blütenstände sowohl Stempelblüten als auch Staubblattblüten enthielten.<sup>[3] [4]</sup>

## Blätter

Die Blätter sind dreieckig, herz- oder eiförmig und entweder ganzrandig oder gelappt. Der Blattstiel ist lang, der Querschnitt rund oder seitlich abgeflacht. Die Blätter an Lang- und Kurztrieben, d.h. die in den Winterknospen vorgebildeten und die im Sommer gebildeten Blätter, sind häufig unterschiedlich gestaltet.<sup>[5]</sup> Die Winterknospen besitzen mehrere ungleiche Schuppen.



Blattdimorphismus: links die in den Winterknospen vorgebildeten, rechts die Sommerblätter (Zitter-Pappel).

## Holz und Borke

Das Holz aller Pappelarten ist recht ähnlich, die Unterschiede aufgrund von Umweltbedingungen sind größer als die Unterschiede zwischen Arten. Pappelholz hat einen sehr hohen Zelluloseanteil. Die Rohdichte bei einer Holzfeuchte von 15 Prozent beträgt im Schnitt  $0,45 \text{ g cm}^{-3}$ , wobei die Werte zwischen 0,41 und 0,60 liegen. Die Zitter-Pappel liegt etwa bei 0,49. Die Werte von Pappelholz liegen in ähnlichen Bereichen wie beim Holz der Nadelbäume Gemeine Fichte und Weymouths-Kiefer.<sup>[6]</sup>

Das Holz der Pappeln ist zerstreutporig; die Gefäße des Frühholzes sind nicht größer als die des Spätholzes. Die Holzstrahlen sind im Wesentlichen aus gleich großen Zellen aufgebaut. Im Holzparenchym wird Stärke, Protein und Öl gespeichert. Das Kernholz, in dem kein lebendes Parenchym mehr vorkommt, wird bei *Populus tremuloides* ab dem fünften Jahr gebildet, und ist bei allen Pappeln farblich nicht deutlich abgegrenzt.<sup>[7]</sup>

Die Borke besitzt relativ dünnwandige Korkzellen. Junge Bäume besitzen eine glatte Rinde mit durchgehendem Periderm. Später wird die Borke häufig rau und gefurcht.<sup>[7]</sup>



Querschnitt durch den Stamm einer Zitter-Pappel.

## Wurzeln

Pappeln bilden häufig eine Pfahlwurzel aus, daneben jedoch auch stark ausgeprägte horizontale Wurzeln, von denen Senker nach unten abzweigen, die ein bis über drei Meter tief in den Boden reichen. In der Sektion *Populus* bilden die Horizontalwurzeln Schößlinge aus, die der vegetativen Vermehrung dienen. Die Feinwurzeln der Pappeln sind im Vergleich zu anderen Bäumen recht lang, wenig verzweigt und dünn. Die Wurzeln bilden sowohl Ektomykorrhizen wie auch Vesikulär-arbuskuläre Mykorrhiza.<sup>[8]</sup>



Illustration: Schwarz-Pappel (*Populus nigra*)

## Blüten und Früchte

Die Blütenstände sind gestielte, hängende Kätzchen. Männliche und weibliche Kätzchen sind sehr ähnlich. Die Blüten stehen in den Achseln eines lanzettlichen oder gezähnten Tragblatts und sind gestielt. Die Tragblätter fallen bereits während der Anthese ab.<sup>[9]</sup> Eine Blütenhülle fehlt bei männlichen wie weiblichen Blüten, jedoch sind die männlichen bzw. weiblichen Organe von einem mehr oder weniger ausgeprägten Diskus umgeben. Die männlichen Blüten besitzen vier bis 60 Staubblätter, deren Staubfäden nicht verwachsen sind. In den weiblichen Blüten ist der Fruchtknoten sitzend und unilokulär. Der Fruchtknoten besteht aus zwei bis vier verwachsenen Fruchtblättern<sup>[9]</sup> und ist an der Basis oder bis zu drei Viertel seiner Höhe vom Diskus umgeben. Die Samenanlagen stehen zu vielen an zwei bis vier parietalen Plazenten. Der Griffel ist kurz und trägt zwei bis vier Narben. Nektarien fehlen.<sup>[5]</sup>

Die Pappeln werden vom Wind bestäubt (Anemophilie), die Blüten erscheinen vor den Blättern.

Die Frucht ist eine zwei- bis vierklappige Kapsel, die zahlreiche Flugsamen beinhaltet. Die Samen sind von einem langen, dichten Flauch aus Haaren umgeben, Endosperm ist kaum ausgebildet oder fehlt völlig. Das Gewicht eines Samens beträgt meist nur einige Zehntel Milligramm, dafür kann ein Baum pro Jahr über 25 Mio. Samen produzieren.<sup>[10]</sup> Die Ausbreitung der Samen erfolgt durch den Wind (Anemochorie).



Männliche Kätzchen der Kanadischen Pappel.

## Inhaltsstoffe

Pappeln bilden als sekundäre Inhaltsstoffe Phenole, jedoch keine stickstoffhaltigen sekundären Pflanzenstoffe. Die mengenmäßig bedeutendsten Phenole sind Phenol-Glykoside, Flavonoide und Tannine. Zu den Phenol-Glykosiden zählen Salicin, Salicortin, Tremuloiden und Tremulacin. Sie sind besonders in Blättern, Zweigen und in der Rinde vorhanden. In Fraßversuchen reduzieren sie das Wachstum vieler Insekten.<sup>[11]</sup>

Im Herbst werden im Stamm aus der gespeicherten Stärke die Zucker Saccharose, Raffinose und Stachyose gebildet. Während Stärke im Winter nur in geringen Mengen vorkommt, können Raffinose und Stachyose je 6 bis 7 Prozent der Stamm-Trockenmasse ausmachen. Fette werden im Stamm und in der Borke ebenfalls gespeichert. Im Gegensatz zu früheren Meinungen, als die Pappeln als reine fettspeichernde Arten angesehen wurden, stellen die Fette neben den Kohlenhydraten nur einen Teil der Reservestoffe dar.<sup>[7]</sup>

Die Chromosomenzahl beträgt bei allen Arten  $2n=38$ . Das Kern-Genom ist mit  $2C = 1,2$  Pikogramm vergleichsweise klein.<sup>[12]</sup>

## Wachstum

Die Blüte erfolgt abhängig von der geographischen Breite zwischen Februar und April. Auch innerhalb einer Population kann sich die Blütezeit einzelner Bäume um zwei Monate unterscheiden. Die Befruchtung der Eizellen erfolgt innerhalb von 24 Stunden nach der Bestäubung. Die Samen werden durch den Wind und durch Wasser ausgebreitet, wobei die zurückgelegte Strecke einige Kilometer betragen kann; meist sind es aber wenige hundert Meter. Die Samen sind vielfach nur wenige Wochen keimfähig, sie keimen bei günstigen Bedingungen, das heißt auf feuchtem Mineralboden, sogleich aus. Bereits im ersten Jahr können die Keimlinge Wurzeltiefen von 75 bis zu 150 Zentimeter erreichen, während das Höhenwachstum wesentlich bescheidener ausfällt. Die erste Blüte erfolgt im Alter von etwa fünf bis zehn Jahren. Pappeln werden meist 100 bis 200 Jahre alt.<sup>[10]</sup>

Die Pappeln können sich sehr gut vegetativ, d.h. über Wurzelausschläge vermehren. Auch abgebrochene Zweige und umgefallene Bäume – z.B. durch Überflutung – können sich wieder bewurzeln. In der Sektion *Tacamahaca* kommt auch Cladoptose vor:

Zweige werden durch die Bildung einer Abszissionsschicht, ähnlich wie beim herbstlichen Laubfall, abgeworfen.<sup>[10]</sup>

Pappeln gehören zu den am schnellsten wachsenden Gehölzen der gemäßigten Breiten. Diese Eigenschaft begünstigt ihre ökologische Rolle als Pioniergehölze. Das Wachstum ist nicht wie bei den meisten Bäumen dieser Gebiete auf die in den Winterknospen vorgebildeten Blätter beschränkt. Die Pappeln wachsen auch später im Jahr mit neuen Blättern weiter. Das Wachstum wird – zumindest bei manchen Arten – erst durch die verkürzte Photoperiode im Herbst beendet.<sup>[9]</sup>



Samen mit Samenhaaren.

## Verbreitung

Pappeln kommen in den temperaten Gebieten der Nordhalbkugel vor (holarktische Verbreitung). Ihre Verbreitung reicht von den subtropischen Gebieten Chinas, wo sie ein Mannigfaltigkeitszentrum besitzen, bis in die boreale Zone. In Amerika reicht ihr Vorkommen im Süden bis nach Mexiko. *Populus ilicifolia* kommt in Ostafrika vor.

In Mitteleuropa sind die Schwarz-Pappel (*Populus nigra*), die Silber-Pappel (*Populus alba*), und die Zitter-Pappel (*Populus tremula*) heimisch; daneben die natürliche Hybride Grau-Pappel (*Populus canescens*).

## Standorte

Pappeln kommen häufig an Flussläufen vor, wo sie Bestandteil der Auwälder sind. Viele Arten wie die Schwarzpappel sind gegen Überflutung und auch Überschlickung tolerant, während Trockenheit oft schlecht vertragen wird. Mit Weiden und Erlen gehören sie zur Weichholzaue, der tiefsten Auwaldstufe.

Daneben wachsen sie in temperaten, borealen und montanen Wäldern. Viele Arten sind aufgrund ihres raschen Wachstums im Jugendstadium und der vegetativen Vermehrung aggressive Kolonisten auf zuvor gestörten Standorten.

Weltweit gibt es rund 80 Millionen Hektar natürlichen Pappelbestand, davon 28,3 Millionen Hektar in Kanada (2001), 21,9 Millionen in Russland und 17,7 Millionen in den USA (2003). Die Hauptnutzung ist hier die Holzproduktion. Als viertgrößtes Pappel-Land folgt China mit 2,1 Millionen Hektar. Hier liegt die Hauptnutzung im Naturschutz durch die Wälder.<sup>[13]</sup>

## Krankheiten und Fraßfeinde

An Pappeln wurden über 650 Pilzarten nachgewiesen. An *Populus tremuloides* wurden über 300 Insektenarten und 250 Pilzarten gefunden. Weltweit ökonomisch wichtige Erkrankungen sind Blattrost (*Melampsora* spp.), Blatt- und Spross-Bleiche (*Venturia* spp.), die Blattfleckenkrankheit *Marssonina*, der Stammkrebs *Hypoxylon mammatum*, der Fäule-Erreger *Phellinus tremulae* und *Septoria*<sup>[14]</sup>

In Mitteleuropa bedeutende Krankheiten sind der Bakterielle Pappelkrebs (*Xanthomonas populi*), der Rindenbrand (*Dothichiza populae*), der Braunfleckengrind, der Blattrost (*Melampsora* spp.), die Triebspitzenkrankheit (*Pollaccia radiosa*) und die Blattfleckenkrankheit (*Marssonina* spp.). An Insekten sind der Große Pappelbock (*Saperda carcharias*) und der Kleine Pappelbock (*Saperda populnea*) zu erwähnen. Verbiss- und Fegeschäden sind durch Mäuse, Hasen, Kaninchen, Rot-, Dam- und Rehwild möglich.

Fast hundert Falterraupenarten siedeln auf Pappeln.<sup>[15]</sup>



Großer Pappelbock (*Saperda carcharias*)

## Systematik

### Äußere Systematik

Die Gattung *Populus* wurde seit jeher zur Familie der Weidengewächse gezählt. Sie ist eine monophyletische Gruppe und die Schwestergruppe der Gattung *Salix*.<sup>[16]</sup>



Graupappeln in Fürth, südwestlich der Altstadt  
(2004)

### Innere Systematik

Innerhalb der Gattung kommt es häufig zu Hybridisierungen. Es gibt verschiedene Gliederungen in Sektionen, auch die Artenzahl variiert je nach Bearbeiter zwischen 22 und 89. Vor allem Bearbeiter der russischen und chinesischen Pappeln tendieren zu einer größeren Artenzahl. Die folgende Gliederung stammt aus Eckenwalder 1996:<sup>[9]</sup>

- Sektion *Abaso*
  - *Populus mexicana*, Nordamerika
- Sektion *Turanga*: in Eurasien und Ostafrika
  - Euphrat-Pappel (*Populus euphratica*)
- Sektion *Leucooides*: im östlichen Eurasien und in Nordamerika
  - Chinesische Großblatt-Pappel (*Populus lasiocarpa*)
  - *Populus glauca*, inkl. *Populus wilsonii*
  - *Populus heterophylla*
- Sektion *Aigeiros* - Schwarzpappeln: holarktisch
  - Schwarz-Pappel (*Populus nigra*)
  - *Populus deltoides*, inkl. *Populus sargentii* und *Populus wislizenii*
  - *Populus fremontii*
- Sektion *Tacamahaca* - Balsampappeln: holarktisch
  - *Populus angustifolia*
  - Balsam-Pappel (*Populus balsamifera*)
  - *Populus suaveolens*, inklusive *Populus cathayana*, *Populus koreana* und *Populus maximowiczii*
  - *Populus ciliata*
  - *Populus laurifolia*
  - *Populus simonii*
  - *Populus suaveolens*
  - *Populus szechuanica*



*Populus maximowiczii*, typische Samenflockung

- Westliche Balsam-Pappel (*Populus trichocarpa*)
- *Populus yunnanensis*
- Sektion *Populus* (früher Sektion *Leuce*) - Weiß- und Zitterpappeln: holarktisch
  - *Populus adenopoda*
  - Silber-Pappel (*Populus alba*)
  - *Populus gamblei*
  - *Populus grandidentata*
  - *Populus guzmanantlensis*
  - *Populus monticola*
  - *Populus sieboldii*
  - *Populus simaroa*
  - Zitter-Pappel (*Populus tremula*), inkl. *Populus davidiana*
  - Amerikanische Zitterpappel (*Populus tremuloides*)

Auf Gensequenzanalysen basierende phylogenetische Studien haben diese auf morphologischen Merkmalen beruhende Gliederung in Sektionen im wesentlichen bestätigt.<sup>[16]</sup>

## Hybridisierung

Bei den Pappeln treten sehr häufig natürliche Hybride auf. Dabei hybridisieren die einzelnen Arten der jeweiligen Sektion untereinander. Arten der beiden Sektionen *Tacamahaca* und *Aigeiros* hybridisieren wechselseitig, während Arten der Sektion *Populus* nicht mit Arten anderer Sektionen hybridisieren. Im Gegensatz zu vielen anderen Pflanzensippen kommt Polyploidie nach Hybridisierung bei den Pappeln nicht vor.

Durch natürliche Kreuzung entstanden, und durch den Anbau sehr weit verbreitet sind die beiden Hybriden:

- Grau-Pappel (*Populus ×canescens* (Aiton) Sm.): Hybride aus *P. alba* × *P. tremula*.
- Kanadische Pappel (*Populus ×canadensis* Moench): Hybride aus *P. deltoides* × *P. nigra*. Sie entstand spontan, nachdem die amerikanische *Populus deltoides* im 17. Jahrhundert nach Europa eingeführt worden war.

Eher selten treten triploide Hybriden auf, die dann steril sind, jedoch klonal vermehrt werden können. Ein Beispiel ist die Convarietät *Astria*, eine Kreuzung aus *Populus tremula* × *Populus tremuloides*.<sup>[17]</sup>

## Evolution

Innerhalb der Gattung gilt die Sektion *Abaso* als die ursprünglichste, aus der sich über *Leucoides* die anderen entwickelt haben. Die Sektion *Populus* wird als am weitesten entwickelte angesehen.<sup>[12]</sup>

Fossil ist die Gattung durch ihre Blätter sehr häufig vertreten. Die ältesten Funde stammen aus dem späten Paläozän Nordamerikas und sind rund 58 Mio. Jahre alt. Sie können der Sektion *Abaso* zugeordnet werden. Im späten Eozän traten erstmals Fossilien der Sektion *Leucoides* auf, wie auch die ersten Fossilien in Eurasien. Im Oligozän traten in Nordamerika wie Eurasien Vertreter auf, die als gemeinsame Vorläufer der Sektionen *Tacamahaca* und *Aigeiros* angesehen werden, eindeutig den beiden Sektionen zuordenbare Fossilien sowie solche der Sektion *Populus* traten erst im Miozän auf.<sup>[9]</sup>

## Nutzung

Pappeln wachsen schnell, sind einfach zu vermehren und viele Formen bilden aufrechte, ausgeprägte Hauptstämme. Diese Eigenschaften machen Pappelholz zu einem beliebten Nutzholz.

Die Nutzung von Pappeln für Holz, Brennstoff und Einstreu für Tiere ist für den Mittelmeerraum bis nach Zentralasien seit der Antike belegt. Zunächst wurden vor allem *Populus nigra* und *Populus alba* genutzt. Nach der Einführung der amerikanischen *Populus deltoides* nach Europa wurde diese Art sowie die Hybride *Populus xcanadensis* zunehmend genutzt. Seit dem frühen 20. Jahrhundert wurde die Pappelzucht auf wissenschaftliche Weise weitergeführt. 1947 wurde die Internationale Pappel-Kommission (International Poplar Commission) unter der Ägide der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der UNO (FAO) gegründet.<sup>[18]</sup>



Gemessertes, nicht geschliffenes Pappelholz.

Weltweit gibt es rund 6,7 Millionen Hektar gepflanzte Pappeln, davon 3,8 Millionen zur Holzproduktion und 2,9 Millionen zum Umweltschutz. 30 Prozent der Fläche sind Agroforestry-Systeme. Von der Gesamtfläche entfallen 4,9 Millionen (73 Prozent) auf China, 1 Million auf Indien. Es folgen Frankreich mit 236.000, Türkei mit 130.000, Italien mit 118.800, Argentinien mit 63.500 und Chile mit 15.000 Hektar. Die Holzernte aus natürlichen Beständen belief sich 2003 auf 100 Millionen m<sup>3</sup> in Russland und 16 Millionen in Kanada. In fünf Ländern wurden mehr als eine Million m<sup>3</sup> aus angepflanzten Beständen geerntet: Türkei (3,8 Mio.), China (1,85 Mio.), Frankreich (1,8 Mio.), Italien (1,4 Mio.) und Indien (1,2 Mio.).<sup>[13]</sup>

Es gibt im wesentlichen drei Formen von Pappel-Pflanzungen: Produktions-Plantagen, Schutzpflanzungen und Landschaftspflegerische Anpflanzungen.

## Plantagen

In Plantagen werden monoklonale Bestände als schnellwachsendes Holz in Kurzumtriebskulturen genutzt. Dabei werden sie in Nord- und Westeuropa sowie in Nordamerika in 20- bis 30-jähriger Kultur mit Umtriebszeiten von 3 bis 5 Jahren genutzt. In Italien werden die Pappelplantagen nach 10 bis 15 Jahren geerntet. Das Holz wird in Form von Hackschnitzeln und Holzpellets für die Energiegewinnung genutzt, kann jedoch auch als Industrieholz für die Holzwerkstoffindustrie zur Produktion von Spanplatten und anderen Werkstoffen eingesetzt werden.



Kurzumtriebskultur mit Hybridpappeln.

Balsampappeln der Sektion *Tacamahaca* werden dagegen eher in Wäldern angebaut, häufig auch zusammen mit anderen Arten. Diese Form ist in Nordamerika weit verbreitet. In Reinbeständen beträgt die Rotationsdauer 40 bis 50 Jahre. In Asien, im Mittleren Osten und Nordafrika werden häufig Säulenformen in engen Abständen von einem Meter in 10–20-Jahresrotation angebaut. Kurzumtriebs-Plantagen zur Biomasse-Gewinnung (für Papier- oder Energiegewinnung) werden in dichten monoklonalen Beständen angebaut und alle ein bis fünf Jahre geerntet.<sup>[18]</sup>

In der Agroforstwirtschaft (Agroforestry) werden Pappeln zusammen mit Zuckerrohr, Mais, Weizen, Soja und anderen Feldfrüchten angebaut. Verbreitet ist diese Anbaumethode in Nord-Indien und China.<sup>[18]</sup>

## Schutzpflanzungen

Pflanzungen zum Schutz an Flussufern und als Windschutz sind seit Jahrhunderten üblich. Als Windschutz sind Pappeln wegen ihres raschen Wachses gut geeignet. Durch die Wahl der Pappel-Sorte kann auch die Breite und Höhe der Krone recht gut im voraus bestimmt werden. Häufig werden säulenförmige Formen wie die Pyramiden-Pappeln angepflanzt. Weit verbreitet sind Pappeln als Windschutz in Russland, der Ukraine und Kanada.<sup>[18]</sup>

Entlang von Flussufern vermindern Pappeln nicht nur die Erosion, sondern verbessern auch die Wasserqualität. Wegen ihrer Raschwüchsigkeit und Anspruchslosigkeit finden sie als Pionierbaumarten bei der forstlichen Rekultivierung von Halden oder Tagebauen Verwendung.

## Landschaftspflege

Zur Landschaftspflege werden einzelne Bäume oder kleine Gruppen angepflanzt, häufig Säulenpappeln. Beispiele häufig verwendeter Cultivare sind *Populus nigra* cv. *italica* in temperaten Gebieten und *Populus nigra* var. *thevestina* in Asien und im Mittelmeerraum. In West- und Mitteleuropa sind es die Cultivare Robusta, Serotina, Regenerata und Marilandica von *Populus canadensis*. Häufig sind Pappeln in Reihenpflanzungen entlang von Gräben, Wegen und Grundstücksgrenzen zu finden.<sup>[18]</sup>



Winterliche Säulenpappel, häufig als Alleebaum gepflanzt.

## Verwendung des Holzes

Das Holz wird bei ausreichender Größe zu Schnittholz sowie Schäl furnieren (zur Zündholzherstellung) verarbeitet. Es findet auch in der Paletten- und Verpackungsindustrie Verwendung. Weitere Verarbeitungsbereiche sind Spanplatten, Faserplatten und Spanholzformteile. Im Innenausbau ist Pappelholz gut verwendbar, unter direkten Witterungseinflüssen ist es nur beschränkt haltbar.<sup>[6]</sup>

Ein überwiegender Teil des Pappelholzes wird jedoch in der Zellstoff-, Karton- und Papierindustrie eingesetzt. Die Nutzung als Brennholz und als Biomasse zur Energiegewinnung ist nicht sehr bedeutend.<sup>[13]</sup>

## Forschung und Züchtung

Das Genom von *Populus trichocarpa* war das erste Genom eines Baumes, das vollständig sequenziert wurde.<sup>[19]</sup> Pappeln waren zwischen 1994 und 2004 nach Kiefern die am häufigsten verwendeten Bäume im Bereich Biotechnologie, und mit 47 Prozent aller Studien die am häufigsten verwendete Baum-Gattung für gentechnische Veränderungen.<sup>[20]</sup> In China wurden 2002 die ersten gentechnisch veränderten Pappeln für den kommerziellen Anbau zugelassen, bis Ende 2002 wurden 1,4 Mio. dieser Pappeln ausgepflanzt.<sup>[20]</sup> Transgene Pappeln werden daneben in den Vereinigten Staaten, Kanada, der Europäischen Union und in China in Freisetzungsvorhaben untersucht. Veränderte Holzqualität, Schädlingsresistenz und verbesserte Schwermetallaufnahme und dessen Akkumulierung zur Bodenreinerung stehen dabei im Zentrum der Forschungsaktivitäten.

Für die Züchtung günstige Eigenschaften der Pappeln sind die leichte Bildung von Art-Hybriden, die durch den Heterosis-Effekt häufig günstigere Eigenschaften aufweisen, sowie die Möglichkeit, die Eigenschaften solcher Hybriden durch klonale Vermehrung konstant zu halten.<sup>[17]</sup> 1992 führte der Catalogue of Poplar Cultivars 280 Cultivare an, die vor allem aus Klonen bestehen.<sup>[21]</sup> Seit 2006 gibt es eine offizielle Datenbank<sup>[13]</sup>, in der im März 2008 332 Cultivare registriert waren.<sup>[22]</sup>

## Etymologie

Der Name *Populus* wurde bereits vor Linné benutzt. Im Lateinischen ist das Wort *pōpulus* (feminin im Gegensatz zum maskulinen *populus*, das „Volk“ bedeutet) seit Cato dem Älteren belegt, stets in der Bedeutung *Pappel*. Die Etymologie des lateinischen Wortes ist nicht bekannt.<sup>[23]</sup> Plinius der Ältere unterschied bereits die drei in Südeuropa vorkommenden Arten.<sup>[24]</sup> Der deutsche Name Pappel leitet sich vom althochdeutschen *popel*, mittelhochdeutsch *papele*, *papel* gleicher Bedeutung ab.

## Belege

## Literatur

Mit Ausnahme der mit Einzelnachweisen versehenen Angaben entstammen die Informationen dieses Artikels den folgenden Werken:

- Siegmund Seybold (Hrsg.): *Schmeil-Fitschen interaktiv* (CD-Rom), Quelle & Meyer, Wiebelsheim 2001/2002, ISBN 3-494-01327-6 (Merkmale, Etymologie)
- R.F. Stettler, H.D. Bradshaw, P.E. Heilmann, T.M. Hinckley: *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa 1996. ISBN 0-660-16506-6

## Weblinks

- Eintrag der Gattung bei *GRIN Taxonomy for Plants*<sup>[25]</sup> (engl.)
- International Poplar Commission<sup>[26]</sup>
- Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten Hann. Münden<sup>[27]</sup>

## Referenzen

- [1] Flora of China ([http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=2&taxon\\_id=126537](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=126537)), abgerufen 25. Februar 2008.
- [2] Alan Mitchell: *Die Wald- und Parkbäume Europas: Ein Bestimmungsbuch für Dendrologen und Naturfreunde*. Paul Parey, Hamburg und Berlin 1975, ISBN 3-490-05918-2 (übers. u. bearb. von Gerd Krüssmann). S.187
- [3] G. Schlenker: *Beobachtungen über die Geschlechterverhältnisse bei jungen Graupappeln und Aspen*. – Zeitschrift für Forstgenetik 2, 1953, S. 102-104.
- [4] F.W. Seitz & E. Sauer: *Salicaceae – Weiden und Pappeln*. In: T. Roemer & W. Rudorf: *Handbuch der Pflanzenzüchtung*, 2. Aufl., Bd. 6. 1962, S. 786-805.
- [5] Flora of Pakistan ([http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=5&taxon\\_id=126537](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=5&taxon_id=126537)), abgerufen 25. Februar 2008.
- [6] R. Schulzke, O. Lange, H. Weisgerber: *Pappelanbau*. Hrsg. vom Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn 1990.
- [7] F.W. Telewski, R. Aloni, J.J. Sauter: *Physiology of secondary tissues of Populus*. In: R.F. Stettler et al.: *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. 1996, S. 301-329.
- [8] K.S. Pregitzer, A.L. Friend: *The structure and function of Populus root systems*. In: R.F. Stettler et al.: *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. 1996, S. 331-354.
- [9] James E. Eckenwalder: *Systematics and evolution of Populus*. In: R.F. Stettler et al.: *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. 1996, S. 7-32.
- [10] J. H. Braatne, S. B. Rood, P. E. Heilmann: *Life history, ecology, and conservation of riparian cottonwoods in North America*. In: R.F. Stettler et al.: *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. 1996, S. 57-85.
- [11] T.G. Whitham, K.D. Floate, G.D. Martinson, E.M. Driebe, P. Keim: *Ecological and evolutionary implications of hybridization: Populus-herbivore interactions*. In: R.F. Stettler et al.: *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. 1996, S. 247-275.
- [12] R.F. Stettler, H.D. Bradshaw, Jr.: *Overview*. In: R.F. Stettler et al.: *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. 1996, S. 1-6.
- [13] International Poplar Commission: *Report of the 22nd Session of the Commission and of the 42nd Session of its Executive Committee, Santiago, Chile, 28 November – 2 December 2004*. (pdf) (<http://www.fao.org/forestry/webview/media?mediaId=9497&langId=1>)
- [14] G. Newcombe: *The specificity of fungal pathogens of Populus*. In: R.F. Stettler et al.: *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. 1996, S. 223-246.

- [15] Helmut Hintermeier: *Der Liguster und seine Gäste*, in Allgemeine Deutsche Imkerzeitung, November 2008, Seiten 30,31
- [16] Mona Hamzeh, Selvadurai Dayanandan: *Phylogeny of Populus (Salicaceae) based on nucleotide sequences of chloroplast TRNT-TRNF region and nuclear rDNA*. American Journal of Botany, Band 91, 2004, S. 1398-1408 (Abstract und Volltext) (<http://www.amjbot.org/cgi/content/full/91/9/1398>)
- [17] R.F. Stettler, L. Zsuffa, R. Wu: *The role of hybridization in the genetic manipulation of Populus*. In: R.F. Stettler et al.: *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. 1996, S. 87-112.
- [18] L. Zsuffa, E. Giordano, L.D. Pryor, R.F. Stettler: *Trends in poplar culture: some global and regional perspectives*. In: R.F. Stettler et al.: *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. 1996, S. 515-539.
- [19] vgl. [www.ornl.gov](http://www.ornl.gov) (<http://www.ornl.gov/sci/ipgc/home.htm>) und G. A. Tuskan et al.: *The Genome of Black Cottonwood, Populus trichocarpa (Torr. & Gray)*. Science, Band 313, Heft 5793, 2006, S. 1596-1604. doi: 10.1126/science.1128691 (<http://dx.doi.org/10.1126/science.1128691>)
- [20] H. Marchadier, P. Sigaud: *Poplars in biotechnology research*. Unasylyva 221, Band 56, 2005, S. 38f. pdf (<http://www.fao.org/docrep/008/a0026e/a0026e09.htm>)
- [21] S. Bisoffi, U. Gullberg: *Poplar breeding and selection*. In: R.F. Stettler et al.: *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. 1996, S. 139-158.
- [22] Datenbank am Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura (<http://www.populus.it/ipcipcloni.php>)
- [23] Helmut Genaust: *Etymologisches Wörterbuch der botanischen Pflanzennamen*. 3. Auflage, Birkhäuser, Basel 1996, S. 501. (Nachdruck ISBN 3-937872-16-7)
- [24] Plinius Secundus: *Naturalis historia*, Buch 16,85.
- [25] <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/genus.pl?9759>
- [26] <http://www.fao.org/forestry/site/ipc>
- [27] <http://www.schnellwachsendebaumarten.de/>

## Pellet

Ein **Pellet** (englisch: *pellet* = *Bällchen, Kügelchen* aus altfranzösisch: *pelote* = *Spielball* und lateinisch: *pila* = *Spielball, Knäuel, Haufen* - daher auch Sprachverwandtschaft sowohl mit der Pille, wie auch mit dem Peloton) ist ein kleiner Körper aus verdichtetem Material in Kugel- oder Zylinderform. Meist wird der Begriff im Plural verwendet, da Pellets im Allgemeinen nicht einzeln verwendet werden, sondern als Schüttgut.

Das Verfahren zur Pelletherstellung, in der Verfahrenstechnik der Agglomeration zugeordnet, wird als **Pelletierung** bezeichnet. Die Pelletierung wird in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzt, wie der Aufbereitung von Brennstoffen (z. B. Holzpellets), der Konditionierung von Rohstoffen und Abfällen und anderem. Zweck ist eine Verbesserung des Umgangs mit dem pelletierten Material, z. B. durch Erhöhen der Dichte, Vermeidung von Staub und/oder Verbesserung der Dosierbarkeit.

Ist das Material relativ groß (über 4 cm Durchmesser) oder in einer eckigen Form, so spricht man von Briketts.

### Zweck

Die Pelletierung eines Materials kann verschiedene Vorteile bieten:<sup>[1]</sup>

- Erhöhung der Schüttdichte: Durch das Pressen der Pellets kann die Schüttdichte gegenüber dem Ausgangsmaterial deutlich erhöht



Holzpellets

werden. Holzpellets haben mit rund  $650 \text{ kg/m}^3$  beispielsweise eine mehrfach höhere Schüttdichte als Sägemehl mit rund  $200 \text{ kg/m}^3$ . Lager- und Transportaufwand sind dadurch deutlich geringer, bzw. die Transportwürdigkeit wird erhöht.

- Verbesserung des Umgangs mit dem Material: Durch das Umwandeln des kleinstrukturierten Materials (z. B. Staub/ Pulver, Sägemehl) in Pellets wird Staubentwicklung bei Lagerung, Transport oder Nutzung vermieden. Bei toxischem Material werden so Kontaminationen vermieden und bei brennbaren Materialien Staubexplosionen verhindert.
- Standardisierung der Materialgröße: Durch die Umwandlung des Ausgangsmaterials in Pellets bestimmter Größe wird eine Vergleichmäßigung der größenbedingten Eigenschaften erreicht. So können z. B. Fördersysteme (Förderschnecken, etc.), wie sie u. a. bei Holzpellettheizungen zum Einsatz kommen, zuverlässig betrieben werden. Auch die Dosierbarkeit kann verbessert sein.
- Transportfähigkeit: Material, das in großer Menge transportiert werden muss, wie z. B. Brennholz oder Futtermittel, können in Pelletform durch Einblasen mit einem Luftstrom schnell und effizient z. B. von einem LKW in ein Vorratssilo befördert werden.
- Vermeiden von Entmischung: Ist das Ausgangsmaterial ein heterogenes Gemisch aus verschiedenen Stoffen (z. B. Futtermittel), so kann die Pelletierung ein Entmischen verhindern.



Urandioxid-Pellets für einen Kernreaktor



Futterpellets für Schafe und Ziegen

## Arten

Die Pelletierung wird in vielen Bereichen angewendet:



Aufgeschnittene Ringmatritze einer Pelletpresse

- Bei Biogenen Brennstoffen:
  - Holzpellets aus Sägemehl, anderen Holzabfällen, aber auch aus Waldholz gewinnen stark an Bedeutung. Sie sind der Regel-Brennstoff in Pelletheizungen. Holzpellets minderer Qualität werden als Industripellets auch als Beifeuerung in Kraftwerken eingesetzt. Weniger Verbreitet sind
  - Torfpellets,
  - Strohpellets oder
  - Restwertpellets, z. B. aus Abfällen von Getreidemühlen
- Zusatzfuttermittel (Kraftfutter) werden zur leichteren Handhabung zu Pellets gepresst.
- Hopfenpellets erleichtern die Dosierung bei der Bierproduktion.
- In der Industrie:

- Vorprodukt in der Pharmazie zum Verpressen in Tabletten oder zum Abfüllen in Kapseln
- Vorprodukte der Eisenherstellung sind Eisenerzpellets.
- Mit Pellets aus Uranoxid werden Brennstäbe für Kernreaktoren in einer Brennelementfabrik gefüllt (Assemblierung).<sup>[2]</sup>
- Katalysatorpellets werden bei heterogen katalysierten chemischen Reaktionen als Träger für den eigentlichen Katalysator eingesetzt

## Herstellungsverfahren

Ein Rohmaterial wird zerkleinert und durch eine Matrize, z. B. eine Flachmatrizenpresse, gepresst. Dadurch wird das Material gleichmäßig und stark verdichtet. Pellets werden immer trocken hergestellt. Unter Umständen werden für eine bessere Konsistenz Bindemittel verwendet. Handelt es sich beim zu verdichtenden Material um einen klebrigen, adhäsiven Stoff, so kann auch mit einem Pelletierteller, einer schräg stehenden rotierenden Scheibe oder Trommel, eine Agglomeration zu einem Granulat erreicht werden. Auf diese Weise wird z. B. Blähton, Katzenstreu, u. ä. geformt.

## Holzpellets

*(siehe auch Artikel Holzpellet)*

Die Herstellung von Holzpellets läßt sich in verschiedene Schritte unterteilen:<sup>[1]</sup>

- Rohstoffbereitstellung: Bestimmte Eigenschaften müssen von den Rohstoffen erfüllt werden, damit zum einen die Herstellung von Pellets technisch möglich ist. Zum anderen beeinflussen sie auch die Qualität des Endprodukts. Wird z. B. nicht entrindetes Holz verwendet, kann der Aschegehalt über die laut verschiedener Normen für bestimmte Qualitätsklassen zulässigen Werte ansteigen.
- Rohstoffaufbereitung: Wird Rundholz verwendet, so kann eine Entrindung notwendig sein. Durch Zerkleinerung, z. B. mit einer Hammermühle, werden Späne erzeugt. Je kleiner die Späne sind, desto besser ist eine Pelletierung möglich. Durch Einstellung eines Wassergehalts von 10 bis 15 % werden die Bindeeigenschaft optimiert.
- Hilfsmittelzugabe: Neben dem natürlich im Holz vorhanden Lignin kann weiteres Bindemittel, wie z. B. Stärke oder Melasse notwendig sein. Weitere Hilfsmittel können zugesetzt werden, die z. B. den Ascheerweichungspunkt optimieren.
- Pelletierung (Pressen): Mit einer Kollergangpresse wird das Ausgangsmaterial durch eine flache oder ringförmige Matrize (Flach- oder Ringmatrize) mit Bohrungen gemäß der gewünschten Pelletdurchmesser. Die beim Pressen entstehende Wärme (bis zu 130 °C) aktiviert die Bindemittel und sorgt für eine Verbindung der einzelnen Späne. Ein Messer schneidet die Pelletstränge nach dem Austreten aus der Matrize auf die gewünschte Länge.
- Auslieferung: Die Pellets werden lose in Silofahrzeugen mit Einblasvorrichtung oder abgepackt in Säcken oder Bigbags ausgeliefert.

Durch verschiedene Pelletnormen erfolgt eine Einordnung in unterschiedliche Qualitätsklassen.

## 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.

## Referenzen

- [1] 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.
- [2] *Rohstoff Uran: Herkunft der Energie* ([http://www.kkw-gundremmingen.de/kkw\\_t6.php](http://www.kkw-gundremmingen.de/kkw_t6.php)), Internetseite des Kernkraftwerks Gundremmingen, abgerufen am 06.01.2010

# Pelletheizung

Eine **Pelletheizung** (oder auch **Pelletsheizung**) ist eine Heizung, in deren Heizkessel *Holzpellets* (kleine Presslinge aus Holzspänen und Sägemehl) verfeuert werden, weitere pelletierte Brennstoffe wie Strohpellets kommen vereinzelt zum Einsatz. Heutige Zentralheizungen mit Holzpellets als erneuerbare Energiequelle sind in Betrieb und Wartung mit Öl- und Gasheizungen vergleichbar und erreichen Wirkungsgrade von über 90%.



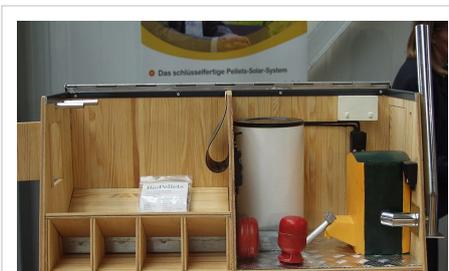
Pelletheizung eines Wohnhauses mit Brennstoffzufuhr über Schnecke (Metallrohr links).

## Arten

Grundsätzlich sind Pelletheizungen als Anlagen für den Betrieb von zentralen Hausheizungssystemen inklusive Steuerungs- und Regelungstechnik (also Pellet-Zentralheizungen) von Pellet-Einzelöfen mit direkter Wärmeabstrahlung in den Wohnraum zu unterscheiden.

## Einzelöfen

Pellet-Einzelöfen sind in der Regel Anlagen im Leistungsbereich von max. 6–8 kW und kleiner, die direkt im Wohnraum aufgestellt werden. Sie verfügen in der Regel über einen kleinen Vorratsbehälter für Brennstoffe, der eine bis wenige Tagesrationen fasst. Brennstoffzufuhr



Modell einer Pelletheizung mit Pelletlager (links), Transportschnecke (silber, unten), Kessel (rechts), Pufferspeicher (silber, hinten) und Schornstein

und die Regelung der Verbrennung werden automatisch gesteuert, die Ascheaustragung erfolgt von Hand. Die Wärme wird meist direkt an die Raumluft abgegeben. Wasserführende Öfen nutzen einen Teil der Energie, um Wasser zu erwärmen, das sich in Wassertaschen um die Brennkammer befindet. Damit kann die Leistung einer vorhandenen Zentralheizung unterstützt oder im Einzelfall ersetzt werden. Das Angebot an Pellet-Einzelöfen ist ähnlich vielfältig wie bei Scheitholzöfen, auch Ausführungen mit Sichtfenster werden angeboten, die den Blick auf das Feuer eröffnen.

## Zentralheizungen

Pellet-Zentralheizungen kommen für Nennwärmeleistungen bzw. den Wärmebedarf ab 8 kW aufwärts in Betracht. Pelletheizungen eignen sich insbesondere für den Einsatz in Ein- und Zweifamilienhäusern (bis ca. 30 kW), aber auch für größere Wohn- oder Betriebseinheiten, die von größeren Anlagen oder von mehreren in Reihe geschalteten Pelletheizungen (*Kaskadenanlagen*) mit einigen hundert kW versorgt werden können. Hybrid- oder Kombianlagen können auch zusätzlich mit anderem Brennholz (wie Scheitholz oder Hackschnitzel) beschickt werden.

Pelletbrennersysteme laufen primär unter Volllast optimal und sind bis etwa 30 % der Nennleistung regelbar. Da bei Pelletheizungen die Dauer der energetisch weniger effizienten Aufwärmphase länger ist als bei Öl- oder Gasfeuerung, wirken sich kurze Brennphasen negativ auf die Brennstoffeffizienz aus. Eine Steigerung der Energieeffizienz und eine Reduzierung der Schadstoffemissionen wird daher erreicht durch die Kombination von Pelletheizungen mit Wärmepuffersystemen, im Allgemeinen über Wassertanks.

## Anbau-Pelletbrenner

Separate Pelletbrenner, die an einen bestehenden Öl- oder Holzkessel montiert werden, werden preiswerte Alternative zu einer kompletten Heizungsumstellung angeboten. Die Effizienz in der Verbrennung ist bei diesen Lösungen allerdings verringert. Anders als bei auf Pellet abgestimmte Heizungen oder Öfen werden die Investitionskosten nicht mit öffentlichen Mitteln gefördert.

## Verfahren

Ähnlich wie bei Hackschnitzelheizungen wird der Brennstoff periodisch angeliefert und mittels Zuführeinrichtungen aus dem Pelletlager (Heizanlagen) oder dem Tagesbehälter (Einzelöfen) automatisch bedarfsgemäß in die Brennkammer eingebracht. Für die Verbrennung kommen in Holzheizungen übliche Brennkammern zum Einsatz. Mit der erzeugten Wärme wird bei Pellet-Zentralheizungen Wasser aus dem Heizkreislauf im Kessel der Hackschnitzelheizung erwärmt. Die Wärmeverteilung erfolgt genauso wie bei anderen Systemen der Zentralheizung durch das erwärmte Wasser. Anders als bei Öl- oder Gasheizungen ist bei Pelletheizungen die Einbindung eines Warmwasserspeichers in das Heizsystem sinnvoll, der die im Brennvorgang erzeugte Wärme bis zur Wärmeanforderung durch das Heizsystem verlustarm speichert.

## Brenner

Die als Festbettreaktor ausgeführte Feuerungsanlage wird automatisch mit Brenngut versorgt. Die Steuerungs- und Regelungstechnik der Anlage führt den Brennstoff schrittweise in der Menge zu, die der benötigten Wärmeabgabe entspricht. Je nach Ausführung werden die zugeführten Holzpellets entweder mit Heißluftgebläsen automatisch entzündet, oder es wird im Brennraum dauerhaft ein Glutbett erhalten.

Holzpelletheizungen arbeiten mit unterschiedlichen Techniken der Beschickung: Heute aktuell sind die speziell für die Pelletverbrennung entwickelte Fallschacht- oder Pelletfeuerung, die Unterschubfeuerung, die Quereinschubfeuerung oder der Einsatz eines Walzenrostsystems in Verwendung.



Unterschubfeuerung

- Bei der *Fallschachtfeuerung* rutschen die Pellets über eine Fallrinne in einen Brennertopf. Durch die Verwendung eines Brennertopfs ist der Verbrennungsbereich exakt definiert, die Verbrennung kann daher genau gesteuert werden. Bei dieser Technik entsteht im Vergleich zu den anderen die geringste Restasche, die durch Reinigungsmechanismen aus dem Brennertopf befördert werden.
- Bei der *Unterschubfeuerung* werden die Pellets mittels einer Förderschnecke von unten in einen Brennteller gedrückt, verbrennen dort und die übrig bleibende Asche fällt über den Tellerrand in den darunterliegenden Aschebehälter.
- Die *Quereinschubfeuerung* funktioniert ähnlich wie die Unterschubfeuerung, nur dass der Brennstoff über eine Förderschnecke von der Seite auf den Brennteller geschoben wird. Dabei können sowohl der Brennteller als auch die Luftzufuhr zur Anpassung an Teilleistungen speziell ausgeformt werden.
- Beim *Walzenrostsystem* hingegen fallen die Pellets von oben auf mehrere, sich langsam drehende Stahlscheiben mit geringem Zwischenraum. Ein Abstreifkamm reinigt bei jeder Umdrehung die Zwischenräume, so dass ebenfalls die Asche ungehindert nach unten durchfallen und Verbrennungsluft nach oben zugeführt werden kann.

Um Effizienz und Schadstoffgehalt der Abluft zu optimieren, steuern moderne Pelletbrenner die Verbrennung entweder über einen Temperatur- oder Flammraumfühler in Verbindung mit einer über ein Saugzuggebläse stufenlos regelbaren Verbrennungsluftzuführung oder einer Lambda-Sonde. Die heißen Verbrennungsgase werden über einen Wärmeübertrager mit manueller oder automatischer Reinigung der Nachheizflächen bzw. Wirbulatoren (auch Turbulatoren genannt) in den Schornstein geführt.

Die anfallende Asche fällt in einen Aschekasten. Um die Intervalle, in denen eine Ascheentnahme nötig ist, zu verringern, wird die Asche teilweise im Aschekasten komprimiert. Vereinzelt werden auch Ascheaustragssysteme eingesetzt, bei denen die Brennrückstände mittels Förderschnecken in Sammelbehälter transportiert werden.

## Wärmeübertragung und -speicherung

Ebenso wie bei der Verwendung anderer Brennstoffe erhitzt die Verbrennung des Energieträgers im Kessel das Wasser, das als Wärmeüberträger eines Heiz- und/oder Warmwassersystems dient und die Wärmeenergie über Pumpen und Rohrleitungen an den Ort des Verbrauchs transportiert. Da eine weitestgehend vollständige Verbrennung der Holzpellets nur im Regelbetrieb möglich ist und während der Aufwärm- und der Ausbrandphase größere Verluste und höhere Emissionen entstehen, wird bei Heizanlagen das erwärmte Wasser in der Regel wie bei Scheitholzheizungen zunächst in einen Wärmespeicher geleitet, von wo es von den Verbrauchern je nach Bedarf abgerufen wird. So werden ausreichend lange unterbrechungsfreie Feuerungsperioden gewährleistet.

## Messung, Steuerung und Regelung

Die Mess-, Steuer- und Regeltechnik der Pelletheizung ist in der Regel aufwändiger als die vergleichbarer Heizsysteme mit fossilen Brennstoffen. Zum einen erfordert die Einbindung eines oder mehrerer Wärmespeicher eine Regelung der Warmwasserspeicherung, -abgabe und -nachlieferung, zum anderen ist die Regelung von Brennstoffzufuhr, Brennluftzufuhr und Feuerung aufwändiger.

## Sicherheitseinrichtungen

Wegen der Besonderheiten des Brennstoffs verfügen Pelletheizungen über andere Sicherheitseinrichtungen als Öl- oder Gasbrenner. So sind alle modernen Holzpelletheizungen mit einer Rückbrandsicherung ausgestattet, die einen Rückbrand in den Zubring-/Lagerbereich der Pellets unmöglich macht. Unterdruckregelungen im Feuerraum verhindern das austreten giftiger oder brennbarer Gase in den Heizungsraum, ein Überhitzungsschutz wird durch Sicherheitswärmetauscher ermöglicht, der bei Überhitzung automatisch kaltes Wasser durch eine Wärmetauscher leitet.

## Leistungsbereich und Wirkungsgrad

Pelletheizungen sind in allen Leistungsbereichen ab ca. 8 kW verfügbar, als Einzelöfen zwischen ca. 4 und 20 kW. Die meisten heute verfügbaren Anlagen verfügen über eine Leistungsregelung über die Brennstoff- und Verbrennungsluftzufuhr, so dass sie sowohl bei Volllast als auch bei Teillast betrieben werden können. Derzeit erreichen Pelletkessel bei Volllastbetrieb (Nennwärmeleistung) einen feuerungstechnischen Wirkungsgrad von rund 85-95%.

## Automatisierungsgrad, Betreuung und Wartung

Moderne Pelletheizungen arbeiten nahezu vollautomatisch, sodass lediglich regelmäßige Reinigungs- und Wartungsarbeiten im Abstand von Wochen oder Monaten notwendig sind. Die regelmäßigen Arbeiten an der Heizung beschränken sich auf die Befüllung des Lagers, die Entnahme der Asche und bei einfacheren Modellen die Reinigung der Rauchzüge. Eine den Öl- oder Gasheizungen vergleichbare Bedienerfreundlichkeit ist ein wichtiges Entwicklungsziel von Herstellern. Für einzelne Pellet-Zentralheizungen genügen inzwischen Betreuungsintervalle von lediglich einmal Mal jährlich.



Geöffneter Pelletkessel. Kreisförmig um den Kessel Rauchgaszüge mit automatischer Reinigung per Feder.

## Brennstoffbezug



On-Board Wiegesystem eines Silofahrzeugs für Holzpellets

Der Brennstoff wird als Sackware (15-20 kg) zur händischen Befüllung, in 1-2 m<sup>3</sup> großen Kunststofftüten (Bigbags) oder lose angeboten. Während Sackware vor allem für Einzelöfen oder Kleinanlagen in Frage kommt, setzt die Nutzung von Bigbags entsprechende Aufhängesysteme und Hubtechnik voraus.

Die Anlieferung loser Holzpellets erfolgt meist durch ähnliche Silofahrzeuge wie die Lieferung von Futterpellets. Das Silo wird gekippt und die Pellets eingeblasen, außer bei staubdichten Sacksilos wird dabei üblicherweise gleichzeitig Luft abgesaugt, um die Staubbelastung zu minimieren. Typische Zustellmengen für Endverbraucher liegen bei 3–10 Tonnen,.

## Lagerung und Austragung

Die Holzpellets werden in loser Schüttung in einem Tank oder Lagerraum gelagert und mittels eines Fördersystems dem Brenner zugeführt. Der Lagerraum muss trocken sein, da die Pellets stark hygroskopisch auf Mauer- oder zu hohe Luftfeuchte während der Lagerung mit Zerbröseln reagieren.

Im Vergleich zu Öl benötigen Holzpellets etwa das dreifache Lagervolumen, freilich bei geringerem technischen Aufwand für den Raum, da Pellets im Unterscheid zu Heizöl keine wassergefährdeten Stoffe sind. Zur Lagerung können die Pellets in einem einfachen Lagerraum untergebracht werden. Der Boden wird in Trichterform – üblicherweise in Holzkonstruktion – errichtet, am unteren Ende des Trichters ist der Einlass der Schnecke oder es befinden sich dort befinden sich Entnahmesonden für das Gebläse. Mehrere Entnahmestellen im Lagerraum sichern auch bei eventuellen Störungen einer Entnahmestelle einen ungehinderten Betrieb. Alternativen zu einem Lagerraum sind vorgefertigte Tanks aus Gewebe oder Stahlblech. Vergrabene Erdtanks oder freistehende Silos können eingesetzt werden, wenn im Gebäude kein ausreichender Raum vorhanden ist. Bei feuchten Räumen muss zur Sicherung der Pelletqualität auf dichte Tanksysteme zurückgegriffen werden.

Zur Beschickung können Riesel-, Sauggebläse- oder Schneckensysteme benutzt werden. Die Wahl hängt primär von der Entfernung des Lagers zum Kesselraum ab, für Entfernungen über 2 m sind meist mehrstufige oder flexible Schneckenförderungen nötig. Gebläsesysteme können flexibel eingesetzt werden und fördern bis über 20 m. die Austragung aus dem Lagerraum oder -behälter wird unterstützt durch einen schrägen Behälterboden oder Trichterauslauf.

Brennersysteme mit aktiver Austragungssteuerung versorgen sich selbst mit der benötigten Brennstoffdosis, anderenfalls ist zusätzlich noch ein kleiner Zwischenspeicher nötig, aus dem sich der Brenner bedient.

## Entwicklung

Pellets als gepresste Sägespäne zur energetischen Nutzung und Pellet-Kaminöfen wurden in den 1970er Jahren in den USA entwickelt. Seit dem Ende der 1970er Jahre stiegen europäische Heizkesselhersteller, vor allem in Skandinavien und Österreich, in die Entwicklung der Pelletheizung ein. Der Markt für Holzpellettheizungen in Deutschland entwickelte sich erst später, nachdem 1997 die Verwendung von Holzpellets in Deutschland freigegeben wurde. Heute ist Deutschland der umsatzstärkste Absatzmarkt für Holzpelletsheizungen.<sup>[1]</sup>

In Österreich liegt der Anteil von Pelletheizungen im Neubau nach Branchenberichten bei 35 %, 2003 waren insgesamt etwa 30.000 Pelletheizungen (Kleinanlagen) installiert. In Deutschland wurden von 1999 bis 2008 rund 100.000 Pelletanlagen installiert.

## Wirtschaftlichkeit und Betriebskosten

Die Anschaffungskosten einer Pelletanlage sind höher als vergleichbarer Gas- und Ölheizungen, aber die Betriebskosten sind – je nach aktuellem Brennstoffpreis – in Mitteleuropa in aller Regel deutlich günstiger als die fossilen Brennstoffe. Bei größeren Anlagen sinkt im allgemeinen der Anteil der Investitionskosten gegenüber den Betriebskosten, so dass bei diesen eine Kostenersparnis bereits nach weniger Betriebsjahren einsetzt als bei Kleinanlagen. Allerdings stehen für die Wärmeversorgung größerer Objekte häufig weitere regenerative Alternativen mit gegenüber Pelletheizungen noch geringeren Betriebskosten zur Verfügung z.B. Hackschnitzelheizungen oder die Nutzung der Abwärme von Biogasanlagen. Derzeit wirken sich auch die zur Verfügung stehenden finanziellen Förderungen zugunsten von Pelletheizungen aus.

*Siehe auch: Heizung – zur Wirtschaftlichkeitsberechnung und Dimensionierung von Heizanlagen im Allgemeinen*

## Förderung

- In *Deutschland* wird der Einbau von Pelletheizungen (Pelletöfen und -kessel) im Rahmen des Marktanzreizprogramms des Bundesumweltministeriums gefördert. Im Jahr 2010 betrug der Zuschuss zum Einbau eines Pelletkessels mit 5 bis 100 kW Leistung 2000 €; eine zusätzliche Förderung ist möglich, wenn gemeinsam mit dem Pelletkessel ein Pufferspeicher oder eine Anlage zur Solarthermie eingebaut werden oder das beheizte Objekt eine hohe Energieeffizienz aufweist. Die zur Verfügung gestellten Bundesmittel reichten in den vergangenen Jahren nicht immer aus, um alle Anträge im gleichen Jahr zu berücksichtigen. Vorhaben, die wegen fehlender Mittel im Jahr der Antragsstellung keine Förderung erhalten, können aber im darauffolgenden Jahr berücksichtigt werden. <sup>[2]</sup>
- In *Österreich* gibt es für neue Zentralheizungsanlagen oder die Umstellung auf Pelletheizung je nach Bundesland Zuschüsse von bis zu 30 % der Nettoinvestitionskosten (2006<sup>[3]</sup>).
- In der *Schweiz* werden Holzpellettheizungen ebenfalls gefördert.
- In *Belgien* zahlt die Wallonische Region 2008–2009 folgende Prämien je Anlage: 1.750 € bis 50 kW (+35 € je kW bis 100 kW), 3.500 € für 100 kW (+18 € je kW bis 500 kW), 10.700 € für 500 kW (+8 € je kW bis maximal 15.000 €).

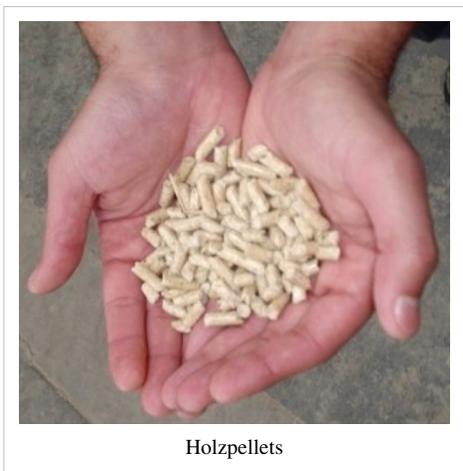
## Brennstoff

*siehe auch Hauptartikel Holzpellet*

Holzpellets (DIN plus) haben einen *Heizwert* von 5 kWh/kg, und ein *Öläquivalent* von 2,16 kg/l bzw. 3,33 l/l OE. Der Energiegehalt von einem Kilogramm Pellets kommt damit dem eines halben Liters Heizöl gleich, an Volumen (in Schüttraummetern) einem Drittel Liter.

## Marktentwicklung

Auf dem Pelletmarkt hat es in den vergangenen Jahren starke Zuwächse bei Angebot und Nachfrage gegeben. Nach einem anfänglich recht hohen Preis nach Markteinführung Ende der 1990er-Jahre, einer Phase relativ niedriger Preise um 3,50 Cent/kWh in Deutschland von 2002 bis 2005 und mehreren Monaten hoher Pelletpreise von mehr als 5 Cent/kWh im Winter 2006/07 wegen Angebotsengpässen haben die Hersteller ihre Kapazitäten stark ausgebaut, so dass der Handelswert seit 2007 auf ein Niveau zwischen ca. 3,50 und 4,50 Cent/kWh gesunken ist. In Deutschland überstieg die Produktionskapazität für Holzpellets (2,5 Mio. t im Jahr 2009) den Verbrauch im Jahr 2009 um ca. 230%. Die Preise pro kWh schwankten bei



Holzpellets

Holzpellets zwischen 2004 und 2009 um maximal 2 Cent, bei Heizöl im gleichen Zeitraum um 6 Cent.<sup>[4] [5]</sup>

Bei der Anlieferung kann für das Einblasen der Pellets in den Tank eine *Einblaspauschale* erhoben werden, unter 3 Tonnen Liefermenge werden häufig Mindermengenaufschläge erhoben. Sackware liegt üblicherweise etwa 30 % über der Tankware, und auch für Bigpacks werden Aufschläge berechnet.

## Rohstoffherkunft und Brennstoffalternativen

Neben den ursprünglich genutzten Sägespänen werden zur Pelletherstellung zunehmend Holzsortimente verwendet, die auch von der Papierindustrie und der Holzverarbeitenden Industrie nachgefragt werden. Hierzu zählen neben Holzhackschnitzeln auch Waldrestholz und Stammholz. Die Zuwachsraten und Gesamtverbräuche der Holzpelletnutzung stärken die Nachfrage im Bereich der geringeren Holzqualitäten. Zu den Strategien zur Erhöhung des Rohstoffangebots zählen die Ganzbaumnutzung, die verstärkte Nutzung schnell wachsender Holzarten und die Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen. Während die Energieholzerzeugung auf Ackerflächen aus Umweltsicht ein Gewinn sein kann<sup>[6]</sup>, können bei der Intensivierung der Rohstoffausbeute im Forst Zielkonflikte mit Natur-, Umwelt- und/oder Bodenschutz auftreten.

Alternative Brennstoffe zum Betrieb von Pelletheizungen befinden sich in der Entwicklung und Erprobung. Neben Strohpellets sind *Restwertpellets* (z.B.: Mühlenrückstände) und weitere pelletierte Biomasse wie z.B. Riesen-Chinaschilf oder Rapskuchen mögliche Rohstoffe. Nicht-holzartige Biomasse wird in Pelletform für Biomasseheizkraftwerke genutzt, ist jedoch derzeit für Pelletheizungen i.d.R. ungeeignet, da diese Brennstoffe sowohl bei der Verbrennungstechnik (z.B. wegen hohem Siliziumanteil und Versinterungen) als auch bei der Abgasreinigung einen erhöhten Aufwand benötigen. Getreide als Brennstoff benötigt hierfür geeignete Anlagen (Getreideverbrennung) und ist gemäß Kleinf Feuerungsverordnung (1. BImSchV) in der Anwendung beschränkt.

## Umweltverträglichkeit

Zentrale Aspekte bei der Umweltverträglichkeit der Pelletheizung sind die Rohstoffherkunft, die bei der Verbrennung entstehenden Schadstoffemissionen sowie die Klimabilanz.

### Klimaschutz

Da Pellets aus dem nachwachsenden und damit CO<sub>2</sub>-neutralen Rohstoff Holz bestehen, kann deren Klimabilanz günstiger ausfallen als bei fossilen Brennstoffen. Die Menge an CO<sub>2</sub>, die bei der Verbrennung freigesetzt wird, entspricht genau der Menge CO<sub>2</sub>, die beim Wachstum des Holzes in dieses eingebunden wurde.<sup>[7]</sup>

Auch bei Einberechnung der CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Waldbewirtschaftung, Transporte, Aufbereitung, Stromverbrauch der Heizung usw. ("Graue Energie") erzeugen Holzpellets bei nachhaltiger Waldwirtschaft deutlich weniger klimarelevante Emissionen als fossile Energieträger.

Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Holzpellets beträgt etwa 42 g/kWh, bei Heizöl liegt der Wert bei etwa 303 g/kWh<sup>[8]</sup> Nach dem Globalen Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) weist der Lebenszyklus von Holzpellets (inklusive Transporte und Materialvorleistung) als Koppelprodukt höherwertiger Holznutzung einen Aufwand nicht-erneuerbarer Energien von etwa 13 % der Nutzenergie aus.<sup>[9]</sup>

## Energiesicherheit und regionale Wertschöpfung

Durch den Einsatz des biogenen Energieträgers Holzpellets wird die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern reduziert. Zudem kann im Unterschied zu fossilen Brennstoffen bei der Nutzung von Holzpellets teilweise auf regional erzeugte Brennstoffe zurückgegriffen werden. Die Ausgaben für den Brennstoff bleiben dann weitgehend in der eigenen Region und erhöhen dort die Wertschöpfung.

## Emissionen

Bei den Schadstoffemissionen (Kohlenmonoxid, flüchtigen organischen Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden und Staub) liegen Pelletheizungen im Bereich anderer Heizsysteme – mit Unterschieden je nach Schadstoff und Heizsystem. Die Feinstaubemissionen moderner Pelletheizungen liegen über denen vergleichbarer Öl- oder Gasheizungen, jedoch weit unter den gültigen Grenzwerten. Auch nach der vorgesehenen Absenkung der Abgaswerte im Jahr 2015 gemäß 1. BImSchV können die Anlagen die Grenzwerte einhalten.<sup>[10]</sup>

### Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)

Holzpellets nach DIN plus oder ÖNORM M 7135 haben einen Schwefelgehalt von maximal 0,04 Gew-%, der zwischen Erdgas nach Spezifikation des DVGW (max. 30 mg/m<sup>3</sup> bzw. 8 mg/kWh zuzüglich Schwefelanteile aus durchschnittlicher Odorierung) und leichtem Heizöl (maximal 0,2 Gew-% nach 3. BImSchV) liegt.<sup>[11]</sup> Laut Globalem Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) beträgt die Freisetzung von SO<sub>2</sub> über den gesamten Lebenszyklus von Holzpellets aus der Restholzverwertung etwa 0,53 g/kWh. Heizöl (Brennwerttechnik) und Erdgas bilanzieren mit 0,73 g/kWh bzw. 0,18 g/kWh.<sup>[9]</sup>

### Ozonbelastung

Die Ozonbelastung durch Freisetzung von Ozon-Vorgängerstoffen (Stickoxide, Kohlenstoffmonoxid, Methan und flüchtige organische Verbindungen) wird für die Verbrennung von Holzpellets aus der Restholzverwertung in GEMIS mit 0,88 g/kWh ausgewiesen, etwa um den Faktor zwei mehr als bei der Verbrennung von Heizöl mit Brennwerttechnik (0,41 g/kWh) oder von Erdgas (0,35 g/kWh).<sup>[9]</sup> Da die vermehrte Bildung von Photooxidantien aufgrund der dazu notwendigen intensiven Sonnenstrahlung hauptsächlich in den Sommermonaten ein Problem darstellt („Sommersmog“), während Raumheizungen naturgemäß überwiegend im Winter arbeiten, wird dieser Emission aber vergleichsweise wenig Problempotential zugeschrieben.

### Feinstäube

Die Feinstaubemission moderner Pelletkessel liegt bei etwa 8 mg pro MJ Wärmemenge, entsprechend 29 mg/kWh. Inzwischen gibt es Pelletsheizanlagen, die durch optimierte Verbrennung die Feinstaubemissionswerte unterschreiten und auch in Bereichen installiert werden dürfen, wo strengere Regelungen gelten. Diese Anlagen arbeiten mit Brennwerttechnik und haben ein relativ staub- und rußarmes Abgas (ca. 4 mg Feinstaub pro MJ). Der Vergleichswert für die Feinstaubemission liegt bei Einzelöfen (offener Kamin, Kachelofen) bei etwa 150 mg/MJ, bei Stückholzkesseln bei etwa 90 mg/MJ, und bei Ölheizungen bei 3 mg/MJ.<sup>[12]</sup>

## Literatur

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2007: Marktübersicht Pellet-Zentralheizungen und Pelletöfen. PDF <sup>[13]</sup>
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2007: Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. ISBN 3-00-011041-0 (pdf <sup>[14]</sup>)

## Weblinks

- EnergieAgentur.NRW <sup>[15]</sup>
- Leicht verständliche Erklärung des Funktionsprinzips <sup>[16]</sup>
- Test Pelletsheizung <sup>[17]</sup>, Stiftung Warentest: 2005 <sup>[18]</sup>, 2009 <sup>[19]</sup>
- Heizkostenvergleich: Kann die Pelletheizung mit anderen Heizsystemen mithalten? <sup>[20]</sup>

## Referenzen

- [1] FNR: Marktübersicht Pellet-Zentralheizungen und Pelletöfen. S.7
- [2] Erneuerbare Energien ([http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare\\_energien/index.html](http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/index.html)) – Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, [www.bafa.de/](http://www.bafa.de/)
- [3] *Umweltförderungsgesetz* (<http://www.public-consulting.at/blueline/upload/umwelfrderungsgesetzokt2005.pdf>), *Fassung 2005*. (PDF, 150 kB), *Förderungsrichtlinien* ([http://www.public-consulting.at/blueline/upload/FRL\\_2002.pdf](http://www.public-consulting.at/blueline/upload/FRL_2002.pdf)) *2002 für die Umweltförderung im Inland*. (PDF, 150 kB). Kommunalkredit Austria AG (KPC) – Spezialbank für öffentliche Infrastrukturinvestitionen, u.a. auch des Lebensministeriums.
- [4] Deutscher Energieholz- und Pelletverband DEPV: Energiepreisentwicklung in Deutschland. (<http://www.depv.de/startseite/marktdaten/pelletspreise/>) Abgerufen am 24.01.2010.
- [5] DEPV: Entwicklung Pelletproduktion. (<http://www.depv.de/startseite/marktdaten/entwicklung-pelletproduktion/>) Abgerufen am 24.1.2010.
- [6] NABU, 2008: ENERGIEHOLZPRODUKTION IN DER LANDWIRTSCHAFT. Chancen und Risiken aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes. (pdf) ([http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/biomasse/nabu-studie\\_energieholz.pdf](http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/biomasse/nabu-studie_energieholz.pdf))
- [7] *Mit Holz umweltgerecht heizen*, Der BUND ([http://www.bund.net/lab/reddot2/5530\\_5848.htm](http://www.bund.net/lab/reddot2/5530_5848.htm))
- [8] Deutsches Pelletinstitut: Emissionsbilanz von Brennstoffen. (<http://www.depi.de/download/grafiken/Emissionsbilanz.gif>) Abgerufen am 23.1.2010.
- [9] Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme, Ergebnisdaten aus GEMIS 4.2 (<http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm>), November 2004
- [10] ([http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/pb\\_pdf/Voss\\_Stuttgart\\_2009\\_06.pdf](http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/pb_pdf/Voss_Stuttgart_2009_06.pdf)) Kumulierte Emissionen
- [11] nach: *Erdgas – Der umweltschonende fossile Energieträger* ([http://bgw.de/pdf/0.1\\_resource\\_2004\\_10\\_5\\_14.pdf](http://bgw.de/pdf/0.1_resource_2004_10_5_14.pdf)). Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW). o. Datum. Bild 4, S. 17. (PDF 1,5 MB)
- [12] Feinstaub, was tragen unsere Pelletsheizung dazu? ([http://www.waermeservice.ch/dokumente/stellungn\\_be\\_feinst.pdf](http://www.waermeservice.ch/dokumente/stellungn_be_feinst.pdf)) (B.energie AG, Schweiz)
- [13] [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_269mu-pelletzentralheizunfen-4-2007.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_269mu-pelletzentralheizunfen-4-2007.pdf)
- [14] [http://www.google.de/url?q=http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_278Bioenergie\\_Kleinanlagen\\_2007.pdf&ei=YmhbS\\_6NEsvdsAayl7jMAw&sa=X&oi=spellmeleon\\_result&resnum=2&ct=result&ved=0CAoQhgIwAQ&usg=AFQjCNE66oVbYHIV9cVL1z-JBD07F4SUjQ](http://www.google.de/url?q=http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_278Bioenergie_Kleinanlagen_2007.pdf&ei=YmhbS_6NEsvdsAayl7jMAw&sa=X&oi=spellmeleon_result&resnum=2&ct=result&ved=0CAoQhgIwAQ&usg=AFQjCNE66oVbYHIV9cVL1z-JBD07F4SUjQ)
- [15] <http://www.aktion-holzpellets.de/>
- [16] <http://www.1a-holzpelletsheizung.de/>
- [17] <http://www.tga.at/heizung/heizsysteme/news/branchenberichte/stiftung-warentest-testete-pelletskessel/4962/?l=1>
- [18] [http://www.testberichte.de/preisvergleich/level4\\_test\\_stiftung\\_warentest\\_\\_27788.html](http://www.testberichte.de/preisvergleich/level4_test_stiftung_warentest__27788.html)
- [19] <http://www.testberichte.de/a/heizkessel/magazin/test-stiftung-warentest-7-2009/165432.html>
- [20] <http://www.energiesparen-im-haushalt.de/energie/bauen-und-modernisieren/modernisierung-haus/heizung-modernisieren/heizkosten-gas-oel-pellets.html>

# Pflanzenölbrenner

---

Ein **Pflanzenölbrenner** ist ein Brenner, der Pflanzenöl (z. B. Rapsöl) verbrennt und somit Bioenergie in Wärmeenergie umwandelt. Pflanzenölbrenner kommen in der Regel als Ersatz für herkömmliche Heizölbrenner in kleinen und mittleren Feuerungen zum Einsatz.

## Technik

Der Aufbau eines Pflanzenölbrenners ähnelt dem eines herkömmlichen Heizölbrenners. Da die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Pflanzenöle sich von Heizöl (Leichtöl) stark unterscheiden (z. B. die Viskosität), werden Pflanzenölbrenner an die Eigenschaften des Brennstoffes angepasst. In Kleinfeuerungsanlagen werden Druckzerstäuber angewendet, bei denen im Düsenstock Luft beigemischt wird, zudem ist eine Ölvorwärmung nötig. In Deutschland unübliche Brenner für mittelschweres Heizöl können unter Umständen mit reinem Rapsöl betrieben werden. Bei den für Großfeuerungsanlagen genutzten Schwerölbrennern ist die Eignung für Rapsölbetrieb bei Rotations- und Druckzerstäubern und Ölvorwärmung auf 50-60°C grundsätzlich gegeben.

Alle ölführenden Teile müssen für Pflanzenöl geeignet sein, da es sonst zu Verklebungen oder chemischen Angriff durch Ölbestandteile kommen kann. Aufgrund dieser zusätzlichen Maßnahmen und der hohen Produktionskosten der bisher in Kleinserie produzierten Geräte sind spezielle Pflanzenölbrenner teurer als vergleichbare Brenner für Erdöl oder Erdgas. Wie auch beim Einsatz von Pflanzenöl als Kraftstoff ist bei der Nutzung als Brennstoff auf die Qualität zu achten (für Rapsöl gilt dabei die Vornorm DIN 51605).

Eine neue, düsenfreie Pflanzenöl-Brennertechnik wurde 2006 serienreif. "Multiölbrenner" genannte Geräte, bei denen diese Technik umgesetzt wurde, können Leistungsbereiche zwischen 15 und 500 kW Brennerleistung abdecken und ermöglichen die Nutzung unterschiedlicher Pflanzen- und Mineralöle. Bei Kleinanlagen ab zwischen 10 und 30 kW setzt sich ebenfalls eine neue Düsen- / Zerstäuber-Version durch.

In Brennern für leichtes Heizöl können Brennstoffmischungen aus leichtem Heizöl und 10 bis 20% Rapsöl verwendet werden, wenn diese mit einer Ölvorwärmung (ca. 60°C) und einer heißen Brennkammer ausgestattet sind.

## Wirtschaftliche Bedeutung

Die Konkurrenzfähigkeit des Einsatzes von Biobrennstoffen im Vergleich zu den derzeit vorherrschenden fossilen Brennstoffen und damit die wirtschaftliche Bedeutung von Pflanzenölbrennern hängt von vielen Faktoren ab, darunter Preisentwicklung und Rohstoffpotenzial fossiler und biogener Brennstoffe (regional und weltweit), die Herstellungskosten der Brenner, die steuerliche Behandlung der verschiedenen Kraft- und Brennstoffe sowie die Produktionskapazitäten für Brenner und Brennstoff.

## Ökologische Bedeutung

Durch den Einsatz von Pflanzenöl als Brennstoff werden fossile Energieträger (z. B. Erdöl) substituiert. Durch eine ausgeglichene CO<sub>2</sub>-Bilanz bei der Verbrennung von Pflanzenöl kann weitgehend klimaneutral geheizt werden.

Bei der Verbrennung von Pflanzenöl wird nur so viel CO<sub>2</sub> ausgestoßen, wie vorher von den Pflanzen aufgenommen und durch die Photosynthese umgewandelt wurde. Allerdings entstehen bei der Verbrennung von Pflanzenölen höhere Stickoxyd-Emissionen als bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern. Ein weiterer Aspekt beim Einsatz von biogenen Brennstoffen ist die Nachhaltigkeit. Im Gegensatz zu den endlichen fossilen Energieträgern sind biogene Energieträger regenerativ.

Ebenso wie andere Agrarrohstoffe benötigt die Erzeugung von Pflanzenöl landwirtschaftliche Flächen zum Anbau von Ölsaaten bzw. -früchten. Der weltweit steigende Bedarf an Futtermitteln, Nahrungsmitteln und Biomasse für

Energieerzeugung und stoffliche Nutzung führt zu einer zunehmenden Nutzungskonkurrenz und fördert dadurch steigende Preise für Agrarerzeugnisse und eine Ausweitung der Agrarproduktion.

## Steuerliche Situation

Einzelheiten zur steuerlichen Behandlung regelt das Energiesteuergesetz vom 1. August 2006.

## Geschichte

Das erste Forschungsprojekt in Deutschland zur Verfeuerung von pflanzlichen Lipiden (Fetten) wurde in den Jahren 1998-1999 von der InnoTech GmbH und dem VDI / VDE Teltow durchgeführt und führte zum Bau des Prototyps eines Pflanzenölbrenners. Im Jahr 2000 erfolgte die Patenterteilung auf die Mischeinrichtung des Brenners. Ab 2000 begann die Fertigung einer Kleinserie dreier Leistungstypen. (24–32 kW, 32–90 kW, 90–180 kW), Ende 2001 wurde auf eine reguläre Fertigung umgestellt.

## Literatur

- *Barbara Eder, Franz Eder, 2004: Pflanzenöl als Kraftstoff: Autos und Verbrennungsmotoren mit Bioenergie antreiben. 109 S., Ökobuch Verlag, ISBN 9783936896053*
- Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann und Hermann Hofbauer (Hrsg.), 2009: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, 2. Auflage, S. 762-763, ISBN 9783540850946

## Weblinks

- Bezugsquellen für Pflanzenölbrenner <sup>[1]</sup> (C.A.R.M.E.N. e.V.)

## Referenzen

[1] <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/pflaebrenner.html>

# Pflanzenöl-Kraftstoff

Rapsöl-Kraftstoff	
Andere Namen	Pflanzenöl, Pflanzenölkraftstoff, Pöl (umgangssprachlich)
Kurzbeschreibung	Kraftstoff für selbstzündende Kolbenmotoren (Dieselkraftstoffe)
Herkunft	biogen
Charakteristische Bestandteile	Rapsöl <sup>[1]</sup>
Eigenschaften	
Aggregatzustand	flüssig
Kinematische Viskosität	74,0 mm <sup>2</sup> /s (20 °C) <sup>[1]</sup> (max. 36,0 mm <sup>2</sup> /s <sup>[2]</sup> )
Dichte	0,92 kg/L (15 °C) <sup>[1]</sup>
Heizwert	9,7 kWh/L = 10,5 kWh/kg <sup>[1]</sup>
Brennwert	34,6 MJ/L = 37,6 MJ/kg <sup>[1]</sup>
Cetanzahl	40 CZ <sup>[1]</sup>
Flammpunkt	317 °C <sup>[1]</sup>
<b>Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.</b>	

weitere Pflanzenöl-Kraftstoffe	
Andere Namen	Pflanzenöl, Pflanzenölkraftstoff, Pöl (umgangssprachlich)
Kurzbeschreibung	Kraftstoffe für selbstzündende Kolbenmotoren (Dieselkraftstoffe)
Herkunft	biogen
Eigenschaften	
Aggregatzustand	flüssig
Kinematische Viskosität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vornorm DIN 51605 (für Rapsöl) max. 36,0 mm<sup>2</sup>/s <sup>[2]</sup></li> <li>• Sonnenblumenöl 68,9 mm<sup>2</sup>/s (20 °C)</li> <li>• Sojaöl 63,5 mm<sup>2</sup>/s (20 °C)</li> <li>• Leinöl 51,0 mm<sup>2</sup>/s (20 °C)</li> <li>• Olivenöl 83,8 mm<sup>2</sup>/s (20 °C)</li> <li>• Baumwollsaatöl 89,4 mm<sup>2</sup>/s (20 °C)</li> <li>• Jatrophaöl 71,0 mm<sup>2</sup>/s (20 °C)</li> <li>• Kokosöl 21,7 mm<sup>2</sup>/s (50 °C)</li> <li>• Palmöl 29,4 mm<sup>2</sup>/s (50 °C)</li> <li>• Palmkernöl 21,5 mm<sup>2</sup>/s (50 °C) <sup>[1]</sup></li> </ul>

Dichte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vornorm DIN 51605 (für Rapsöl) 0,900–0,930 kg/L <sup>[2]</sup></li> <li>• Sonnenblumenöl 0,93 kg/L (15 °C)</li> <li>• Sojaöl 0,93 kg/L (15 °C)</li> <li>• Leinöl 0,93 kg/L (15 °C)</li> <li>• Olivenöl 0,92 kg/L (15 °C)</li> <li>• Baumwollsaatöl 0,93 kg/L (15 °C)</li> <li>• Jatrophaöl 0,91 kg/L (15 °C)</li> <li>• Kokosöl 0,87 kg/L (15 °C)</li> <li>• Palmöl 0,92 kg/L (15 °C) <sup>[1]</sup></li> </ul>
Heizwert	9,2 kWh/L = 10,0 kWh/kg <sup>[2]</sup>
Brennwert	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonnenblumenöl 34,5 MJ/L = 37,1 MJ/kg</li> <li>• Sojaöl 34,5 MJ/L = 37,1 MJ/kg</li> <li>• Leinöl 34,4 MJ/L = 37,0 MJ/kg</li> <li>• Olivenöl 34,8 MJ/L = 37,8 MJ/kg</li> <li>• Baumwollsaatöl 34,2 MJ/L = 36,8 MJ/kg</li> <li>• Jatrophaöl 37,0 MJ/L = 40,7 MJ/kg</li> <li>• Kokosöl 30,7 MJ/L = 35,3 MJ/kg</li> <li>• Palmöl 34,0 MJ/L = 37,0 MJ/kg <sup>[1]</sup></li> </ul>
Cetanzahl	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonnenblumenöl 36 CZ</li> <li>• Sojaöl 39 CZ</li> <li>• Leinöl 52 CZ</li> <li>• Olivenöl 37 CZ</li> <li>• Baumwollsaatöl 41 CZ</li> <li>• Jatrophaöl 51 CZ</li> <li>• Palmöl 42 CZ <sup>[1]</sup></li> </ul>
Flammpunkt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonnenblumenöl 316 °C</li> <li>• Sojaöl 350 °C</li> <li>• Baumwollsaatöl 320 °C</li> <li>• Jatrophaöl 240 °C</li> <li>• Palmöl 267 °C <sup>[1]</sup></li> </ul>
Kohlendioxidemissionen bei Verbrennung	3,24 kg/L <sup>[2]</sup>
<b>Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.</b>	

Unbehandeltes **Pflanzenöl**, umgangssprachlich abgekürzt auch als **Pöl** bezeichnet, kann als Kraftstoff für Dieselmotoren in mobilen und stationären Anwendungen verwendet werden. Als Biokraftstoff zählt es zu den erneuerbaren Energieträgern. Zu unterscheiden ist Pflanzenöl-Kraftstoff von Biodiesel, der durch Umesterung von Pflanzenöl hergestellt wird.

## Geschichte

Die Idee einer Verwendung von Pflanzenölen als Motorenkraftstoff geht zurück auf Rudolf Diesel, den Erfinder des Dieselmotors. Die Verfügbarkeit an billigem Erdöl war der Grund, weshalb teurere Alternativen wie Pflanzenöl lange Zeit nicht als Kraftstoff Verwendung fanden.

Erst nach den Ölkrisen der 1970er Jahre wurde verstärkt nach alternativen Kraftstoffen gesucht. Das steigende Umwelt- und Klimaschutzbewusstsein zum Ende des 20. Jahrhunderts brachte vor allem die erneuerbaren Energieträger wieder in die Diskussion.

## Verwendbare Pflanzenölsorten

Meist kommt in Deutschland Rapsöl als Pflanzenölkraftstoff zum Einsatz. Es gibt jedoch weltweit viele Tausend Ölpflanzen, die als Kraftstoff genutzt werden könnten. Grundsätzlich sind alle Pflanzenölsorten und auch tierische Öle zum Betrieb in umgerüsteten Fahrzeugen geeignet. Vereinzelt setzen Autofahrer auch gefilterte Altöle und flüssige Speisefette ein. Sie müssen jedoch vor der Nutzung sorgfältig gereinigt, entwässert und ggf. auch neutralisiert werden. Beim Einsatz von Pflanzenöl als Kraftstoff sind in allen Fällen hohe Qualitätsstandards einzuhalten.

Obwohl Leindotteröl bessere Eigenschaften hat, überwiegt am Markt der Anteil des Rapsöls, da die Landwirte weder einen finanziellen Vorteil aus einem Mischfruchtanbau ziehen können, noch die Pressrückstände als Futter einsetzen können, da dies aufgrund der Futtermittelverordnung untersagt ist.<sup>[3]</sup>

## Eigenschaften

Pflanzenöl stellt eine der dichtesten Energieformen dar, die durch Photosynthese entstehen. Der Heizwert ist mit 37 MJ/kg deutlich niedriger als beim Benzin (43 MJ/kg) und Methan (50 MJ/kg), allerdings höher als bei der Steinkohle (30 MJ/kg) und Dieselkraftstoff nach DIN EN 590 (35,6 MJ/Kg). Die auf das Volumen bezogene Energiedichte beträgt rund 9,2 kWh je Liter und liegt damit zwischen Benzin mit 8,6 kWh/L und mineralischem Dieselöl mit 9,6 kWh/L.

Reines Pflanzenöl besteht überwiegend aus Estern langkettiger Fettsäuren (keinen Alkanen) und ist schwerer entflammbar (siehe Flammpunkt) als Diesel. Die Zündwilligkeit (Cetanzahl) ist allgemein eingeschränkt, da nicht erwärmtes Pflanzenöl von der Einspritzdüse nur unzureichend im Brennraum vernebelt wird (daher sind Vor- und Wirbelkammermotoren besser geeignet). Aufgrund seiner höheren Viskosität, die bei sinkender Temperatur noch weiter ansteigt, erhöht sich der Durchflusswiderstand in den Kraftstoffleitungen, der Einspritzpumpe und den Einspritzdüsen gegenüber dem von Dieselkraftstoff. Manche Einspritzsysteme wie Commonrail oder Pumpe-Düse arbeiten daher mit Pflanzenöl außerhalb ihrer Spezifikation, was zu abnormalen Verschleiß bis hin zu Totalausfällen führen kann.

## Verwendung

Aufgrund der gegenüber Dieselkraftstoffen höheren Viskosität und der niedrigeren Cetanzahl sind an gewöhnlichen Dieselmotoren in der Regel Anpassungsmaßnahmen notwendig. Diese bestehen zum Beispiel in der Erhitzung des Kraftstoffes, um die Viskosität unmittelbar vor dem Eintritt in die Einspritzanlage zu verringern. Diese Technologie ist bereits von Vielstoffmotoren bekannt.

Zwingende Vorschrift ist die Vornorm DIN V 51605 als Qualitätsnorm für Pflanzenölkraftstoff aus Rapsöl.

## Pflanzenöлтаugliche Motoren und Heizungen

Bei der Verwendung von Pflanzenöl halbiert sich in etwa der Ausstoß von Rußpartikeln gegenüber der Verwendung von Diesel. Nur bei kaltem Motor und unzureichender Vernebelung im Zylinder ist der Ausstoß sichtbar erhöht. Es gibt weniger Emissionen von Feinstaub als bei Dieselmotor. Verunreinigungen durch Schwefel und Schwermetalle entfallen weitgehend.

Außerdem kann Pflanzenöl als Brennstoff für Heizanlagen im stationären Bereich verwendet werden.

Ohne Umrüstung können nur wenige ältere Motoren problemlos mit Pflanzenöl betrieben werden. Es handelt sich dabei in der Regel um Vorkammer-Dieselmotoren. Wichtig ist die Qualität der Einspritzpumpe. Bewährt haben sich Reiheneinspritzpumpen, z. B. der Firma Bosch. Aber auch die Modifikation dieser Motoren ist denkbar einfach. Folgende Umrüstschritte sind erforderlich:

- Einbau eines Wärmeübertragers, zum Beispiel zur Erwärmung des Kraftstofffilters mit Hilfe des Kühlwassers.
- Eine Kraftstoffleitung mit größerem Querschnitt
- Einbau eines neuen Filters
- Im Winterbetrieb muss dem Pflanzenöl mindestens 10 % Winterdiesel zugeführt werden.

Die Umbaukosten betragen hier bei Eigeneinbau etwa 200 bis 600 Euro.

Speziell entwickelte Motoren wie der Elsbett-Motor oder andere Vielstoffmotoren haben sich wegen der höheren Kosten nicht durchsetzen können. Moderne Motoren sind mit einer Common-Rail-Einspritzung bzw. Pumpe-Düse-Einspritzung ausgerüstet. Hierzu gibt es mittlerweile entsprechende Umrüstungen, die aufwendig und (entsprechend) teuer sind. Diese sind aber sicher und auch durchaus bewährt. Nach dem Umbau ist es dann möglich, neben (Mineralöl-)Diesel auch Pflanzenöl als Kraftstoff zu verwenden. Die aktuelle Technik kompensiert so weit wie möglich die hohe Viskosität im Winter und auch die mangelnde Zündfreudigkeit. Dazu wird das Pflanzenöl durch einen Wärmeübertrager auf 60 °C erwärmt. Beim Kaltstart geschieht dies elektrisch, bei warmem Motor über das Kühlwasser. Die Hersteller berichten von Anlassproblemen unter –8 °C im Winter. Das Vorglühen und Anlassen dauert dann etwas länger. Im Winterbetrieb besteht die Gefahr des „Einfrierens“. Da die Erstarrung des Treibstoffs im untersten Bereich des Tanks beginnt, wo der Kraftstoff austritt, kann die kontinuierliche Fortsetzung der Treibstoffzufuhr nicht gewährleistet werden. Daher ist bei niedrigen Temperaturen die Beimischung von Mineralöl-Dieselmotor („Winterdiesel“) ratsam.

Die Umrüstung kann auf ein **1-Tank-** oder **2-Tank-System** erfolgen:

Beim **Eintanksystem** befindet sich der Kraftstoff für den Motor in einem einzigen Tank, und bei tieferen Temperaturen werden Dieselanteile beim Betanken dem Pflanzenöl zugemischt. Zu den hilfreichen Modifikationen gehören ein vergrößerter Leitungsquerschnitt für den Kraftstoff, ein System zur Vorwärmung der Zuleitungen, des Kraftstofffilters und der Einspritzpumpe. Je nach Bauart und thermischer Umgebung des Motors sind nur einige der Maßnahmen erforderlich.

Beim **Zweitanksystem** wird der Motor mit Dieselmotor aus einem separaten Tank gestartet und warmgefahren. Die entstehende Abwärme heizt das übrige System vor. Anschließend wird auf den Pflanzenöltank umgeschaltet. Vor dem längeren Abstellen des Motors sollte rechtzeitig umgeschaltet werden, damit das Einspritzsystem beim



Mit Pflanzenöl betriebener Laubsauger-Lkw der Stadt Aachen



Mini-Blockheizkraftwerk, für den Betrieb mit kaltgepresstem Rapsöl geeignet

erneuten Starten wieder mit Diesel gefüllt ist.

Seit einigen Jahren gibt es Angebote, Dieselmotoren für den Direktbetrieb mit Pflanzenöl umzurüsten. Unter Bezeichnungen wie „BB.drive“, „BEAM-Plus“, „eoil“, „Poeltec“ u. a. werden im Internet Umbauten angeboten, die nicht nur auf erwärmtes, sondern auf sorgfältig entgastes Rapsöl setzen. Auch ein winziger Gasgehalt, so wird außenwirksam behauptet, verursacht in einer modernen Hochdruckeinspritzanlage Dampfblasenbildung (Kavitation), welche das Material in der Umgebung zerstört. Zu bedenken ist allerdings, dass auch herkömmlicher Dieselmotorkraftstoff in gewissem Maße Gase enthält. Aus diesem Grund sind Verfahren, die nur auf Entgasung setzen, wie z. B. das eoil-System, stark umstritten. Zu bedenken ist weiter, dass – wenn die Ultraschall-Entgasungsmethode eingesetzt wird – der Ultraschall selbst Ursache für Kavitation durch die erzeugten starken Druckschwankungen sein kann, vgl. (Kavitation: es kann in den Druckminima der Schwingungen zur Kavitation kommen). Damit würde die Ultraschall-Methode im beschallten System genau das erst auslösen, was sie vorgibt zu vermeiden. Im übrigen entsteht Kavitation aus den Dampfblasen einer Flüssigkeit; Luft, einer Dampfblase beigemischt, und als solche bei Normaltemperatur nicht kondensierbar, würde in Gegenteil die das Kollabieren der Dampfblasen unter Wärmeerzeugung dämpfen, wäre also von Vorteil, um schädigende Wirkung der Kavitation zu vermeiden.

Am sinnvollsten ist die Umrüstung beim gegenwärtigen Stand der Technik hauptsächlich bei Lastwagen, Nutzfahrzeugen und landwirtschaftlichen Maschinen, weil sich der Umbau wegen des hohen spezifischen Verbrauchs dieser Fahrzeuge innerhalb von wenigen Monaten amortisiert.

Die Firma Deutz AG hat auf der Agritechnica 2007 in Hannover ihren Natural Fuel Engine vorgestellt. Damit ist sie der erste große Motorenhersteller, der einen Dieselmotor mit voller Gewährleistung und Motormangementoptimierung für den Betrieb mit Rapsöl nach DIN V 51605 anbietet. Dieser Motor soll vor allem im landwirtschaftlichen Bereich vertrieben werden.

## **Probleme beim Einsatz**

### **Veränderung des Motoröls**

Unverbrannter Kraftstoff gelangt – vor allem beim Kaltstart und bei hoher Drehzahl – in das Motoröl und verschlechtert dessen Schmiereigenschaften bzw. es bilden sich im Motoröl Polymerketten, die sich zu Klumpen zusammenballen können und Leitungen und Filter verstopfen. Dieses Problem tritt insbesondere bei Einsatz von modernen vollsynthetischen Schmierölen auf, offensichtlich binden vollsynthetische Öle Fremdstoffe (freie Radikale) besonders gut, was sie ja auch sollen – wenn es davon nicht zuviel gibt.

Reiner Dieselmotorkraftstoff beginnt bei ca. 55 °C zu verdampfen. Erreicht also das Motoröl im Fahrbetrieb diese Temperatur, verdampft der Dieselmotorkraftstoff aus dem Motoröl. Da Pflanzenöl im Gegensatz zu Diesel erst ab ca. 220 °C zu verdampfen beginnt und das Motoröl nie diese Temperatur erreicht, reichert sich zwangsläufig Pflanzenöl im Motoröl an. Eine Umrüstung des Fahrzeugs auf den Betrieb mit Pflanzenöl kann diesen Vorgang nur verlangsamen, nicht jedoch verhindern. Deshalb ist es auf alle Fälle empfehlenswert, den Ölstand regelmäßig zu kontrollieren und die Ölwechselintervalle zu halbieren.

### **Zähflüssigkeit**

Pflanzenöl ist wesentlich dickflüssiger als Dieselmotorkraftstoff, das Einspritzsystem des Motors ist aber für dünnflüssigeren Dieselmotorkraftstoff ausgelegt. Der Flammpunkt von Pflanzenöl liegt ca. 165 °C über dem von Dieselmotorkraftstoff. Beide Eigenschaften haben entscheidenden Einfluss auf die Verbrennung.

Eine Umrüstung muss also entweder den Motor an die Verwendung mit Pflanzenöl anpassen und/oder das Pflanzenöl so verändern, dass es den Eigenschaften von Diesel möglichst nah kommt. Um eine möglichst vollständige Verbrennung zu gewährleisten, ist es notwendig das Pflanzenöl beim Einspritzen genauso fein zu zerstäuben wie Dieselmotorkraftstoff. Dazu muss entweder die Viskosität des Pflanzenöls an die von Dieselmotorkraftstoff angepasst oder der Einspritzdruck erhöht werden. In der Praxis werden meist beide Möglichkeiten verwendet.

Die Viskosität von Pflanzenöl ist stark temperaturabhängig, d. h., je weiter das Pflanzenöl erwärmt wird, umso dünnflüssiger wird es. Bei Raumtemperatur ist die Viskosität von Pflanzenöl rund 100fach größer als die von Diesel, was zu enormen Kräften in unmodifizierten Einspritzpumpen führen würde. Erst bei ca. 150 °C erreicht Pflanzenöl die Viskosität von Diesel. Meist wird Pöl mit einem Kühlwasserwärmetauscher aber nur auf 65–85 °C erwärmt.

Theoretisch wäre es auch möglich, nur den Einspritzdruck entsprechend zu erhöhen, jedoch ist der Aufwand sehr hoch, weshalb der Einspritzdruck nur geringfügig angehoben wird. Bei älteren Einspritzsystemen kann dies leicht durch Änderung des Öffnungsdrucks der Einspritzdüsen erreicht werden. Da die Einspritzpumpe dann etwas länger braucht, um den höheren Druck aufzubauen, wird der Kraftstoff später eingespritzt; der Einspritzzeitpunkt muss dann neu eingestellt werden.

### **Beimischung von Diesel/Benzin**

Neben der Erwärmung ist auch die Beimischung von Diesel bzw. Benzin eine Möglichkeit, die Viskosität und den Flammpunkt des Pflanzenöls zu verändern. Diese Technik wird von einigen Umrüstern wie z. B. „Klümper-Pflanzenöltechnik“ und „Danhag“ eingesetzt.

Pflanzenöl ist dickflüssiger als Diesel. Deshalb kann ein Gemisch aus Diesel und Pflanzenöl, unabhängig vom Mischungsverhältnis, nie die Viskosität von Dieseldieselkraftstoff erreichen. Eine Kombination aus Beimischung und Erwärmung hat sich in der Praxis bewährt. Zum einen ist dann das Pflanzenöl bei gleicher Temperatur wesentlich dünnflüssiger als ohne den Zusatz von Diesel, zum anderen sinkt der Siedepunkt des Gemisches auf einen Wert zwischen 55 °C (Diesel) und 220 °C (Pflanzenöl), was eine bessere Verbrennung zur Folge hat.

Benzin ist dünnflüssiger als Diesel, so dass ein Pflanzenöl-Benzin-Gemisch die Viskosität von Diesel erreichen kann. Dies ist bei einem Mischungsverhältnis von ca. 60 % PÖL zu 40 % Benzin der Fall. Die dem Benzin zugesetzten Antiklopfmittel hemmen jedoch im Dieselmotor die Selbstentzündung des Gemischs, d. h. die Cetanzahl sinkt stark ab, so daß der Motor schlecht anspringt und nicht die volle Leistung bringt. Deshalb müssen in diesem Fall zündverbessernde Additive, die die Cetanzahl erhöhen, beigemischt werden.

## **Lagerung**

Pflanzenöl sollte möglichst kühl und dunkel gelagert werden. Die Lagerung kann in oberirdischen und unterirdischen Tankanlagen problemlos erfolgen, wobei aufgrund ihrer relativ gleichbleibenden niedrigen Temperatur unterirdische Anlagen Vorteile haben.

Der Vorteil der guten biologischen Abbaubarkeit des Pflanzenöls geht einher mit einer schlechten Alterungsbeständigkeit und verschlechtert die Lagerfähigkeit. Bakterienbefall, Oxidation und Wasseranreicherung sind die Hauptprobleme. Deshalb *muss* bei der Lagerung von Pflanzenöl darauf geachtet werden, dass chemische Reaktionen verhindert werden, die das Pflanzenöl qualitativ verschlechtern, wie

- die Oxydation,
- die Hydrolyse,
- die Polymerisation und
- der enzymatische Abbau.

Die Lagerung muss daher dunkel, kühl (zwischen 5 und 10 °C), trocken und mit geringer Kontaktfläche zum Luftsauerstoff erfolgen. Die Tanks, Rohrleitungen und Armaturen müssen aus Edelstahl (ohne katalytisch wirkende Legierungsbestandteile wie Kupfer) oder lichtundurchlässigem Kunststoff (z. B. HDPE) bestehen und einen wasserabscheidenden Filter für die Be-/Entlüftung enthalten. Erdtanks sind wegen der meist niedrigen Lagerungstemperatur günstig. Die Tanks sollten regelmäßig gereinigt werden, da die Sedimente aus Verunreinigungen den Fortschritt der Qualitätsverschlechterung durch chemische Reaktionen (siehe oben) beschleunigen.

Bei der Produktion des Pflanzenöls in der Ölmühle ist folgende Lagerkombination üblich:

1. Der erste Tank speichert das Pflanzenöl aus der laufenden Produktion
2. Der zweite Lagertank speichert das Pflanzenöl, dessen Proben qualitätsuntersucht werden
3. Der dritte Tank enthält das Pflanzenöl, das nach der Qualitätsfreigabe an den Endkunden zum baldigen Verbrauch abgegeben werden kann.

## Arbeitsschutz

Pflanzenöl ist ungiftig.<sup>[4]</sup>

Vergälltes Pflanzenöl kann unangenehm riechen oder schmecken. Eine von Shell, Daimler-Chrysler, Volkswagen und dem Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie geförderte<sup>[5]</sup> Studie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft kam zum Ergebnis, dass die Emissionen eines mit reinem Rapsöl betriebenen Diesel-LKW-Motors im Vergleich mit einem mit herkömmlichen Diesel betriebenen Motor etwa 30mal krebserregender sind.<sup>[6]</sup> Experten des Bundesumweltamtes fordern in Bezugnahme auf diese Studie, dass Lkws nicht weiter mit reinem Rapsöl betrieben werden. Insbesondere die Mitarbeiter in den LKW-Werkstätten seien gefährdet. Diese Aussagen konnten zwischenzeitlich in einer aktuellen Untersuchung des Technologie- und Förderzentrums (TFZ), Straubing und des bifa Umweltinstituts in Augsburg widerlegt werden.

Diese Studie hat ergeben:<sup>[7]</sup>

- Im Vergleich zu Deselemissionen zeigten die Pflanzenölemissionen beim Einsatz der bioltec-Technologie eine etwa halbierte mutagene Wirkung. Die mutagene Wirkung ist eine Maß für das krebserregende Potenzial der Abgase.
- Die Feinstaubemissionen sind beim Einsatz von lastabhängig definierten Pflanzenöl- / Dieselmischungen gegenüber reinem Dieselmotor ebenfalls etwa halbiert.
- Das Ergebnis wurde in der Untersuchung bei unterschiedlichen Messungen und Kontrollmessungen mehrfach bestätigt.

## Besteuerung in Deutschland

Reines Pflanzenöl (Rapsöl) als Kraftstoff wird nach Entlastung wie folgt besteuert (§ 50 Abs. 3 Satz 3 Nr. 2 in Verbindung mit § 2 Abs. 1 Nr. 4 EnergieStG)<sup>[8]</sup> jeweils zum angegebenen Datum:

- 1. August 2006 47,04 ct/l minus 47,04 ct/l = 0,00 ct/l
- 1. Januar 2008 47,04 ct/l minus 38,89 ct/l = 8,15 ct/l
- 1. Januar 2009 47,04 ct/l minus 30,49 ct/l = 16,55 ct/l
- 1. Januar 2010 47,04 ct/l minus 22,09 ct/l = 24,95 ct/l
- 1. Januar 2011 47,04 ct/l minus 14,74 ct/l = 32,30 ct/l
- 1. Januar 2012 47,04 ct/l minus 2,14 ct/l = 44,90 ct/l

Die steuerliche Entlastung wird ausschließlich auf den Stoff Rapsöl gewährt, der die Qualitätsnorm DIN V 51605 erfüllt. Alle anderen Pflanzenöle, die als Kraftstoff Verwendung finden, sind dem vollen Steuersatz unterworfen.

Biodiesel und Pflanzenöl zur Verwendung als Kraftstoff in der Landwirtschaft ist steuerfrei. Biodiesel und Pflanzenöl, die als Heizstoff verwendet werden, sind nach jetziger Rechtslage bis zum 31. Dezember 2009 steuerfrei (§ 50 Abs. 1 EnergieStG). Ab 2010 werden sie wie leichtes Heizöl nach § 2 Abs. 3 Nr. 1 in Verbindung mit Abs. 4 EnergieStG mit 6,135 Cent pro Liter besteuert.

## Qualitätsstandards

Die Eigenschaften des Pflanzenöls unterscheiden sich, je nachdem aus welcher Pflanze sie gewonnen wurden. So ist Leindotteröl zum Beispiel länger flüssig als Rapsöl. Während für Dieselmotoren einheitliche Qualitätsstandards gewährleistet werden können, ist dies bei Pflanzenöl nicht so einfach. Es liegt nicht als genormte Flüssigkeit vor und es existiert noch kein großräumiger Markt, der sich auf eine zentrale Aufbereitung stützt und eine kontrollierte Vermischung der Öle unterschiedlicher Herkunft und damit konstante Qualität ermöglichen würde.

Um für das sehr häufig verwendete Rapsöl einheitliche Qualitätsstandards zu schaffen, hat als Richtwert am 23. Mai 2000 der „LTV-Arbeitskreis Dezentrale Pflanzenölgewinnung, Weihestephan“ einen „Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard)“ formuliert. Dieser wurde von der Norm DIN V 51605 *Rapsölkraftstoff* abgelöst:

Eigenschaften / Inhaltsstoffe	Einheit	Grenzwerte		Prüfverfahren
		min	max	
Dichte bei 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	900	930	DIN EN ISO 3675, DIN EN ISO 12185
Flammpunkt nach P.-M.	°C	220	-	DIN EN 2719
Heizwert	kJ/kg	36.000	-	DIN 51900-1, -2, -3
Kinematische Viskosität bei 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	-	36,0	DIN EN ISO 3104
Kälteverhalten	-	-	-	Rotationsviskosimetrie (Prüfbedingungen werden erarbeitet)
Zündwilligkeit (Cetanzahl)	-	39	-	(Prüfverfahren wird entwickelt)
Koksrückstand	Masse-%	-	0,40	DIN EN ISO 10370
Iod-Zahl	g/100 g	95	125	DIN EN 14111
Schwefelgehalt	mg/kg	-	10	DIN ISO 20884 / 20864
Gesamtverschmutzung	mg/kg	-	24	DIN EN 12662
Säurezahl	mg KOH/g	-	2,0	DIN EN 14104
Oxydationsstabilität bei 110 °C	h	6,0	-	DIN EN 14112
Phosphorgehalt	mg/kg	-	12	DIN EN 14107
Magnesium und Calcium	mg/kg	-	20	DIN EN 14538
Aschegehalt	Masse-%	-	0,01	DIN EN ISO 6245
Wassergehalt	Masse-%	-	0,075	DIN EN ISO 12937

Diese Werte stellen bisher eine Entwurfs-Norm dar

Der Volumenverbrauch und die Leistungscharakteristika sind bei beiden (Diesel und Rapsöl) Kraftstoffen annähernd gleich. Pflanzenöl verbrennt jedoch etwas „weicher“, da die Verbrennung langsamer abläuft. Als problematisch wird seitens der Motorenhersteller der Koksrückstand gesehen, wodurch es keine bzw. kaum Freigaben für Pflanzenöl gibt. Darüber hinaus neigt Pflanzenöl in Verbindung mit den Additiven des Motoröles zur Polymerisation, also Bildung von festen Verbindungen und Klumpen. Dies wird, insbesondere bei Kurzstreckenbetrieb, durch den unvermeidbaren Eintrag von unverbranntem Pflanzenöl über die Zylinderwand in das Motoröl hervorgerufen.

## Markt und Kosten

Allein in Deutschland gibt es nach einer neueren Schätzung des VCD rund 20.000 Fahrzeuge, die mit Pflanzenöl betrieben werden. An Pflanzenöltankstellen oder bei Ölmühlen liegt der Preis für reines Pflanzenöl inkl. Steueranteil meist auf ähnlichem Preisniveau wie Dieselmotorkraftstoff an regulären Tankstellen.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Kraftstoffen ist Rapsöl nur an wenigen hundert Tankstellen in Deutschland verfügbar<sup>[9]</sup>. Daneben gibt es viele Lieferanten und Ölmühlen, die Pflanzenöl in für die Betankung gängigen Mengen anbieten.

Das Tanken von Pflanzenöl aus 1-Liter-Flaschen des Einzelhandels ist überall möglich (Lebensmittel-Raffinade-Öl entspricht dem DIN-Entwurf-Standard), jedoch unkomfortabel. Weiterhin wäre man verpflichtet, die anfallenden Steuerabgaben nachträglich an das Finanzamt zu entrichten. Viele Pflanzenölfahrer betreiben daher einen Vorratsbehälter mit Pumpe auf einem Privatgrundstück (Hoftankstelle). Eine übliche Größe ist etwa 1 m<sup>3</sup>. Kleine Vorrattanks sind zum Teil schon für rund 50 Euro erhältlich.

Für landwirtschaftliche Erzeuger ist Rapsöl preiswerter als Agrardiesel. Im Jahre 2001 ist ein mit 5,6 Mio. DM vom Verbraucherschutz-Ministerium gefördertes „100-Traktoren-Programm“ gestartet worden: Insgesamt 111 Ackerschlepper verschiedener Hersteller, deren Motoren dem technologischen Stand der Abgasnormen EURO I und EURO II entsprechen, wurden auf Pflanzenöl-Betrieb umgerüstet, um Erfahrungen zu sammeln. Das Projekt lief von April 2001 bis Oktober 2005 und wurde vom Institut für Energie- und Umwelttechnik der Universität Rostock betreut.

Die Kosten (inkl. MwSt.) für eine Umrüstung betragen je nach Methode von 360 € (1-Tank) bzw. 1.500 € (2-Tank) bis 4.000 € pro Motor bzw. Fahrzeug oder stationärem Aggregat. Für Selbsteinbauer sind Sets ab 260 € (1-Tank) bzw. 600 € (2-Tank) erhältlich. In einigen Regionen werden auch öffentliche Förderungen bis zur Hälfte der Nettoumbaukosten angeboten.

## Verfügbarkeit in Deutschland

Viele Lieferanten bieten Pflanzenöl in Großmengen an, die in heimischen Tanks zwischenlagerfähig sind. Die Betankung mit Pflanzenöl vom Lebensmittel-Einzelhandel (Salatölflaschen) ist zwar möglich, aber unbequem und bedingt durch die kleinen Verpackungseinheiten auch sehr abfallintensiv. Zudem haben einige Supermarktketten eine Höchstabgabemenge eingeführt. Spontanbedarf kann durch normalen Diesel von der Tankstelle gedeckt werden. Pflanzenöl kann von Landwirten mit Hilfe von kleineren günstigen Ölpresen zu erschwinglichen Kosten dezentral erzeugt werden. Wegen der ab 2008 stark ansteigenden Steuerlast auf Pflanzenöl als Kraftstoff in Deutschland ist zu erwarten, dass die Erzeugung von Pflanzenöl für Landwirte deutlich unattraktiver wird und damit die Zahl der Tankmöglichkeiten schnell abnimmt. Bei der Filtration der Pflanzenöle zu Kraftstoffqualität sind heute günstige und hochwertige Filteranlagen am Markt.

## Umweltwirkungen

Die Nutzung von Pflanzenölen als Kraftstoff hat ökologische Vor- und Nachteile, die nicht immer gegeneinander aufgerechnet werden können. Das deutsche Umweltbundesamt (UBA) meinte im Jahr 1999: *„Aus Sicht des Umweltschutzes und aus ökonomischen Gründen ist eine Förderung des Einsatzes von Rapsöl und RME im Kraftstoffbereich auch weiterhin NICHT zu befürworten.“* (Lit.: Kraus u. a., S. 21). Im März 2007 heißt es im Internet-Auftritt des UBA zum Stichwort „Biodiesel“ dagegen: *„Biodiesel oder der Anbau von Raps kann einen kleinen Beitrag zur Schonung fossiler Energieressourcen und zum Klimaschutz leisten.“*

## Klimaschutz

Die Nutzung von Pflanzenölen als Kraftstoff ist nicht CO<sub>2</sub>-neutral im erweiterten Sinne. Zwar wird bei der Verbrennung nur die Menge CO<sub>2</sub> freigesetzt, die die Pflanzen vorher durch Photosynthese aus der Atmosphäre entnommen haben. Es wird jedoch bei der Produktion (Pressen) selbst ein meist geringer Prozentsatz an Strom oder mineralischem Kraftstoff verbraucht, und damit wird genau genommen auch eine geringfügige Menge Kohlendioxid freigesetzt.

Der Einsatz von naturnah produzierten Energieträgern führt großräumig und langfristig gesehen zu einer geringeren CO<sub>2</sub>-Belastung im Vergleich zum Erdöl. Das bei der Verbrennung entstehende Kohlendioxid wird von den nachwachsenden Erzeugerpflanzen wieder aufgenommen und in neue Energie umgesetzt.

Die Energiebilanz bei der Herstellung pflanzlicher Öle wird u. a. von Poel-Tec dargestellt<sup>[10]</sup>. Demnach ist der Faktor  $k = \frac{\text{Energieertrag}}{\text{Energieaufwand}} = \frac{37\text{MJ/kg}}{16\text{MJ/kg}} = 2,31$  für PÖL günstiger als der von Biodiesel (~1,48), aber

ungünstiger als von konventionellen Kraftstoffen, der bei ~8,6 liegt. 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. Bei Pflanzenöl und Biodiesel wird im Gegenzug die Strahlungsenergie der Sonne vernachlässigt, die aber sowieso vorhanden und praktisch unerschöpflich ist.

## Ressourcenschutz

In Hinblick auf die sich erschöpfenden fossilen Ressourcen erlangen in Zukunft Rohstoffe für die Energiebereitstellung als auch für die chemische Industrie, die verstärkt von der Landwirtschaft erzeugt werden, eine größere Bedeutung. Auch die Mineralölkonzerne berücksichtigen diese Entwicklung und investieren in entsprechende Forschungen.

## Gewässerschutz

Die Gefahr einer Verunreinigung der Gewässer (einschließlich Grundwasser) ist bei Pflanzenöl nicht so groß wie bei herkömmlichen Kraftstoffen auf Erdölbasis. Ob Pflanzenöl, das nicht als Lebensmittel oder Futtermittel verwendet wird, als wassergefährdend gilt, hängt von der Zusammensetzung ab. Der Hauptbestand von Pflanzenölen ist mit der Kenn-Nr. 760 im Anhang 1 der Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe (VwVwS) aufgeführt und damit „nicht wassergefährdend“: Triglyceride (technisch unbehandelt oder hydriert; Fettsäurerest gesättigt und ungesättigt, mit geradzahligem, unverzweigter C-Kette und C-Zahl  $\geq 8$ ). Da Pflanzenöl kein Reinstoff, sondern ein Stoffgemisch darstellt, gilt die Mischungsregel der VwVwS. Danach dürfen z. B. Komponenten der Wassergefährdungsklasse 1 nur zu unter 3 % enthalten sein, damit der Stoff als „nicht wassergefährdend“ eingestuft wird. Daher kann je nach Pflanzenart und Ölgewinnungsverfahren das Öl wassergefährdend sein, wenn es zu viel Triglyceride mit kurzkettigen Fettsäuren, zu viel freie Fettsäuren (soweit diese nicht der Kenn-Nr. 661 im Anhang 1 der VwVwS entsprechen) oder andere Störstoffe enthält.<sup>[11]</sup> Zum Thema „Wassergefährdung durch biogene Öle“ hat das Umweltbundesamt im Juni 2007 ein Fachgespräch durchgeführt. Daraufhin hat die Kommission zur Bewertung wassergefährdender Stoffe, die die Bundesregierung berät, festgestellt, dass biogene Öle als schwach wassergefährdend in die WGK 1 einzustufen sind, soweit keine weiteren Gefährdungseigenschaften auftreten.<sup>[12]</sup>

Auch ein Naturstoff kann Flüsse, Seen und Grundwasser schädigen. So verlangt § 5<sup>[13]</sup> Wasserhaushaltsgesetz „die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine nachteilige Veränderung der Gewässereigenschaften zu vermeiden“. Eine Einstufung als „nicht wassergefährdend“ bedeutet lediglich, dass die besonderen Anforderungen von § 62<sup>[14]</sup> und § 63<sup>[15]</sup> Wasserhaushaltsgesetz sowie die danach erlassenen Verordnungen nicht greifen.

## Brandschutz

Die Brandgefahr ist gegenüber Dieselöl oder Heizöl EL, gering, da es wegen des Flammpunktes von 220 °C (siehe Kapitel Qualitätsstandard weiter unten) bei Normaltemperatur nicht entflammbar ist und keine explosiven Gas/Luft-Gemische bilden kann.

## Flächenbedarf

Das Umweltbundesamt lehnt in einem aktuellen (1. September 2006) Bericht<sup>[16]</sup> die Herstellung von Biodiesel ab und stellt fest:

*„Potenzial Biodiesel: Wegen der beschränkten Ackerflächen kann, mit in Deutschland angebaute Raps, maximal etwa 5 Prozent des im Verkehrssektors benötigten Dieselmotorkraftstoffes ersetzt und 1 bis 4 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 Dieselmotormenge.“*

Um den theoretischen Flächenbedarf zur Erzeugung des Kraftstoffs Pflanzenöl zu berechnen, wird der Energieaufwand zum Nettoenergieertrag hinzugezählt:

$$\text{Gesamtenergieertrag} = \text{Nettoenergieertrag} + \text{Energieaufwand} = \text{Nettoenergieertrag} \cdot \frac{k}{k-1}$$

Für einen Nettoenergieertrag von 1 und  $k=2,31$  ist also  $2,31/1,31=1,76$  an Gesamtenergie aufzuwenden. Dieser Faktor ist wichtig um zu errechnen, welche Fläche zur Energieerzeugung tatsächlich benötigt wird. Man muss also  $1,76 \text{ m}^2$  Ackerfläche bestellen, um auf einem Quadratmeter Energie für eine andere Verwendung, als die Energieerzeugung durch die Landwirtschaft, der Volkswirtschaft zur Verfügung zu stellen. Weitere Einzelheiten zum Flächenbedarf können unter dem Stichwort Biodiesel gefunden werden.

## Agrar- und regionalpolitische Wirkungen

Pflanzenöl-Kraftstoff kann nahe dem landwirtschaftlichen Erzeuger mit relativ einfachen Mitteln auch von kleinen Ölmühlen hergestellt werden. Bei verstärkter Nachfrage bietet sich die Rekultivierung stillgelegter Agrarflächen an. Der Transportweg vom Erzeuger zum Verbraucher ist vergleichsweise kurz. Selbst das Nebenprodukt der Erzeugung, der Öl- oder Presskuchen, ist als hochwertiger Eiweiß- und Energieträger als Tierfutter verwendbar.

## Differenzierte Wirkung der Anbaumethoden

Eine zentrale Bedeutung sowohl für die ökologische Bilanz als auch für die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Pflanzenöl ist die Anbauform. Man kann hier zwischen zwei Arten unterscheiden:

- Anbau in Monokultur mit mineralischen Düngemitteln
- Anbau in Mischkultur mit biologischen Düngemitteln

Die meisten wissenschaftlichen Argumente (wie das Gutachten des UBA) basieren auf der Annahme, dass die notwendigen Pflanzenölmengen ausschließlich in intensiver Landwirtschaft durch Rapsanbau in Monokulturen mit hohem Düngemittel- und Pestizideinsatz erfolgen kann.

Der Öffentlichkeit weniger bekannt sind seit 1997 in Bayern laufende Versuche mit Mischfruchtanbau in biologischer Landwirtschaft<sup>[17]</sup>. Man versteht darunter den Anbau eines Gemisches verschiedener Feldfrüchte auf dem gleichen Feld zur gleichen Zeit. Wenn dabei Blattpflanzen mit Halmfrüchten, Tiefwurzler mit Flachwurzlern oder Pflanzen mit verschiedenen Nährstoffbedürfnissen gemeinsam auf einem Feld wachsen, ergänzen sie sich gegenseitig. So ist ein günstiger Effekt für Leindotter oder Raps mit Erbsen, Weizen oder Gerste nachgewiesen worden. Der Mischanbau benötigt hier weniger Dünger (die Erbsen liefern den Stickstoff) und macht den Einsatz von Herbiziden gegen Unkraut unnötig. Bei Getreide wurde aufgrund des geringeren Unkrautdrucks der gleiche

Flächenertrag mit einem höherwertigen Korn mit einem zusätzlichen Ertrag von ca. 80 bis 150 Liter Pflanzenöl pro Hektar erzielt.

Kern des biologischen Ansatzes ist die weitgehende Nutzung aller Ressourcen. Aufgrund der gegenseitigen Begünstigung der Pflanzen kann neben Pestiziden auch weitgehend auf Düngung verzichtet werden. Die Sortierung der Feldfrüchte erfolgt direkt in der Erntemaschine. Übrig gebliebenes Pflanzenmaterial kann als Grundlage für Faserwerkstoffe dienen oder als Biomasse zu Energie verarbeitet werden. Der aus dem Öl gewonnene Presskuchen kann als Tierfutter weiterverwendet werden und kann dann schließlich als Gülle zur Biogaserzeugung genutzt werden. Die ausgefaulten Rückstände können dann ebenfalls als Dünger wieder ausgebracht werden. Die Befürworter weisen hier darauf hin, dass der Anbau von Ölpflanzen deren stofflich und energetisch wertvollen Nebenprodukte nicht einfach ausklammern darf. Unter dieser ganzheitlichen Betrachtungsweise werde die Überlegenheit moderner Bio-Technik gegenüber Mineralöl-Produkten deutlich.<sup>[18]</sup>

Eine weitere Möglichkeit bestünde laut den Befürwortern im extensiven Anbau von Erucasäure-reichem Naturraps, der als Kraftstoff besser geeignet sei als der momentan angebaute Erucasäure-frei gezüchtete Raps (sog. OO-Sorten, die als Züchtungsziel die Erzeugung eines guten Speiseöls haben).

Es wird weiterhin von Befürwortern eingewandt, dass in der Diskussion andere Ölpflanzensorten, die extensiv in Deutschland anbaufähig wären wie Sonnenblume, Ölräuke, Ölrettich, Ackersenf, Rübsen, Leindotter, Öllein oder Hanf, zu wenig in Betracht gezogen werden.

## Literatur

- Katja Kraus, Guido Niklas, Matthias Trappe: *Aktuelle Bewertung des Einsatzes von Rapsöl/RME im Vergleich zu Dieselmotorkraftstoff*. Texte. Umweltbundesamt, Berlin 79.1999, ISSN 0722-186X<sup>[19]</sup>
- N. Makowski, D. Brand: *Mischanbau von Leindotter und Erbsen ist attraktiv*.<sup>[20]</sup> Institut für Energie- und Umwelttechnik München. unveröff. Ms. 2000 (pdf).
- Biokraftstoffe; Basisdaten Deutschland; Stand: Januar 2008<sup>[21]</sup> (PDF-Datei; 563 kB)
- M. Winkler: *DEUTZ Motoren für den Rapsölbetrieb*. DEUTZ AG, 2008 [22]

## Weblinks

- Biokraftstoffe; Basisdaten Deutschland; Stand: Januar 2008<sup>[21]</sup> (PDF-Datei; 563 kB)
- Emissionen von Biodiesel und Pflanzenölen im Vergleich<sup>[23]</sup> Präsentation (pdf; 1,45 MB)
- <http://www.poel-tec.com><sup>[24]</sup> Infoportal für Pflanzenöle als Treibstoff
- <http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/ArchTox.pdf><sup>[25]</sup> (engl.; PDF-Datei; 177 kB)
- Treibstoff aus Palmöl und die Auswirkungen für die Umwelt<sup>[26]</sup>
- Bio im Tank – Chancen, Risiken, Nebenwirkungen<sup>[27]</sup> (Reader zu einer Fachtagung 2005)
- [[Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung<sup>[28]</sup> für Pflanzenöle]
- Abgasmessung bei Verbrennung von Pflanzenöl<sup>[29]</sup>
- Informationsportal für Alternative Kraftstoffe<sup>[30]</sup>

## Referenzen

- [1] Basisdaten Deutschland; Stand: Januar 2008 ([http://www.bio-kraftstoffe.info/index.php?id=1208&idtitel=174&idkat=1800&pflanzen=0&verarbeitung=0&gruppen=0&titelsuche=;](http://www.bio-kraftstoffe.info/index.php?id=1208&idtitel=174&idkat=1800&pflanzen=0&verarbeitung=0&gruppen=0&titelsuche=))
- [2] DIN V 51605 Kraftstoffe für pflanzenöлтаugliche Motoren - Rapsölkraftstoff - Anforderungen und Prüfverfahren
- [3] Futtermittelverordnung Anlage 5 ([http://bundesrecht.juris.de/futtmv\\_1981/anlage\\_5\\_77.html](http://bundesrecht.juris.de/futtmv_1981/anlage_5_77.html))
- [4] Raiffeisen: *Sicherheitsdatenblätter* (<http://www.raiffeisen.com/SDB>)
- [5] BGFA: (<http://www.bgfa.ruhr-uni-bochum.de/forschung/DME.php?vepr=1>). In: *Genotoxizität von partikulären Dieselmotoremissionen*. 12, 2006.
- [6] Ergebnisse des Rapsöl-Betriebs eines LKW-Motors (PDF-Dokument) ([http://www.fal.de/cIn\\_045/nm\\_792590/SharedDocs/07\\_\\_TB/DE/Downloads/panorama\\_\\_07-2006.templateId=raw.property=publicationFile.pdf/panorama\\_07-2006.pdf](http://www.fal.de/cIn_045/nm_792590/SharedDocs/07__TB/DE/Downloads/panorama__07-2006.templateId=raw.property=publicationFile.pdf/panorama_07-2006.pdf))
- [7] Mutagenität, Ruß, biogener und fossiler Kraftstoffe, Ames Test, bioltec, bifa (<http://www.bifa.de/index.php?id=113&show=detail&cid=80&mod=1&n=PrÄ¼fungen zur MutagenitÄ¼t von RuÄ¼ aus der Verbrennung biogener und fossiler Kraftstoffe>)

Untersuchungsbedingungen: Zur Prüfung des Abgasverhaltens von Dieselmotoren, sowie der Messung der Abgasbestandteile und deren krebserregender Wirkung wurde auf dem Prüfstand eines der namhaften Mineralölkonzerne ein LKW neuester Bauart nach der aktuell härtesten Abgasnorm EURO 5 mit Diesel und genormtem Pflanzenkraftstoff untersucht (ESC-13-Stufen-Test). Die Abgase wurden neutral vom bifa mit Hilfe des international standardisierten AMES-Tests nach der OECD-Guideline 471 analysiert. Dabei werden die Abgasbestandteile gesammelt und deren erbgutverändernde Wirkung an Salmonellen-Stämmen untersucht. Für das Kraftstoffmanagement kam ein System Typ „ultimate“ der Firma bioltec evolv-ram GmbH zum Einsatz. Dieses ermittelt vollautomatisch den Betriebszustand des Motors und führt ihm den optimalen Kraftstoff bzw. Kraftstoffgemisch zu.

- [8] Besteuerung für Treibstoffe ([http://www.mittlerer-niederrhein.ihk.de/download/merkblaetter/recht\\_fair\\_play/biodiesel.pdf](http://www.mittlerer-niederrhein.ihk.de/download/merkblaetter/recht_fair_play/biodiesel.pdf)) Abrufdatum 4. April 2008
- [9] <http://www.rerorust.com>
- [10] Poel-Tec: *Diesel-Rapsöl-Biodiesel-Vergleich – Ökobilanz* (<http://poel-tec.com/kraftstoff/vergleich.php>) Seite vom 9. September 2006
- [11] Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe (VwVwS) vom 17. Mai 1999 und Änderungsverwaltungsvorschrift vom 27. Juli 2005
- [12] Stellungnahme KBwS zu biogenen Ölen (<http://www.umweltbundesamt.de/wgs/fg-biogene-oele-stellungnahme.htm>)
- [13] [http://bundesrecht.juris.de/whg\\_2009/\\_5.html](http://bundesrecht.juris.de/whg_2009/_5.html)
- [14] [http://bundesrecht.juris.de/whg\\_2009/\\_62.html](http://bundesrecht.juris.de/whg_2009/_62.html)
- [15] [http://bundesrecht.juris.de/whg\\_2009/\\_63.html](http://bundesrecht.juris.de/whg_2009/_63.html)
- [16] Stellungnahme des Umweltbundesamtes (<http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/alternative-kraftstoffe/biodiesel/biodiesel.htm>) zu Biodiesel
- [17] IG Mischfruchtanbau (<http://www.mischfruchtanbau.de/>)
- [18] Ernst Schrimpf: *Pflanzenöle – ökologisch nicht sinnvoll?* (<http://www.sfv.de/lokal/mails/wvf/stimmung.htm>) Kommentar zu negativen BUA Gutachten bzgl. PÖL, 1. Januar 2003]
- [19] <http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=0722-186X>
- [20] [http://www.pflanzenoel-motor.de/projekte\\_koop/erbsemisch.pdf](http://www.pflanzenoel-motor.de/projekte_koop/erbsemisch.pdf)
- [21] [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_174-basisdaten\\_biokraftstoff-freigabe.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174-basisdaten_biokraftstoff-freigabe.pdf)
- [22] [http://www.ppo-eu.org/3000/DEUTZ\\_Motoren\\_Biokraftstoffe.pdf](http://www.ppo-eu.org/3000/DEUTZ_Motoren_Biokraftstoffe.pdf)
- [23] <http://www.bgfa.ruhr-uni-bochum.de/pdf/Rapsoemissionen.pdf>
- [24] <http://www.poel-tec.com>
- [25] <http://www.bv-pflanzenoel.de/pdf/ArchTox.pdf>
- [26] <http://www.regenwald.org/regenwaldreport.php?artid=185>
- [27] [http://www.boell.de/de/04\\_thema/3612.html](http://www.boell.de/de/04_thema/3612.html)
- [28] <http://www.biomassestrom-nachhaltigkeitsverordnung.de>
- [29] <http://www.bioltec.de/index.php?hp=66>
- [30] <http://www.kraftstoffe-zukunft.de>

# Pflanzenöle

**Pflanzenöle** (*pflanzliche Öle*) sind aus Ölpflanzen gewonne *Fette und fette Öle*. Ausgangsstoffe zur Herstellung von Pflanzenöl sind Ölsaaten und -früchte in denen das Öl in Form von Lipiden vorliegt. Chemisch sind Pflanzenöle und Fette Ester des Glycerols mit Fettsäuren, häufig mit drei Fettsäuren, sogenannte Triglyceride. Als Pflanzenfett werden pflanzliche Öle bezeichnet, die bei Zimmertemperatur fest sind. Bei den ebenfalls aus Pflanzen gewonnenen ätherischen Öle handelt es sich nicht um Pflanzenöle. Im Gegensatz zu Pflanzenölen hinterlassen diese beim Trocknen auf Papier keine Fettflecken.

## Herstellung und Eigenschaften

Produkt	Rauchpunkt °C
kaltgepresstes Avocadoöl	261
gehärtetes Erdnussöl	230
Palmkernfett	220
raffinierte Öle	> 200
kaltgepresstes Rapsöl	130–190
kaltgepresstes Olivenöl	130–190

Pflanzenöle werden durch Auspressen und Extrahieren von Ölfrüchten und -saaten gewonnen. Die Herstellung von Pflanzenölen wird im Artikel Ölmühle beschrieben. Pflanzenöle enthalten oft einen höheren Anteil an ungesättigten Fettsäuren als tierische Fette und galten daher lange Zeit als gesünder. Allerdings wird diese These inzwischen von vielen Studien infrage gestellt (siehe auch Cholesterin).

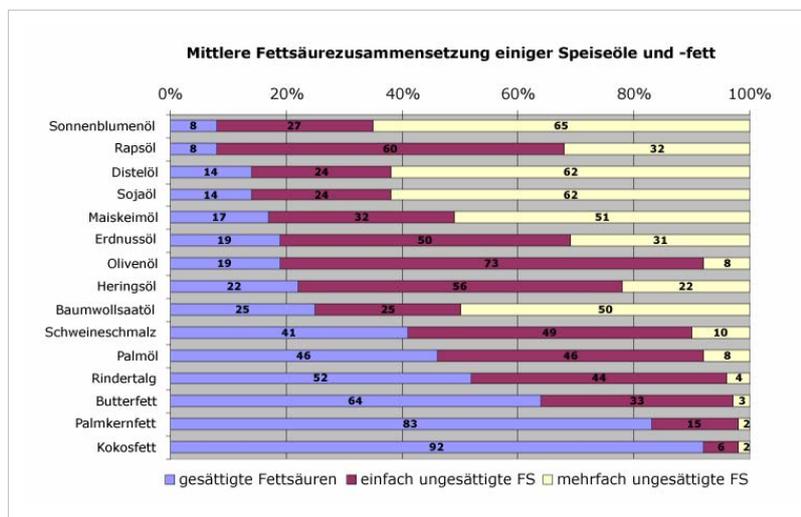
Die Pflanzenöle unterscheiden sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Zusammensetzung in einer Vielfalt von Eigenschaften. Ein Beispiel hierfür ist der Rauchpunkt, der spezifisch für die Pflanzenölsorte ist und bei einigen häufigen Arten zwischen 130 und über 200°C liegt.

Nach dem Anteil an ungesättigten Fettsäuren unterscheidet man zwischen nichttrocknenden (Bsp. Olivenöl), halbtrocknenden (Bsp. Soja- oder Rapsöl) und trocknenden Pflanzenölen (Bsp. Lein- oder Mohnöl). Der Begriff ‚Trocknung‘ bezeichnet hierbei nicht Verdunstung, sondern das durch Oxidation und Polymerisation der ungesättigten Fettsäuren bedingte Festwerden (Verharzen) des Öls.

## Zusammensetzung

Die folgende Tabelle und die Abbildung zeigen die Anteile verschiedener Fettsäuren in pflanzlichen Fetten in Prozent, in Klammern jeweils die Anzahl der C-Atome sowie gegebenenfalls der Doppelbindungen im Molekül (C-Atome:Doppelbind.).

	Capryls. (8), Caprins. (10), Laurins. (12)	Myristins. (14)	Palmitins. (16)	Stearins. (18)	Arachins. (20)	Behens. (22)	Öls. (18:1)	Linols. (18:2)	Linolens. (18:3α)	Gamma-Linolens. (18:3γ)	(20:1,2)
Distelöl			6,9	2,1			10,4	79			
Erdnussöl			10	3	1,5	3	41	35,5			1
Hanföl			6,6	2,4			10,4	57,8	17,4	2,5	
Kokosnussfett	61	18	9	2,5			7	2,5			
Kürbiskernöl			16	5			24	54	0,5		
Leinöl			6,5	3,5			18	14	58		
Maisöl			10,5	2,5	0,5		32,5	52	1		
Mohnöl			9,5	2			10,5	76	1		
Nachtkerzenöl			7	1,9			7,2	71,1		10,4	
Olivenöl			11,5	2,5	0,5		75,5	7,5	1		
Palmkernöl	57	16	8	2,5			14	2,5			
Palmöl		1	43,8	5	0,5		39	10			
Rapsöl			4	1,5	0,5		63	20	9		1
Sesamöl			8,5	4,5	0,5		42	44,5			
Sonnenblumenöl			6,2	5			19,9	66,8			
Traubenkernöl			7,3	3,3			24,8	63			
Walnussöl			8	2	1		16	59	12		
Weizenkeimöl			17	1			20	52	10		



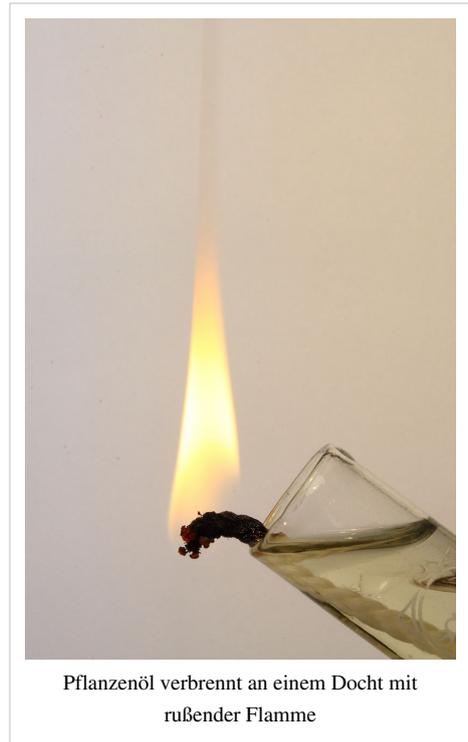
## Verwendung

Pflanzenöle finden vielfältige Verwendung. So unter anderem als

- Nahrungsmittel (z. B. Salatöl, Margarine)
- Kosmetikrohstoff
- Grundstoff für die chemische Industrie (Oleochemie)
- Grundstoff für die Herstellung von Ölfarben und Firnisse
- Biogener Schmierstoff
- Kraftstoff (Pflanzenöl-Kraftstoff oder, nach Weiterverarbeitung, Biodiesel oder Hydriertes Pflanzenöl)
- Brennstoff in Pflanzenölbrennern, Pflanzenölkochern oder Öllampen

## Sorten nach Herkunftspflanze

- Açaíöl
- Algenöl
- Aprikosenkernöl oder Marillenkernöl (aus dem Aprikosenkern – also der Mandel des Aprikosensteins – der Aprikose bzw. Marille)
- Arganöl (aus den Früchten des Arganbaums)
- Avocadoöl (aus dem Fruchtfleisch der Avocado des Avocadobaums)
- Babaçuöl
- Baumwollsaamenöl (aus den Samen der Baumwollpflanze)
- Borretschöl oder Borretschsaamenöl (aus den Samen der Borretschpflanze)
- Cashew-Schalenöl
- Cupuaçu-Butter
- Distelöl (auch ‚Safloröl‘ genannt, aus den Samen der Färberdistel oder *Carthamus*)
- Schwarzkümmelöl (aus den Samen der Fruchtkapsel der Schwarzkümmelpflanze)
- Erdnussöl (aus der Frucht der Erdnusspflanze)
- Hagebuttenkernöl aus den Samen der Rose (vor allem aus chilenischen Wildheckenrose) gewonnen
- Hanföl (aus den Samen des Hanfs)
- Haselnussöl (aus den Haselnüssen des Haselnussbusches)
- Jatrophaöl (aus den Samen der Purgiernuss (*Jatropha curcas*))
- Jojobaöl (eigentlich ein flüssiges Wachs; aus den Samen des Jojobastrauchs)
- Kakaobutter
- Kamelienöl aus den Samen der Kamelien
- Kokosöl (aus dem Samenfleisch der Kokosnuss, der Baumfrucht der Kokospalme)
- Kürbiskernöl (bes. in Österreich auch einfach als ‚Kernöl‘ bezeichnet; aus den Samenkernen des Steirischen Ölkürbis)
- Leindotteröl (aus den Samen des Leindotters, Familie der Kreuzblütengewächse)
- Leinöl (aus den reifen Leinsamen des Lein)
- Macadamiaöl (aus den Nüssen des Macadamiabaums)
- Maiskeimöl (aus den Keimen der Maissaat)
- Mandelöl (aus den Mandeln des Mandelbaums)
- Mangobutter (aus *Mangifera indica*)
- Mohnöl (aus den Samenkörnern des Mohns)



Pflanzenöl verbrennt an einem Docht mit rußender Flamme

- Nachtkerzenöl
- Olivenöl (aus dem Fruchtfleisch und dem Kern der Olive, der Frucht des Olivenbaums)
- Palmöl (aus dem Fruchtfleisch der Palmfrucht, der Frucht der Ölpalme)
- Palmkernöl (aus den Kernen der Palmfrucht, der Frucht der Ölpalme)
- Palmöl (aus dem Fruchtfleisch der Palmfrucht, der Frucht der Ölpalme)
- Papayasamenöl
- Pekannussöl
- Perillaöl aus den Samen der der *Perilla*-Pflanze (Shiso, Sesamblatt)
- Pistazienöl
- Rapsöl (aus dem Samen von Raps, Familie der Kreuzblütengewächse)
- Reisöl
- Rizinusöl (aus dem Samen des Wunderbaums)
- Sanddornkernöl (aus den Kernen der Sanddornbeere, der Frucht des Sanddornstrauches)
- Sanddornöl (aus dem Fruchtfleisch der Sanddornbeere, der Frucht des Sanddornstrauches)
- Senföl (aus den Samenkörnern des Schwarzen Senfs)
- Sesamöl (aus den Samen der Sesampflanze)
- Sheabutter (aus den Samen des Sheanussbaums)
- Sojaöl (aus den Bohnen der Sojabohne)
- Sonnenblumenöl (aus den Kernen der Sonnenblume)
- Traubenkernöl (aus den Kernen der Früchte (Weintraube) der Weinpflanze bzw. Weinrebe)
- Tungöl
- Walnussöl (aus den Kernen der Nüsse des Walnussbaums)
- Wassermelonensamenöl
- Weizenkeimöl (aus den Keimen des Weizens)

## Siehe auch

- Ölertrag

## Literatur

- Sven Geitmann: *Erneuerbare Energien und alternative Kraftstoffe*. Hydrogeit, Kremmen 2005 (2. Aufl.), ISBN 3-937863-05-2
- Anne Iburg: *DuMonts kleines Lexikon Essig & Öl. Herkunft, Geschmack, Verwendung, Rezepte*. Nebel(DuMOnt), Köln 2004, ISBN 3-89555-201-1
- Reiner Schmid: *Ölwechsel für Ihren Körper. Gesund, vital und schön mit naturbelassenen Ölen*. Verlag Ernährung & Gesundheit, Inning am Ammersee, 3. Auflage 2007, ISBN 978-3-927676-16-9
- Sabine Pohl: *Das Ölbuch – Pflanzenöle kompakt erklärt*. Selbstvertrieb champol ohg.

## Weblinks

- Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaft <sup>[1]</sup>
- Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland <sup>[8]</sup>
- Pflanzliche Öle in der Hautpflege <sup>[2]</sup> Hintergrundinformationen zu Ölen, Fettsäurespektren, Begleitstoffen, Jodzahlen und Tipps zu ihrer kosmetisch sinnvollen Kombination
- The Truth About Biofuels in America <sup>[3]</sup>

## Referenzen

[1] <http://www.dgfett.de/>

[2] [http://www.olionatura.de/\\_oele/index.php](http://www.olionatura.de/_oele/index.php)

[3] [http://www.youtube.com/watch?v=Hoy50APLi\\_w](http://www.youtube.com/watch?v=Hoy50APLi_w)

# Pflanzenölkocher

---

Ein **Pflanzenölkocher** ist ein mobiler Kocher zur Nahrungszubereitung, der Pflanzenöl als Brennstoff verwendet. Verwendet werden Pflanzenölkocher bisher vor allem in Entwicklungsländern, wo sie das Kochen und Garen von Lebensmitteln auf wenig energieeffizienten Herden mit fossilen Brennstoffen, mit Holz oder Holzkohle ablösen sollen.

## Funktionsweise

Der Kocher besteht aus einem Brennstofftank, einer Luftpumpe und einem Brenner, der in das Kochergestell eingebaut ist. Tank und Kochergestell sind durch einen Schlauch verbunden. Der Tank wird mit Pflanzenöl gefüllt. Der Brenner wird mit einer kleinen Menge Alkohol vorgeheizt. Mit einer Luftpumpe wird der Tank auf einen Druck von etwa 3 bar gebracht. Durch den Luftdruck im Tank steigt das Öl in den Vergaser, der im Brenner angebracht ist. Unter Hitzeeinwirkung verwandelt sich das Öl in einen gasförmigen Brennstoff, der aus einer Düse austritt, sich mit der Umgebungsluft vermischt und mit einer blauen, sauberen Flamme brennt. <sup>[1]</sup>

## Verbreitung

Ein Kochermodell mit dem Namen "Protos" wurde von der BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH in Zusammenarbeit mit der Universität Hohenheim sowie der philippinischen Leyte State University entwickelt. Diese Entwicklung soll vornehmlich in Regionen der Erde hergestellt und vermarktet werden, in denen Pflanzenöl als Ersatz für herkömmlich Heizstoffe (z.B. Holz) einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Versorgung der Bevölkerung mit Brennmaterialien leisten kann. Ein Modellprojekt mit Kokosöl auf der philippinischen Insel Leyte verlief erfolgreich, weitere Pilotprojekte finden in Indien, Indonesien und Westafrika statt. Für verschiedene Pflanzenöle (Rapsöle, Jatrophaöl) optimierte Modelle und Verfahren sind in der Entwicklung. <sup>[2]</sup>

## Vorteile

Verglichen mit den sonst in den Zielregionen verbreiteten Brennstoffen und Kochern oder Herden stellt der Einsatz moderner Pflanzenölkocher eine energiesparende und umweltfreundliche Alternative dar. Der Brennstoff Pflanzenöl kann häufig vor Ort hergestellt und kostengünstig abgegeben werden. Durch die Nutzung des nachwachsenden Rohstoffs Pflanzenöl kann eine ausgeglichene CO<sub>2</sub>-Bilanz erzielt werden.

Insbesondere in Entwicklungsländern ist auch der Ersatz des ebenfalls nachwachsenden Rohstoffs Holz (direkt oder als Holzkohle genutzt) sinnvoll. Durch die intensive und nicht nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder zerstört die Bevölkerung mittel- und langfristig ihren eigenen Lebensraum. So nimmt mit den schrumpfenden Waldgebieten die Artenvielfalt ab, und wichtige Biotope gehen verloren. Zudem entsteht bei der traditionellen Verwendung von Holz mit offener Flamme gesundheitsschädlicher Rauch mit erheblichen Folgen für die Bevölkerung wie z. B. Atemwegserkrankungen und Vergiftungen.

## Alternativen

Neben dem Pflanzenölkocher existieren weitere Ansätze, um die Energienutzung im Bereich der Lebensmittelzubereitung in Entwicklungsländern zu verbessern. So gibt es Projekte zur Verbreitung effizienter Holzkohleherde, die vor Ort erstellt werden können<sup>[3]</sup>. Solarthermie als Energiequelle nutzen Solarkocher und Sonnendörrier, während Solarkochkisten die Eigenwärme einmal erhitzter Speisen halten. Spirituskocher setzen auf Ethanol biologischer oder technischer Herkunft, während mobile Gaskocher in der Regel mit Propan oder Butan betrieben werden, die derzeit aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden.

## Weblinks

- Pflanzenölkocher Proton auf der Webseite des Herstellers<sup>[4]</sup>
- Beschreibung des Prototyps der Universität Hohenheim<sup>[5]</sup> (PDF-Datei)
- Akzeptanz und Widerstände bei der Einführung<sup>[6]</sup> – brand eins 6/2008 (PDF-Datei; 818 kB)

## Referenzen

- [1] Protos User Manual (engl.) (<http://www.bsh-group.com/index.php?download=1682&file=2217356571>), BOSCH AND SIEMENS Home Appliances Group, abgerufen am 04.09.08
- [2] Technische Weiterentwicklung und Brennstoffoptimierung (<http://www.uni-hohenheim.de/1597.html?typo3state=allProjects&person=4368>), Universität Hohenheim, abgerufen am 11.12.2008
- [3] Frank Räther: Biomasse auf kleiner Flamme. (<http://www.gtz.de/de/dokumente/de-biomasse-malawi-gtz-akzente-2006.pdf>) In: Akzente - aus der Arbeit der GTZ; Nr. 3/2006.
- [4] <http://www.pflanzenoelkocher.de/>
- [5] <http://www.dbfg.de/pflanzenoelkocher.pdf>
- [6] [http://www.brandeins.de/ximages/864159\\_148b10608h.pdf](http://www.brandeins.de/ximages/864159_148b10608h.pdf)

# Pflanzenzüchtung

Ziel der **Pflanzenzüchtung** ist die genetische Veränderung von Pflanzenpopulationen zur Verbesserung erwünschter Eigenschaften. Sie beruht auf der wiederholten Auslese oder Kreuzung und nachfolgender wiederholter Auslese von Pflanzen und der anschließenden Vermehrung der Tochterpflanzen.

## Ziele

Ziele der Pflanzenzüchtung im Nutzpflanzenbereich sind vor allem:

- Ertragssteigerung
  - Steigerung des Flächenertrages
  - „Low-input“-Pflanzen für die Bioenergiegewinnung und ökonomisch effektive Nutzung von Mitteltragslagen
- Qualitätsverbesserung
  - Elimination unerwünschter Inhaltsstoffe (z.B. Bitterstoffe und giftige Inhaltsstoffe)
  - Verbesserung des Geschmacks und der Haltbarkeit (v.a. Obst und Gemüse)
  - bessere Fettsäurezusammensetzung (Rapsöl, Sonnenblumenöl) für die Nutzung als Nahrungsmittel oder die technische Nutzung als nachwachsender Rohstoff
  - Verbesserung der Stärkezusammensetzung bsp. bei Kartoffeln und Getreide für technische Anwendungen (Stärke als nachwachsender Rohstoff)
  - Steigerung des Vitamingehalts (z.B. Vitamin E in Rapsöl)
  - höhere Wertigkeit des Eiweiß' für Futterpflanzen
  - Verbesserung struktureller Komponenten (z.B. Faserqualitäten bei Nutzhanf und Lein)
- Umwelttoleranzen/-resistenzen
  - Anpassung an neue Umgebungssituationen (Kühltoleranz, Salztoleranz, Trockentoleranz)
  - höhere Schädlingsresistenzen, -toleranzen und Krankheitsresistenzen



Durch Züchtung entstandene Maissorten

Bei Zierpflanzen, liegt die Gewichtung ebenfalls in der Verbesserung der Schädlings- und Krankheitsresistenzen, aber vor allem auf der Selektion farblich oder morphologisch besonders ansprechender Merkmale. Letztere haben auch eine wesentliche Bedeutung bei direkt zu vermarktendem Gemüse (Weißkohl, ...).

## Klassische Züchtungsmethoden

### Auslesezüchtung/Selektionszüchtung

Die Auslesezüchtung fängt mit dem Anbau von Genotypengemischen (vorh. genetische Linien, auch Wildpflanzen) an. Aus dem nach gemeinsamer Abblüte erzeugten Saatgut werden Pflanzen mit vorteilhaften Eigenschaften ausgewählt (Zuchtwahl, Massenauslese). Oft folgt eine erneute gemeinsame Abblüte dieser Pflanzen. Schließlich werden Saaten der besten Pflanzen isoliert vermehrt. Nach mehrfacher Wiederholung des Vorgangs und weiterer Auslese bleiben fast reinerbige (homozygote) Pflanzen mit gewünschten Eigenschaften übrig.

Die Auslesezüchtung stellt die älteste Form der Züchtung dar. Es gibt:

- die negative Massenauslese: „Schlechte“ Pflanzen werden von der weiteren Vermehrung ausgeschlossen.
- die positive Massenauslese: Dem Zuchtziel entsprechende Pflanzen werden ausgelesen und weiter vermehrt.
- Kombinationen von positiver und negativer Auslese

Generell führt, ist ein Idealtyp erreicht, dessen Vermehrung bei vegetativer Vermehrung (Klone, Zellkulturen etc.) besonders schnell zum Ziel (Bsp. Kartoffel).

Der Übergang zur Kombinationszüchtung ist hier fließend. Bei Selbstbefruchtern (Gerste, Bohne, Erbse...) sind statt gemeinsamer Abblüte auch Kreuzungen von Hand erforderlich. Sind geeignete Pflanzen erzeugt worden, führt dieses Verfahren dann schnell zum Zuchtziel.

Statt gemeinsamer Abblüte werden auch bei Fremdbefruchtern (Roggen, Mais...) Blütenstände künstlich befruchtet, später werden nur Saaten von Pflanzen mit bestem Ertrag und/oder bester Qualität weiterverwendet.

### **Kombinationszüchtung**

Die Kombinationszüchtung ist eine Kreuzung verschiedener Genotypen (Linien). Es entsteht ein neuer Genotyp (F1). Die Eltern werden so in einem Genotyp vereinigt. Das Zusammenwirken dieser Gene führt zu neuen Phänotypen. Aus den Einzelkreuzungen werden nur die erfolgversprechendsten ausgelesen. Es können erwünschte Merkmale verstärkt und unerwünschte zurückgedrängt werden. Da die Kreuzungen spätestens in der nächsten Generation wieder (F2) aufspalten, ist nach weiteren Auslesezyklen (F3, F4, ...) zur Saatgutproduktion zudem eine Erhaltungszüchtung erforderlich.

In Deutschland gibt es ca. 90 Zuchtprogramme für landwirtschaftliche Kulturarten (z. B. Raps, Weizen, Mais, Zuckerrübe etc.). Beim Bundessortenamt in Hannover waren im Jahr 2004 mehr als 2700 verschiedene Sorten eingetragen.

### **Heterosiszüchtung**

In der Heterosiszüchtung werden bei Fremdbefruchtern (Mais, Roggen...) in mehrjähriger Züchtung aus heterozygoten Ausgangspflanzen nahezu homozygote Inzuchtlinien gezüchtet. Kreuzt man zwei solche Linien, tritt bei der F1 Generation oft eine auffallende Mehrleistung gegenüber der Elternformen auf. Dies nennt man „Heterosis-Effekt“ (Luxurieren der Bastarde). Bei Getreide kann man u. a. einen höheren Kornertrag erzüchten, bei anderen Pflanzen und bei Tieren vor allem eine höhere Resistenz vor Krankheiten und bei Hühnern bessere Legeleistung.

Bei Nachkommen der F1-Generation (F2, ...) treten wieder die weniger guten Eigenschaften der Inzuchtlinien auf, da sie genetisch entsprechend der Spaltungsregel (Mendel) aufspalten. Die vorteilhaften Eigenschaften treten also nur in der F1-Generation auf.

### **Hybridzüchtung**

Die Hybridzüchtung ist ein Beispiel für Heterosiszüchtung, zur Erzielung einer hohen markt- oder betriebsgerechten pflanzlichen Produktion durch Bastardwüchsigkeit. So werden bei der Hybridzüchtung geeignete, gesondert gezüchtete Inzuchtlinien einmalig miteinander gekreuzt (Einfachhybride). Denn die Nachkommen der ersten Generation haben gegenüber der Elterngeneration ein üppigeres Wachstum (Heterosiseffekt), daher wird durch ihre Kreuzung eine gesteigerte Leistung erzielt. Zudem findet eine Kombination der gewünschten Eigenschaft der Ausgangs-Inzuchtlinien statt.

Für den Landwirt bedeutet dies jedoch, dass das Saatgut jedes Jahr wieder neu bezogen werden muss, da der Heterosiseffekt nur in der ersten Generation nach der Kreuzung auftritt und danach wieder verloren geht.

Bei Roggen werden in einigen Fällen zu Hybridsaatgut 10 % Populationssaatgut zur Sicherstellung der Bestäubung beigemischt.

## Mutationszüchtung

Bei der Mutationszüchtung werden Samen Röntgen- oder Neutronenstrahlen, Kälte- und Wärmeschocks oder anderen Mutagenen ausgesetzt<sup>[1]</sup> um neue Eigenschaften durch Mutation zu erzielen, die einen positiven Effekt aufweisen. Nur ein sehr kleiner Teil der Mutanten ist für die Weiterzucht Erfolg versprechend, da die meisten Defekte zeigen und unbrauchbar sind. Die so mutierten Pflanzen müssen mit leistungsfähigen Zuchtlinien zurückgekreuzt werden, um die neue, positive Eigenschaft in diese zu überführen.<sup>[2]</sup> Obwohl in der Mutationszüchtung die Erbinformation unkontrollierter verändert wird als mit der Gentechnik, ist sie im Gegensatz zu dieser in der Öffentlichkeit weniger bekannt. Sie unterliegt dabei keiner gesetzlichen Regulierung, da sie im Prinzip nur eine gezielte Steigerung der natürlichen Mutationsfrequenz darstellt. Diese tritt ohnehin in der Natur auf und ist die Grundlage der Evolution.

## Züchtung mit Hilfe der Gentechnik

### Präzisionszucht

*Mehr im Hauptartikel Präzisionszucht*

Bei der Präzisionszucht wird bei Auswahl der Pflanzen, die miteinander gekreuzt werden, sich nicht mehr nur auf äußere Merkmale verlassen. Das Erbgut wird genau analysiert, um danach die passenden Kreuzungspartner auszuwählen.

Die Präzisionszucht basiert auf der gleichen Labortechnik wie die grüne Gentechnik, mit einem wichtigen Unterschied: Den Pflanzen werden am Ende keine artfremden Gene in die DNA eingebaut, so entstehen keine transgenen Organismen.

Eine wichtige Einschränkung dieser Technik ist, dass die gewünschten Gene bereits in einem Kreuzungspartner existieren müssen um sie heranzüchten zu können.

Ein wichtiger Unterschied zur klassischen Züchtung ist der zum Teil enorme Zeitvorteil.

### Agrobacterium tumefaciens

Gentechnischer Gentransfer in Pflanzen geschieht durch *Agrobacterium tumefaciens* oder durch Übertragung von DNA mit Hilfe sog. „particle gun“. Das *Agrobacterium tumefaciens* besitzt ein TI-Plasmid (TI = Tumor Inducing), in das das gewünschte Gen, das in die Pflanze übertragen werden soll, integriert wird. Das *Agrobacterium tumefaciens* kann die Pflanze an entsprechenden Wundstellen infizieren und das Gen in das Genom der Pflanzenzelle übertragen. Bei der Übertragung von DNA mit der „particle gun“ wird die zu übertragende DNA an Gold- oder Wolframpartikel gebunden. Diese Partikel werden mit einer großen Geschwindigkeit auf Pflanzengewebe/Zellen geschleudert, so dass sie in die Zellen eindringen ohne sie zu zerstören. In den Zellen löst sich die an die Partikel gebundene DNA und kann sich in das Genom der Pflanzenzelle integrieren.

Mit Hilfe der Gentechnik können somit gezielt bestimmte Eigenschaften (z. B. Krankheitsresistenzen, verbesserte Vitamingehalte etc.) in Pflanzen übertragen werden, die durch klassische Züchtung nur schwer (z. B. nur sehr langfristig) oder gar nicht übertragbar sind.

## Bedeutende Pflanzenzüchter

- Georg Arends (1863–1952), Deutschland
- Ernst Benary (1819–1893), Deutschland
- Vincenz Berger (1883–1974), Deutschland
- Norman Ernest Borlaug (1914–2009), USA
- Eduard von Boguslawski (1905–1999), Deutschland
- Luther Burbank (1849–1926), USA
- Rudolf Carsten, Deutschland (1880–1954)
- Gerhard Fischbeck (\* 1925), Deutschland
- Karl Foerster (1874–1970), Deutschland
- Kartz von Kameke-Streckenthin (1866–1942), Deutschland
- Ferdinand von Lochow (1849–1924), Deutschland
- Iwan Wladimirowitsch Mitschurin (1855–1935), Russland
- Peter Ruckenbauer (\* 1939), Österreich
- Thomas Scharnagel (1880–1953), Deutschland
- F. Wolfgang Schnell (1913–2006), Deutschland <sup>[3]</sup>
- Walter Schuster (\* 1918), Deutschland
- Reinhold von Sengbusch (1898–1985) Deutschland
- Yuan Longping (\* 1930) China

Rosenzüchter: siehe Rosenzüchtung

## Siehe auch

- Züchtung
- Smart Breeding
- Genetik
- Rosenzüchtung
- Saatzucht
- Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter

## Literatur

- Erwin Baur: *Die wissenschaftlichen Grundlagen der Pflanzenzüchtung, ein Lehrbuch für Landwirte, Gärtner und Forstleute*. Verlag Gebrüder Borntraeger, Berlin 1921
- Wulf Diepenbrock, Jens Léon und Frank Ellmer: *Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Grundwissen Bachelor*. Reihe UTB Uni-Taschenbücher, Band 2629, Ulmer 2005, ISBN 978-3-8252-2629-9
- Gerhard Fischbeck, Werner Plarre und Walter Schuster (Hrsg.): *Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen*. Band 2, Spezieller Teil. Zweite, neubearbeitete Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin 1985
- Wolfgang Friedt: *Bio- und gentechnische Pflanzenzüchtung – Hemmnisse, Grenzen und Perspektiven* <sup>[4]</sup>
- Wolfgang Friedt: *Pflanzenzüchtung Kontinuität und Wandel* <sup>[5]</sup>
- Noel Kingsbury: *Hybrid . The History and Science of Plant Breeding*, The University of Chicago Press, Chicago 2009 ISBN 9780226437040 auch als E-book: ISBN 9780226437057
- Hermann Kuckuck und Alois Mudra: *Lehrbuch der allgemeinen Pflanzenzüchtung*. Landwirtschaftliche Wissenschaft, Band 3, Hirzel-Verlag, Stuttgart 1950
- Kurt von Rümker: *Anleitung zur Getreidezüchtung auf wissenschaftlicher und praktischer Grundlage*. Parey, Berlin 1889

## Weblinks

- Glossar <sup>[6]</sup>
- Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter e.V. <sup>[7]</sup>
- Gesellschaft für Pflanzenzüchtung e.V. <sup>[8]</sup>
- Züchtungsmethodik Fremdbefruchter Vegetativ vermehrbare Arten <sup>[9]</sup> (PDF-Datei; 1,38 MB)

## Referenzen

- [1] Hanswerner Dellweg: *Biotechnologie verständlich* (<http://books.google.com/books?id=arJPTLlKsnoC&hl=de>). Springer, 1994, ISBN 3-540-56900-6, S. 106 und S. 197
- [2] Hans Günter Gassen und Michael Kemme: *Gentechnik. Die Wachstumsbranche der Zukunft*. Fischer Taschenbuch Verlag, 1996, ISBN 3-596-12291-0
- [3] Nachruf zu Wolfgang Schnell ([http://www.uni-hohenheim.de/aktuell/nachrufe/2006-12-29\\_schnell.htm](http://www.uni-hohenheim.de/aktuell/nachrufe/2006-12-29_schnell.htm))
- [4] <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2008/6384/pdf/Friedt-Bio-gentechnische.pdf>
- [5] <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2008/6364/pdf/Friedt-PflanzenzuechtungKontinuitaet.pdf>
- [6] <http://www.bdp-online.de/Vorlesung/Glossar.htm>
- [7] <http://www.bdp-online.de>
- [8] <http://www.gpz-online.de>
- [9] [http://www.uni-giessen.de/~gh1262/pz/pdfs/BP33\\_Fremd\\_Hybrid\\_SS2006.pdf](http://www.uni-giessen.de/~gh1262/pz/pdfs/BP33_Fremd_Hybrid_SS2006.pdf)

# Phytopharmakon

---

Ein **Phytopharmakon** (griechisch *φυτόν* *phyton* (Pflanze) und *φάρμακον* *pharmakon* (Arzneimittel)) ist ein in der Phytotherapie verwendetes Fertigarzneimittel, dessen wirksame Bestandteile ausschließlich pflanzlicher Herkunft sind. Ein Phytopharmakon besteht aus einem oder mehreren pflanzlichen Wirkstoffen, wobei die pflanzlichen Wirkstoffe zumeist selbst Vielstoffgemische verschiedener Pflanzeninhaltsstoffe sind.<sup>[1]</sup>

## Einteilung

Phytopharmaka können anhand der Art ihrer Verwendung klassifiziert werden. Liegen für die Anwendung rationale, wissenschaftlich überprüfbare Daten, beispielsweise aus klinischen Studien zugrunde, spricht man von rationalen Phytopharmaka. Die Verwendung traditioneller Phytopharmaka hingegen basiert auf ihrer langjährigen Anwendung. Alternative Phytopharmaka sind Arzneimittel der Alternativmedizin, wie beispielsweise der Bach-Blütentherapie und der Hildegard-von-Bingen-Medizin. Zu den transkulturellen Phytopharmaka zählen beispielsweise Präparate der ayurvedischen Medizin und der traditionellen chinesischen Medizin. Homöopathische und anthroposophische Arzneimittel werden hingegen in der Regel nicht als Phytopharmaka angesehen. Eine Zuordnung homöopathischer Niedrigpotenzen oder Urtinkturen zu den Phytopharmaka wird wie auch die Einbeziehung von Naturstoffgemischen kontrovers diskutiert.<sup>[1]</sup>

## Zusammensetzung

Ein Phytopharmakon besteht aus einem oder mehreren Wirkstoffen im Sinne des Stoffbegriffs des Arzneimittelrechts. Diese bestehen in der Regel wiederum aus einem komplexen Gemisch aus verschiedenen Pflanzeninhaltsstoffen. Dabei kann zwischen Hauptinhaltsstoffen, Leitsubstanzen, Begleitstoffen und Gerüststoffen unterschieden werden. Hauptinhaltsstoffe sind die Pflanzeninhaltsstoffe, die einen wirkungsbestimmenden oder wirkungsmittelbestimmenden Charakter haben. Eindeutig wirkungsbestimmende Hauptinhaltsstoffe, wie beispielsweise die Anthranoide der Senneblätler, werden auch als Effektoren bezeichnet. Leitsubstanzen sind Pflanzeninhaltsstoffe, die in der Analytik zur phytochemischen Identifizierung genutzt werden. Begleitstoffe, auch Coeffektoren genannt, sind nicht unmittelbar an der Wirkung des Phytopharmakons beteiligt, können aber mittelbar,

beispielsweise über einen Einfluss auf die Pharmakokinetik, die Wirkung der Hauptinhaltsstoffe beeinflussen. Als Gerüststoffe werden Pflanzeninhaltsstoffe aus der zellulären oder extrazellulären Matrix bezeichnet, die für die Struktur und Stabilität der Pflanze verantwortlich waren.<sup>[1]</sup> Zusätzlich können Phytopharmaka auch nichtpflanzliche Hilfsstoffe beinhalten, die für die Herstellung eines Fertigarzneimittels von Bedeutung sind.

## Weblinks

- Internetpräsenz des Gesellschaft *Kooperation Phytopharmaka*<sup>[2]</sup>, Verein u. a. mit Mitgliedern aus der pharmazeutischen Industrie, mit wissenschaftlichen Aufgabenstellungen, inclusive einer Ratgeberseite für Verbraucher

## Siehe auch

- Heilpflanzenkunde
- Pflanzenheilkunde

## Referenzen

[1] Heinz Schilcher, Susanne Kammerer, Tankred Wegener: *Grundlegendes zur rationalen Phytotherapie*. In: *Leitfaden Phytotherapie*, 3, S. 1-30, Elsevier, Urban&FischerVerlag 2007, ISBN 3437553429

[2] <http://www.koop-phyto.org/ratgeber.php>

# Plastiktüte

**Kunststofftüten** (in Österreich: **Sackerl** oder **Plastiksackerl**, in Ostdeutschland häufig **Plastetüte** oder **Plastebeutel**) sind Tüten, die in der Regel aus Kunststofffolien, nämlich aus Polyethylen oder Polypropylen hergestellt werden. Als Alternativen existieren gleichwertige Tüten aus nachwachsenden Rohstoffen, in der Regel Mais- oder Kartoffelstärke oder Polylactide (PLA). Sie haben gegenüber Kunststofftüten den Vorteil, dass sie aus biogenen Rohstoffen bestehen und nach Gebrauch rückstandsfrei biologisch abgebaut werden.



Verschiedene Kunststofftüten

## Vorteil, Nutzen

Kunststofftüten zeichnen sich aus durch hohe Festigkeit und geringe Herstellungskosten. Sie sind wasser- und chemikalienbeständig. Sie lassen sich bei der Herstellung schweißen und sind so leicht zu verarbeiten. Für die Herstellung benötigt man nur wenige Chemikalien und eine geringe Energiemenge. Es entstehen nur geringe Emissionen bei der Produktion. Kunststofftüten haben ein geringes Gewicht und halten großen Belastungen stand. Bei vielen Kunststofftüten handelt es sich nicht immer um Einwegware. Die Tüten werden oft mehrfach verwendet und können anschließend recycelt werden.

Benutzt werden Kunststofftüten meist als Einkaufsbehälter zur Verpackung und für den Transport gekaufter Waren sowie als Müllbehälter, zum Beispiel als Gelber Sack zur Sammlung der mit dem Grünen Punkt versehenen Verpackungen.

Kunststofftüten dienen häufig als Werbeträger. In Deutschland sind sie meist mit farbigen Aufdrucken versehen, oftmals den Firmenlogos der entsprechenden Händler oder Produzenten. Als Symbole der Konsumgesellschaft können Kunststofftüten ironisierend als Accessoires benutzt oder gar als Basis für Designer-Accessoires genommen werden.

### Nachteil

Eine Kunststofftüte wird im Durchschnitt eine halbe Stunde lang benutzt. Nach ihrem Gebrauch bleibt sie etwa 100 bis 400 Jahre auf der Erde zurück. Selbst danach wird sie nicht vollständig biologisch abgebaut, sondern zerfällt nur in kleinere Teile.

Die Recyclingquote für Kunststofftüten ist deutlich geringer als die für Papiertüten. Kunststofftüten werden zum großen Teil aus Öl hergestellt, einem nicht nachwachsenden Rohstoff. Manche Tüten sind so dünn, dass man sie nur einmal verwenden kann. Sie halten kaum einer Belastung stand. Die aktuelle Forschung hat erwiesen, dass sich Papiertüten in Deponien in einem wesentlich schnelleren Tempo zersetzen, als Kunststofftüten.



Plastikmüllsack in Paris



Maschine zum Eintüten in einem Kaufhaus



Müllbeutel aus Biokunststoffen

## Gefahren für die Umwelt



Plastikmüll verschandelt die Landschaft

Die Plastiktüte belastet die Umwelt gleich mehrfach. Für die Herstellung wird Erdöl benötigt. Gelangt sie nach ihrem Gebrauch als Müll unkontrolliert in die Umwelt, verschandelt sie die Landschaft. Bei der Verbrennung werden giftige Stoffe wie Formaldehyd oder Phenole frei. Wird die Plastiktüte nicht verbrannt, bleibt das Problem ihrer Langlebigkeit.

Ein etwa drei Millionen Tonnen schwerer Müllstrudel hat sich zwischen Kalifornien und Hawaii gebildet. Angetrieben durch Wind und Strömungen dreht sich diese schwimmende Müllhalde in einem riesigen Wirbel auf dem Ozean. Dieser Wirbel ist etwa so groß wie Mitteleuropa. Auf ein Kilogramm Plankton kommen hier sechs Kilogramm Plastik. In mehreren weiteren Wirbeln im Südpazifik, im Atlantik und im Indischen Ozean gibt es weitere Plastikteppiche dieser Art, wenn auch mit geringeren Mengen<sup>[1] [2]</sup>. Selbst im Roten Meer sind viele Regionen von Plastikmüll übersät.

Meeresschildkröten verwechseln die Kunststofftüten oft mit Quallen und fressen sie. Vögel verschlucken unverdauliche Plastikteile und füttern sogar ihre Jungen damit. Jedes Jahr sterben Zehntausende Wale, Robben und Haie. Abgesunkene Kunststofftüten verfangen sich an Korallen. Sie nehmen ihnen das Licht, die Nahrung und töten die Korallen schließlich ab.

## Alternativen

Alternativen zu Kunststofftüten sind Einkaufsnetze, Bioplastiktüten, Papiertüten, Stofftaschen oder Einkaufskörbe. Der Ersatz von Kunststofftüten durch diese Alternativen wurde von der Umweltbewegung propagiert, die die Kunststofftüte zu einem Symbol der Wegwerfgesellschaft machte – bekannt geworden ist insbesondere der Slogan *"Jute statt Plastik!"*.

Seit einigen Jahren gibt es gleichwertige Tüten aus nachwachsenden Rohstoffen, in der Regel Mais- oder Kartoffelstärke oder Polymilchsäuren. Bei gleichen Gebrauchseigenschaften haben sie den Vorteil gegenüber Kunststofftüten, dass sie nach Gebrauch der Tüte rückstandsfrei biologisch abgebaut werden können. Bislang sind vor allem Abfallbeutel für Bioabfall auf dem Markt.



Einkaufsnetz

## Verkauf statt kostenloser Zugabe

Pro Jahr und Kopf werden in Deutschland statistisch 65 Einkaufstüten erzeugt und verwendet. Der Verwendungsumfang und die Wiederverwendungsrate ist individuell verschieden.

In deutschen Lebensmittel-Supermärkten war es früher üblich, dass jedem Käufer ohne Nachfrage eine oder mehrere Tüten zum Einkauf dazugelegt wurden, die in den meisten Fällen auch genutzt wurden. Diese Tatsache machte die Kunststofftüte zum Symbol für die Wegwerfgesellschaft und die Diskussion hierüber zeigte Wirkung. Inzwischen sind die Kunststofftüten meist kostenpflichtig und der Verbrauch ging drastisch zurück. Indes ist es in Frankreich, Spanien und Polen immer noch üblich, zu einem Lebensmittelkauf kostenlos Kunststofftüten zu bekommen. In den USA sind vielerorts henkellose Papiertüten im Gebrauch.

## **Kunststofftüten in verschiedenen Staaten**

### **Australien**

Australien will die Kunststofftüten 2008 mit einem Totalverbot abschaffen. Derzeit werden in Australien jährlich etwa 4 Milliarden Kunststofftüten verteilt<sup>[3]</sup>.

### **Bangladesch**

Kunststofftüten sind seit dem Jahr 2000 in Bangladesch komplett verboten. Sie verstopften während der Monsun-Zeit die Abwasserkanäle und erhöhten das Überschwemmungsrisiko.

### **Bhutan**

In Bhutan sind Kunststofftüten verboten.

### **China**

Ab dem 1. Juni 2008 ist es chinesischen Supermärkten, Kaufhäusern und Großhandelsmärkten verboten, Plastiktüten kostenlos abzugeben. Die ganz dünnen Tüten wurden total verboten. Mit dieser Anordnung soll der Plastikmüll und die daraus resultierende Verschmutzung reduziert werden. Bei Verstößen droht eine Strafe von bis zu 10 000 Yuan<sup>[4]</sup>. Statistiken zufolge werden in China täglich drei Milliarden Kunststofftüten verbraucht. Die Verbraucher wurden aufgefordert, wieder Stofftaschen und Körbe zu verwenden. Plastiktüten sollen nach dem Gebrauch gesammelt und recycelt werden<sup>[5]</sup>.

### **Frankreich**

In Paris trat 2007 ein Verbot von Kunststofftüten in Kraft. Ein landesweites Verbot soll es ab dem 1. Januar 2010 geben<sup>[6]</sup>.

### **Großbritannien**

Ab 2009 sollen Einkaufstüten in Großbritannien nicht mehr kostenlos abgegeben werden. Dabei ist es gleichgültig, ob es sich um Plastiktüten oder Papiertüten handelt<sup>[7]</sup>.

### **Irland**

Am 4. März 2002 hat die Republik Irland eine Steuer auf jede Plastiktüte von 0,15 € eingeführt. Dies führte zu einer 90% igen Verringerung der Verwendung von Plastiktüten und verstärkte den Einsatz von wiederverwendbaren Taschen. Der Erlös dieser Steuer wurde für Umweltprojekte verwendet. Viele Einzelhändler in Irland gaben ihren Kunden Papiertüten oder verzichteten einfach ganz auf Verpackung. Die meisten Supermärkte verwendeten weiterhin Plastiktüten. Nachdem die Steuer am 1. Juli 2007 auf 0,22 € erhöht wurde, stiegen viele Supermärkte auf wiederverwendbare Stofftüten oder wiederverwendbare, haltbare Plastiktüten um. Sie verkaufen diese Tüten für ca. 1,00 €<sup>[8] [9]</sup>.

## Kenia und Uganda

In Kenia und Uganda gilt für die dünnsten Tüten ein Verbot und für die übrigen eine erhöhte Besteuerung.<sup>[10]</sup>

## Papua-Neuguinea

Plastiktüten sind im Inselstaat Papua-Neuguinea seit 2003 offiziell verboten. Die Gründe dafür liegen in der zunehmenden Verschmutzung der Umwelt durch weggeworfene Plastiktüten und andere Kunststoffe<sup>[11]</sup>.

## Südafrika

In Südafrika dürfen Kunststofftüten von Einzelhändlern nicht mehr umsonst verteilt werden. Seit dem Jahr 2003 droht ihnen eine Geld- oder Gefängnisstrafe, wenn sie dagegen verstoßen.

## Tansania und Ruanda

In den ostafrikanischen Staaten Tansania und Ruanda sind Kunststofftüten verboten<sup>[12]</sup>. Bis zu sechs Monate Haft oder eine Geldstrafe von 2.000 Dollar drohen Umweltsündern beim Gebrauch von Kunststofftüten auf der tansanischen Insel Sansibar<sup>[13]</sup>.

## Türkei

Plastikeinkaufstaschen sind in der gesamten Türkei ein großes Umweltproblem. Derzeit verwendet jeder Türke im Durchschnitt 1,2 Beutel pro Tag, von denen viele nicht ordnungsgemäß entsorgt werden.

## Vereinigte Staaten

In San Francisco und Los Angeles wurden mittlerweile Kunststofftüten per Stadtratsbeschluss verboten. Allein im Jahr 2006 waren dort 180 Millionen Kunststofftüten verteilt worden.<sup>[14] [15]</sup>

## DDR

In der DDR waren westliche Kunststofftüten von offizieller Seite nicht immer gerne gesehen. Schüler wurden manchmal aufgefordert, die Tüte zu wenden, d. h. die Werbeaufschrift nach innen zu tragen.

## Siehe auch

- Biokunststoff
- Abfall
- Verwertung von Kunststoffabfällen
- Recycling

## Literatur

- Karin Bartl, Raimund Bartl, Volkmar Schnöke: *Plastiktüten. Kunst zum Tragen*. Fackelträger, Hannover 1986, ISBN 3-7716-1469-4 (Bildband)
- Susanne Gerber (Hrsg.): *Kunst.Stoff.Tüten. Plastic bags*. Ausstellungskatalog. Hatje Cantz, Ostfildern 2002, ISBN 3-7757-1203-8
- Heinz Schmidt-Bachem: *Tüten, Beutel, Tragetaschen. Zur Geschichte der Papier, Pappe und Folien verarbeitenden Industrie in Deutschland*. Waxmann, Münster, 2001, ISBN 3-8309-1037-1
- *Die Plastiktüte. Kunst im Alltag - Plastiktüten aus aller Welt*. Ausstellungskatalog. Oberpfälzer Volkskundemuseum, Burglengenfeld 1998

- Herbert Cerutti: *Sackstark. Statussymbol, Sexspielzeug, Umweltkiller – die Geschichte des Plasticsacks* <sup>[16]</sup>. NZZ Folio 11/2006
- Günther Berger: *Von der Papiertüte zum Plastiksack*. Blätter des Meidlinger Bezirksmuseums, Wien 2005, Heft 65.

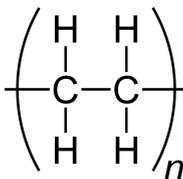
## Weblinks

- Dossier über Geschichte der Plastiktüte nebst Online-Ausstellung <sup>[17]</sup>
- Designeraccessoires aus Plastiktüten <sup>[18]</sup>

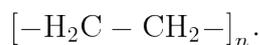
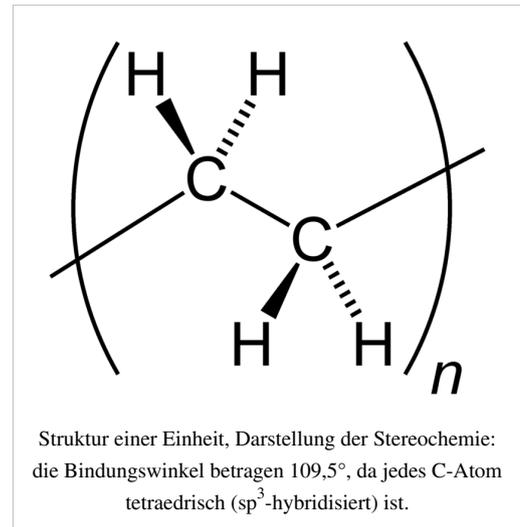
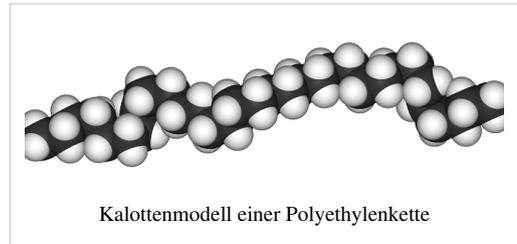
## Referenzen

- [1] <http://www.spiegel.de/spiegel/0,1518,533229,00.html>
- [2] [http://www.orf.at/080207-21500/?href=http%3A%2F%2Fwww.orf.at%2F080207-21500%2F21501txt\\_story.html](http://www.orf.at/080207-21500/?href=http%3A%2F%2Fwww.orf.at%2F080207-21500%2F21501txt_story.html)
- [3] <http://www.n-tv.de/901897.html>
- [4] [http://www.bjrunschau.com/nachrichten/txt/2008-06/02/content\\_124682.htm](http://www.bjrunschau.com/nachrichten/txt/2008-06/02/content_124682.htm)
- [5] <http://www.net-tribune.de/article/090108-147.php>
- [6] [http://www.welt.de/print-welt/article170703/Frankreich\\_Plastiktueten\\_verboten.html](http://www.welt.de/print-welt/article170703/Frankreich_Plastiktueten_verboten.html)
- [7] <http://www.readers-edition.de/2008/04/08/grossbritannien-will-keine-wegwerfgesellschaft-mehr-sein>
- [8] <http://www.cafebabel.com/ger/article/13544/kampf-dem-wilden-mull-in-irland.html>
- [9] [http://w3.upm-kymmene.com/upm/internet/cms/upmma.nsf/lupgraphics/KraftNews\\_1\\_06\\_de.pdf/\\$file/KraftNews\\_1\\_06\\_de.pdf](http://w3.upm-kymmene.com/upm/internet/cms/upmma.nsf/lupgraphics/KraftNews_1_06_de.pdf/$file/KraftNews_1_06_de.pdf)
- [10] BBC News: East African ban on plastics bags (<http://news.bbc.co.uk/2/hi/africa/6754127.stm>)
- [11] <http://www.pressext.at/pte.mc?pte=030204050>
- [12] <http://www.tagesspiegel.de/weltspiegel/Plastiktueten;art1117,2323477>
- [13] <http://www.pressext.at/pte.mc?pte=061114001&phrase=>
- [14] Badische Zeitung: *San Francisco verbietet Plastiktüten* (<http://www.badische-zeitung.de/nachrichten/welt/54,51-14405786.html>), 29. März 2007
- [15] <http://www.tagesschau.de/ausland/plastiktueten100.html> *Los Angeles: Alles außer Plastik*, 23. Juli 2008
- [16] <http://www.nzzfolio.ch/www/21b625ad-36bc-48ea-b615-1c30cd0b472d/showarticle/8138dc6b-e362-4990-9ca1-e305005771f6.aspx>
- [17] <http://www.kultura-extra.de/extra/feull/plastiktueten.html>
- [18] <http://www.tueta.com/>

# Polyethylen

Strukturformel			
			
Allgemeines			
Name	Polyethylen		
Andere Namen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polyethen</li> <li>• PE</li> </ul>		
CAS-Nummer	9002-88-4		
Art des Polymers	Thermoplast		
Kurzbeschreibung	Milchig-weiß		
Monomer			
Monomer	Ethen		
Summenformel	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>		
Molare Masse	28,05 g/mol		
Eigenschaften			
Typ	PE-LD	PE-HD	PE-LLD
Aggregatzustand	fest (teilkristallin)	fest (teilkristallin)	fest (teilkristallin)
Dichte	0,915–0,935 g/cm <sup>3</sup>	0,94–0,97 g/cm <sup>3</sup>	0,87–0,94 g/cm <sup>3</sup>
Schmelzpunkt	105–125 °C <sup>[1]</sup>	130–145 °C <sup>[2]</sup>	45–125 °C <sup>[1]</sup>
Kristallinität	40–50 %	60–80 %	10–50 %
Elastizitätsmodul	~200 N/mm <sup>2</sup> (23 °C)	~1000 N/mm <sup>2</sup> (23 °C)	60–600 N/mm <sup>2</sup> (23 °C)
Chemische Beständigkeit	bedingt beständig, außer starken Oxidationsmitteln <sup>[1]</sup>	beständig, außer starken Oxidationsmitteln <sup>[2]</sup>	bedingt beständig
Wärmeformbeständigkeit	80 °C	100 °C	30–90 °C
Thermischer Ausdehnungskoeffizient	1,7 · 10 <sup>-4</sup> K <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-4</sup> K <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-4</sup> K <sup>-1</sup>
Sicherheitshinweise			
Gefahrstoffkennzeichnung <sup>[3]</sup>			
<i>keine Gefahrensymbole</i>			
R- und S-Sätze	R: <i>keine R-Sätze</i>		
	S: <i>keine S-Sätze</i>		
<b>Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.</b>			

**Polyethylen** (Kurzzeichen **PE**, veraltet **Polyäthylen**, gelegentlich auch **Polyethen** genannt) ist ein durch Polymerisation von Ethen  $[CH_2 = CH_2]$  hergestellter thermoplastischer Kunststoff mit der vereinfachten Ketten-Strukturformel



Polyethylen gehört zur Gruppe der Polyolefine. Durch Substitution von Wasserstoff entstehen Polyvinyle, z. B. Polyvinylchlorid. Bekannte Handelsnamen sind: *Alathon*, *Dyneema*, *Hostalen*, *Lupolen*, *Polythen*, *Spectra*, *Trolen*, *Vestolen*. Hergestellt wird Polyethylen auf der Basis von petrochemisch erzeugtem Ethylengas, erste Verfahren zur Nutzung von biobasiertem Ethanol als Rohstoffbasis werden derzeit entwickelt und die erste industrielle Produktion soll 2011 starten.

## Historische Informationen

Polyethylen wurde im Jahre 1898 vom Chemiker Hans von Pechmann entdeckt und am 27. März 1933 erstmals durch Reginald Gibson und Eric Fawcett in den ICI-Laboratorien in England industriell unter einem Druck von ca. 1400 bar und einer Temperatur von  $170^\circ\text{C}$  hergestellt, wo es sich als weißer, wachsartiger Belag auf der Innenwand des Autoklaven bildete. Als Rohstoff nutzten die Wissenschaftler Ethanol.<sup>[4]</sup>

Erst 1940 konnte ein wirtschaftlich rentables Herstellungs-Verfahren entwickelt werden. 1953 entwickelten der Deutsche Karl Ziegler und der Italiener Giulio Natta den Ziegler-Natta-Katalysator, mit dessen Hilfe eine Polymerisation von Ethen auch bei Normaldruck möglich wurde. Dafür erhielten die Wissenschaftler 1963 den Nobelpreis für Chemie. Als moderne Alternative zu Ziegler-Natta-Katalysatoren zählen die Metallocenkatalysatoren. Diese waren bereits 1950 bekannt, der Durchbruch gelang allerdings erst 1973, als Reichert und Meyer geringe Mengen Wasser zu einem System aus Titanocen und Alkylaluminiumchlorid hinzufügten. Die Metallocenkatalysatoren erzeugen Polyethylen mit engeren Verteilungen der molaren Masse und gleichmäßigerem Co-Monomereinbau als die Ziegler-Natta-Katalysatoren. In den 1980er Jahren führten Kaminsky und Sinn weitgehende Untersuchungen zum System Metallocen/Methylaluminumoxan durch.

Kommerziell wird Polyethylen in großen Mengen seit 1957, vor allem in Rohrleitungssystemen für die Gas- und Wasserversorgung für Kabelisierungen und in Verpackungsmaterialien, etwa als Schrumpffolienverpackung,

eingesetzt.

## PE-Typen

Eigenschaft	PE-LD	PE-HD	PE-LLD
Spannung an der Streckgrenze in $\text{N/mm}^2$	8,0–10,0	20,0–30,0	10,0–30,0
Dehnung an der Streckgrenze in %	20	12	16
Dielektrizitätszahl	2,4	–	–

Man unterscheidet zwischen:

- PE-HD (HDPE): schwach verzweigte Polymerketten, daher hohe Dichte zwischen  $0,94 \text{ g/cm}^3$  und  $0,97 \text{ g/cm}^3$ , („HD“ steht für „high density“).
- PE-LD (LDPE): stark verzweigte Polymerketten, daher geringe Dichte zwischen  $0,915 \text{ g/cm}^3$  und  $0,935 \text{ g/cm}^3$ , („LD“ steht für „low density“).
- PE-LLD (LLDPE): lineares Polyethylen niedriger Dichte, dessen Polymermolekül nur kurze Verzweigungen aufweist. Diese Verzweigungen werden durch Copolymerisation von Ethen und höheren  $\alpha$ -Olefinen (typischerweise Buten, Hexen oder Octen) hergestellt („LLD“ steht für „linear low density“).
- PE-HMW: hochmolekulares Polyethylen. Die Polymerketten sind länger als bei PE-HD, PE-LD oder PE-LLD, die mittlere Molmasse liegt bei 500–1000 kg/mol.
- PE-UHMW: ultrahochmolekulares Polyethylen mit einer mittleren Molmasse von bis zu 6000 kg/mol und einer Dichte von  $0,93\text{--}0,94 \text{ g/cm}^3$  („UHMW“ steht für „ultra high molecular weight“).

## Eigenschaften

Ungefärbtes Polyethylen ist milchig-trüb und matt. Es fühlt sich wachsartig an und ist mit dem Fingernagel ritzbar. Es brennt mit tropfender, heller Flamme und brennt auch weiter, wenn man die Flamme entfernt. Das Brandabgas riecht ähnlich dem einer Wachskerzenflamme. Chemisch besteht es aus Wasserstoff und Kohlenstoff in Form hochmolekularer Alkane. Die Eigenschaften von Polyethylen lassen sich durch geeignete Copolymerisation gezielt ändern. Polyethylen besitzt eine hohe Beständigkeit gegen Säuren, Laugen und weitere Chemikalien.

Polyethylen ist teilkristallin. Durch höhere Kristallinität erhöhen sich die Dichte und auch die mechanische und chemische Stabilität.

Polyethylen nimmt kaum Wasser auf, es schwimmt auf Wasser. Die Gas- und Wasserdampfdurchlässigkeit (nur polare Gase) ist niedriger als bei den meisten Kunststoffen; Sauerstoff, Kohlendioxid und Aromastoffe lässt es hingegen gut durch.

Die Verwendbarkeit wird dadurch eingeschränkt, dass es bei Temperaturen von über  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  erweicht (HDPE, niederkristalline Typen erweichen früher). Polyethylen ohne geeignete Vorbehandlung ist nicht oder nur schlecht zu bedrucken oder zu kleben. Durch Sonneneinstrahlung kann PE verspröden, meist wird Ruß als UV-Stabilisator eingesetzt.

## Eigenschaften im Überblick

- niedrige Dichte (0,87–0,965 g/cm<sup>3</sup>)
- hohe Zähigkeit und Bruchdehnung
- gutes Gleitverhalten, geringer Verschleiß (v. a. PE-UHMW)
- Temperaturbeständigkeit von –85 °C bis +90 °C (hängt von Kristallinität ab, je niedriger desto weniger beständig gegen hohe Temperaturen. Bei Typen mit einer Kristallinität von ca. 20 % ist die obere Grenze der Temperaturbeständigkeit bei 30–50 °C)
- optisch, milchig weiß (opak), je niedriger die Kristallinität (und damit die Dichte) desto durchsichtiger. Unterhalb einer Dichte von 0,9 g/cm<sup>3</sup> ist PE durchsichtig.
- sehr gutes elektrisches und dielektrisches Verhalten (spezifischer Durchgangswiderstand ca. 10<sup>18</sup> Ohm/cm)
- sehr geringe Wasseraufnahme
- sehr gut spanabhebend und spanlos zu verarbeiten
- brennt gut; rückstandsfrei: CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O als Verbrennungsprodukte
- PE ist beständig gegen fast alle polaren Lösungsmittel (T < 60 °C), Säuren, Laugen, Wasser, Alkohole, Öl, PE-HD auch gegen Benzin
- bei Raumtemperatur unlöslich, bei erhöhter Temperatur nur in wenigen Lösungsmitteln löslich, z. B. in 1,2,4-Trichlorbenzol, in Xylol oder in Hexan

## Fügen von Teilen aus PE

Da die meisten Kunststoffkleber mit Hilfe von Lösungsmitteln (z. B. Aceton) den Kunststoff „anlösen“, funktionieren sie meist nicht mit Polyethylen. Außerdem verhindert die unpolare hydrophobe Oberfläche dies, was auch das Bedrucken von PE stark erschwert. Nach einer Behandlung mit Laser, Plasma (Hochdruckplasma („Corona“) oder Niederdruckplasma) oder starken Säuren (z.B. Chromschwefelsäure) lässt sich PE jedoch verkleben und bedrucken.

Gebrochene Teile aus Polyethylen lassen sich dagegen besser mit einem regelbaren Heißluftgebläse verschweißen.

In der Gasversorgung werden Rohre aus PE-80, PE-100 und PE-X ausschließlich über die Heizwendelschweißtechnik, bzw. PE-80 und PE-100 bei größeren Durchmessern (> DN 200) auch mittels der Heizelementstumpfschweißtechnik (Spiegelschweißen) verbunden. In der Trinkwasserversorgung ist auch eine Verbindung mittels Steckfittingen weit verbreitet.

## Herstellung

### Konventionelle Herstellung

Polyethylen wird durch Polymerisation von petrochemisch erzeugtem Ethylengas hergestellt. Im *Hochdruckverfahren* entsteht Weich-Polyethylen (PE-LD), im *Niederdruckverfahren* entsteht das Hart-Polyethylen (PE-HD). Bei beiden Herstellungsverfahren fällt es zunächst als zähe Flüssigkeit an. Werden im Niederdruckverfahren geträgerte (heterogene) Katalysatoren eingesetzt, fällt das Polyethylen in Form fester Körner an. Industriell werden fast ausschließlich geträgerte Katalysatoren (Gasphasen- und Slurryverfahren) eingesetzt.

Gelöste Katalysatoren werden meist zu Versuchszwecken in chemischen Laboren verwendet, hierbei fällt das Produkt als zähe Lösung oder auch als Pulver (bei hohen Molmassen) an.

- PE-LD wird bei Drücken von 1500 bis 3500 bar und Temperaturen von 100 °C bis 300 °C unter Einsatz von Initiatoren (Radikalstarter) (Sauerstoff oder Peroxide) aus dem Monomer Ethen hergestellt.



Herstellungsanlage für Polyethylen in Norwegen

- PE-HD und PE-LLD wird industriell nach dem Ziegler-Natta-Verfahren produziert. Kennzeichnend sind bei diesem Verfahren der geringe Druck (1 bis 50 bar) und die niedrige Temperatur (20 °C bis 150 °C). Als Katalysatoren werden Titanester, Titanhalogenide und Aluminiumalkyle verwendet. Alternativ erhält man PE-HD auch mit dem Phillips-Verfahren mit Chromoxidkatalysatoren bei Temperaturen von 85–180 °C und Drücken von 30–45 bar.
- PE-UHMW ist mit modifizierten Ziegler-Katalysatoren herstellbar.

Seit einigen Jahren sind auch Single-Site-Katalysatoren (auch Metallocen-Katalysatoren genannt) in der Anwendung, die gegenüber Ziegler-Natta-Katalysatoren den Vorteil einer besseren Kontrolle der Reaktion und geringerem Aufreinigungsbedarf nach der Synthese aufweisen

### Biobasierte Herstellung

Zur Zeit der ersten großtechnischen Polyethylen-Synthesen der Imperial Chemical Industries war petrochemisch hergestelltes Ethylen noch nicht in größeren Mengen verfügbar. Das nötige Ethylen wurde statt dessen aus Ethanol gewonnen.<sup>[4]</sup>

Mit dem in Brasilien in großen Mengen produzierten Bioethanol wird dieses Verfahren heute wieder attraktiv, das brasilianische Unternehmen Braskem baut derzeit eine Anlage mit einer Jahreskapazität von 200.000 t, mit der Polyethylen auf der Basis von fermentativ produziertem Bioethanol hergestellt werden kann und welches nach Aussagen des Herstellers die gleiche chemische Zusammensetzung und damit die gleichen Eigenschaften und Nutzungsmöglichkeiten wie das konventionelle Polyethylen hat.<sup>[5] [6]</sup>

### Vernetzung

PE-Makromoleküle lassen sich dreidimensional vernetzen. Durch die Vernetzung verbessert sich die Temperaturbeständigkeit des Materials. Außerdem erhöhen sich die Schlagzähigkeit und die Spannungsrissbeständigkeit. Die Vernetzung erfolgt während der Verarbeitung oder im Anschluss daran. Vernetztes Polyethylen wird als PE-X bezeichnet. Es gibt vier verschiedene Vernetzungsverfahren:

- Peroxid-Vernetzung (PE-Xa)
- Silan-Vernetzung (PE-Xb)
- Strahlen-Vernetzung (PE-Xc)
- Azo-Vernetzung (PE-Xd)

### Anwendungsgebiete

Polyethylen ist mit einem Anteil von ca. 29 Prozent der weltweit am meisten produzierte Kunststoff. Im Jahr 2001 wurden 52 Millionen Tonnen hergestellt.

- PE-LD und PE-LLD: das Material wird vor allem in der Folienproduktion eingesetzt. Typische Produkte sind Müllsäcke, Schrumpffolien und Landwirtschaftsfolien. In geringem Umfang wird PE-LD und PE-LLD auch zur Herstellung von Kabelummantelungen, als Dielektrikum in Koaxialkabeln und für Rohre und Hohlkörper verwendet.
- PE-HD: wichtigstes Anwendungsgebiet sind im Blasformverfahren hergestellte Hohlkörper, beispielsweise Flaschen für

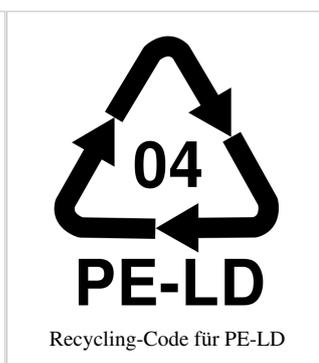
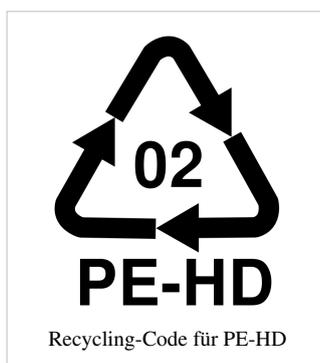


Reinigungsmittel im Haushalt, aber auch großvolumige Behälter mit einem Fassungsvermögen von bis zu 1000 l (so genannte IBC). Über 8 Millionen Tonnen, also fast ein Drittel der weltweit produzierten Menge, wurden im Jahr 2007 für dieses Anwendungsgebiet verwendet. Vor allem China, wo erst 2005 Getränkeflaschen aus HDPE eingeführt wurden, ist wegen seines steigenden Lebensstandards ein wachsender Absatzmarkt für starre HDPE-Verpackungen.<sup>[7]</sup> Außerdem wird PE-HD zu Spritzgussteilen, z. B. Verpackungen und Haushaltswaren, aber auch technische Artikel, verarbeitet. Zudem werden Fasern, Folien und Rohre aus Polyethylen im Extrusionsverfahren und Vakuumverfahren hergestellt. Aus PE-HD werden auch Folien für den Wasserbau und Deponiebau hergestellt sowie Geogitter und Geovliese für den Deponiebau oder den Straßen- und Böschungsbau. Ein weiteres großes Einsatzgebiet ist die Gas- und Trinkwasserversorgung. Hier werden oft Rohrleitungen des Typs PE-80 oder PE-100 eingesetzt. Es ist gut schweißbar, bei Verlegung im Erdreich muss die Leitung aber in Sand eingebettet werden.



Granulat aus PE-LD mit Ruß als UV-Stabilisator

- PE-UHMW: wird beispielsweise für Pumpenteile, Zahnräder, Gleitbuchsen, Implantate und Oberflächen von Endoprothesen verwendet, bei denen es auf besonders leichten Lauf bei geringstmöglichem Abrieb ankommt. Fasern aus PE-UHMW gehören, auf ihr Gewicht bezogen, zu den stärksten bekannten künstlichen Fasern (Dyneema®, DSM). Sie werden als chirurgisches Nahtmaterial verwendet. Sie sind wohl die einzigen bisher bekannten Fasern, welche als Material für einen Weltraumlift im Gespräch sind.
- PE-X: wird unter anderem für Warmwasser-Rohre und als Isolierstoff von Mittel- und Hochspannungskabeln eingesetzt. PE-X wird ebenfalls sehr häufig in der Gas- und Trinkwasserversorgung eingesetzt. Es eignet sich durch seine hohe Kratzfestigkeit (Kratztiefe max. 20% der Wanddicke) besonders für grabenlose Verlegeverfahren, wie das Spülbohrverfahren oder die Einbringung in das Erdreich mittels Pflug. PE-X besitzt sehr schlechte Schweißigenschaften, welche eine Verschweißung nur mittels Heizwendelschweißen zulassen.



## Gefahren

Polyethylen ist durch seine hohe Beständigkeit gegen Säuren, Laugen und Chemikalien sehr langlebig und nicht natürlich abbaubar. Durch Sonneneinstrahlung kann PE verspröden und zerfällt dann in immer kleinere Teile, wird jedoch nicht von Bakterien, Tieren oder Pflanzen in den natürlichen Kreislauf integriert. Verpackungen aus PE überdauern die verpackten Produkte, wie Lebensmittel um Jahrhunderte. Als sogenannter Plastikmüll verschmutzt PE ohne fachgerechte Entsorgung die Umwelt. Das bekannteste Beispiel ist der Müllstrudel im Pazifik. Hier hat sich im Nordpazifikwirbel (englisch „North Pacific Gyre“) ein gigantischer Müllteppich angesammelt.<sup>[8]</sup>

## Referenzen

- [1] Sicherheitsdatenblatt Low Density Polyethylen bei Acros Organics (<http://search.be.acros.com/msds?for=acros&sup=acros&lang=DE&search=17850&button=Show>)
- [2] Sicherheitsdatenblatt High Density Polyethylen bei Acros Organics (<http://search.be.acros.com/msds?for=acros&sup=acros&lang=DE&search=17851&button=Show>)
- [3] Sicherheitsdatenblatt (alfa-aesar) ([http://www.alfa-chemcat.com/daten\\_msds/D/A10239\\_-\\_D.pdf](http://www.alfa-chemcat.com/daten_msds/D/A10239_-_D.pdf))
- [4] Kenneth S. Whiteley, T. Geoffrey Heggs, Hartmut Koch, Ralph L. Mawer, Woiflgang Immel: *Polyolefins*. 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>).
- [5] Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths: *Technische Biopolymere*. Hanser-Verlag, München 2009; Seite 153 und 313. ISBN 978-3-446-41683-3.
- [6] Information von der Homepage von Braskem ([http://www.braskem.com.br/site/portal\\_braskem/en/conheca\\_braskem/desenvolvimento/plastico\\_verde/planta.aspx](http://www.braskem.com.br/site/portal_braskem/en/conheca_braskem/desenvolvimento/plastico_verde/planta.aspx)), abgerufen am 29. September 2009.
- [7] Marktstudie Polyethylen von Ceresana Research (<http://www.ceresana.com/de/marktstudien/kunststoffe/polyethylen-hdpe>)
- [8] Plastikmüll (<http://www.green-ocean.org/index.php?file=sub/projekte/plastikmuell&sub=projekte>)

## Polyhydroxyalkanoate

**Polyhydroxyalkanoate** (PHA; Polyhydroxyfettsäuren) oder **Polyhydroxyfettsäuren** (PHF) sind natürlich vorkommende wasserunlösliche und lineare Polyester, die von vielen Bakterien als Reservestoffe für Kohlenstoff und Energie gebildet werden. In der Natur werden sie durch Gärung von Zucker oder Fetten hergestellt. Diese Biopolymere sind biologisch abbaubar und werden zur Herstellung von Biokunststoffen verwendet.

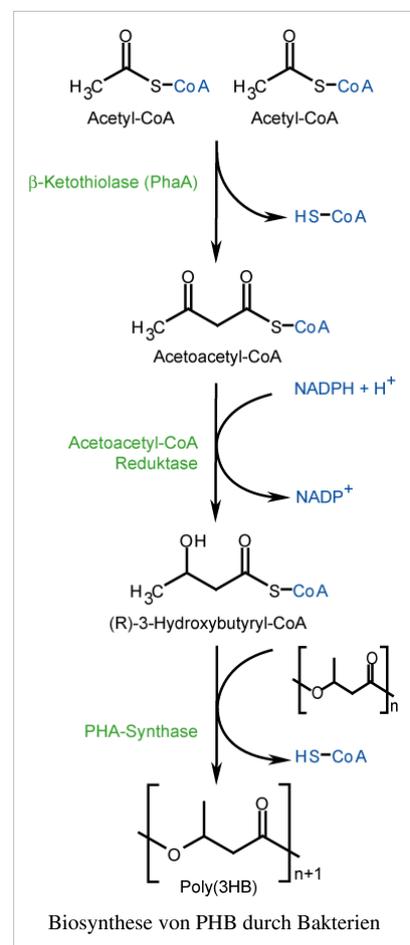
### Biosynthese

Die Biosynthese von PHA wird meist durch bestimmte Mangelbedingungen (z.B. Mangel an den Makroelementen Phosphor, Stickstoff Mangel an Spurenelementen oder Sauerstoffmangel) bei gleichzeitigem Überangebot an Kohlenstoffquellen ausgelöst. Die Polyester werden in Form von stark lichtbrechenden Granula als Speicherstoffe in den Zellen abgelagert. Je nach Mikroorganismus und Kultivierungsbedingungen werden Homo- oder Copolyester mit unterschiedlichsten Hydroxyalkansäuren erzeugt.

Als Schlüsselenzyme der Biosynthese gelten PHA-Synthasen. Diese nutzen Coenzym A-Thioester der (*R*)-Hydroxyfettsäuren als Substrate. Die zwei Klassen von PHA-Synthasen unterscheiden sich durch die spezifische Nutzung von Hydroxyfettsäuren kurzer oder mittlerer Kettenlänge. Daraus ergeben sich zwei PHA-Typen:

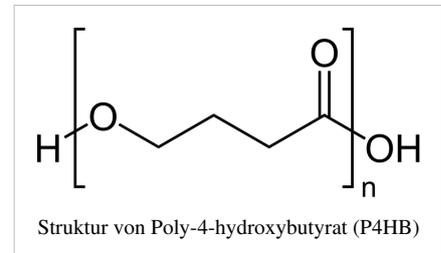
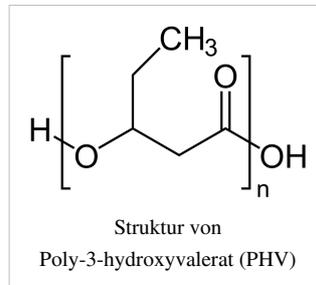
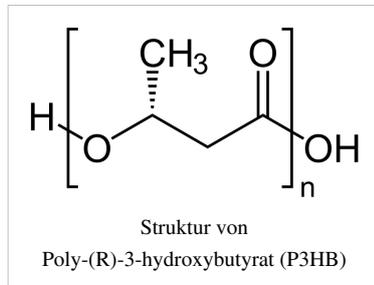
- Poly(HA<sub>KKL</sub>) aus Hydroxyfettsäuren mit kurzer Kettenlänge mit drei bis fünf Kohlenstoffatomen werden von zahlreichen Bakterien synthetisiert, darunter *Cupriavidus necator* und *Alcaligenes latus* (PHB).
- Poly(HA<sub>MKL</sub>) aus Hydroxyfettsäuren mit mittlerer Kettenlänge mit sechs bis 14 Kohlenstoffatomen werden beispielsweise von *Pseudomonas putida* aufgebaut.

Einige wenige Bakterien, darunter *Aeromonas hydrophila* und *Thiococcus pfennigii*, synthetisieren Copolyester, die aus beiden genannten Typen von Hydroxyfettsäuren bestehen oder besitzen zumindest Enzyme, die zu diesem Aufbau in der Lage sind.



Eine weitere, auch großtechnisch mögliche, Synthese kann mit Hilfe von Bodenorganismen erfolgen. Bei Mangel an Stickstoff und Phosphor produzieren sie aus drei Kilogramm Zucker ein Kilogramm PHA.

Die einfachste und am häufigsten vorkommende Form der PHA ist das fermentativ hergestellte Poly(R-3-hydroxybutyrat) (Polyhydroxybuttersäure, PHB oder Poly(3HB)). Dieses besteht aus 1000 bis 30000 Hydroxyfettsäureeinheiten. Neben 3-Hydroxybuttersäure sind rund 150 weitere Hydroxyfettsäuren als PHA-Bausteine bekannt. Nach Abschluss der Biosynthese bestehen die Bakterien zu 80 Gewichtsprozent aus dem Polyester.



## Eigenschaften

PHA-Polymere sind thermoplastisch auf konventionellen Anlagen verarbeitbar und sind je nach Zusammensetzung verformbar und mehr oder weniger elastisch. Je nach chemischer Zusammensetzung (Homo- oder Copolyester, enthaltene Hydroxyfettsäuren) unterscheiden sich ihre Eigenschaften. Sie sind UV-stabil, vertragen im Gegensatz zu anderen Biokunststoffen wie Polymeren aus Polymilchsäure teilweise Temperaturen bis ca. 180 °C<sup>[1]</sup> und zeigen eine geringe Permeation von Wasser. Der kristalline Anteil kann im Bereich von wenigen bis zu 70% liegen. Verarbeitbarkeit, Schlagfestigkeit und Flexibilität verbessern sich durch höhere Valeriat-Anteile im Material.

PHB ähnelt in seinen Materialeigenschaften dem Polypropylen (PP), weist eine gute Beständigkeit gegen Feuchtigkeit auf und hat Aroma-Barriereigenschaften. Rein aus Polyhydroxybuttersäure synthetisiertes PHB ist relativ spröde und steif, PHB-Copolymere, die auch andere Fettsäuren wie z.B. Beta-Hydroxyvaleriansäure enthalten, können auch elastisch sein.<sup>[1]</sup>

## Erzeugung und Verarbeitung

Bei der industriellen PHA-Erzeugung wird der Polyester durch Optimierung der Fermentationsbedingungen mikrobiell aus Zucker oder Glucose aus den Bakterien extrahiert und gereinigt. Das britische Chemieunternehmen Imperial Chemical Industries (ICI) entwickelte in den 1980er Jahren ein fermentativ erzeugtes Copolyester aus 3-Hydroxybuttersäure und 3-Hydroxyvaleriansäure, das unter dem Namen "Biopol" vertrieben und in den USA von den Firmen Monsanto und Metabolix weiter entwickelt wurde. Als Rohstoff für die Fermentation können Kohlenhydrate wie Glucose und Saccharose, aber auch Pflanzenöl oder Glycerin aus der Biodieselproduktion zum Einsatz kommen.<sup>[2]</sup> Die industrielle Forschung arbeitet an Verfahren, mit denen transgene Pflanzen entwickelt werden, die die PHA-Synthesewege aus Bakterien exprimieren und damit in ihren Geweben PHA als Energiespeicher produzieren. Verarbeitet werden PHA vor allem im Spritzguss, durch Extrusion und Extrusionsblasen zu Folien und Hohlkörpern.

## Verwendung

Kunststoffe aus PHA finden als biologisch abbaubare Elastomere und Thermoplaste Verwendung, so zum Beispiel für Verpackungsmaterial, insbesondere für Lebensmittel. Sie werden auch im medizinischen Bereich eingesetzt, z.B. als vom Körper resorbierbare Materialien wie Nahtmaterialien, für Implantate und für pharmazeutische Depotpräparate. Technisch bedeutsam sind insbesondere Copolymere, die eine bessere Eigenschaftseinstellung ermöglichen. Der Marktanteil von PHA an allen Biokunststoffen in Westeuropa lag 2008 bei weniger als fünf Prozent.<sup>[3]</sup> Für die Zukunft wird ein starkes Marktwachstum erwartet.<sup>[4]</sup>

## Literatur

Die Informationen dieses Artikels entstammen zum größten Teil den folgenden Quellen:

- Inone-Kauffmann, Emilia: *Polyhydroxyfettsäuren (PHF)*. In: Dominghaus, Hans: *Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften*, 6. Aufl., S. 1451-1454, Springer Verlag, 1990, ISBN 3-540-21410-0.
- Steinbüchel, Alexander: *Nachwachsende Rohstoffe für die Weiße Biotechnologie - 6.1 Polyhydroxyalkanoate*. In: Heiden, Stefanie, Zinke Holger (Hrsg.): *Weiße Biotechnologie*, S. 84-85 Biocom, Berlin, 2006, ISBN 3-928383-21-3.
- Doi, Y.: *Microbial Polyesters*. VCH Publishers Inc., New York 1990.
- W. Tänzer: *Biologisch abbaubare Polymere*. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart 2000).
- A. Steinbüchel: *Perspectives for biotechnological production and utilization of biopolymers: Metabolic engineering of polyhydroxyalkanoate biosynthesis pathways as a successful example* *Macromol. Bioscience* 1:1-24 (2001).

Weitere Fachliteratur zu Polyhydroxyalkanoaten:

- Yoshiharu Doi and Alexander Steinbüchel (Hrsg.), 2002: *Polyesters I-III (Biopolymers, Vol. 3a, 3b und 4)*. Wiley-VCH, ISBN 9783527302246, ISBN 9783527302192 und ISBN 9783527302253.

## Weblinks

- Projekt BioPro: Biopolymere auf Basis von Polyhydroxyalkanoaten (PHA)- Verfahrensentwicklung für die wirtschaftliche Produktion <sup>[5]</sup>
- Diss. Brandt zu PHA <sup>[6]</sup>, Uni Münster 2002

## Referenzen

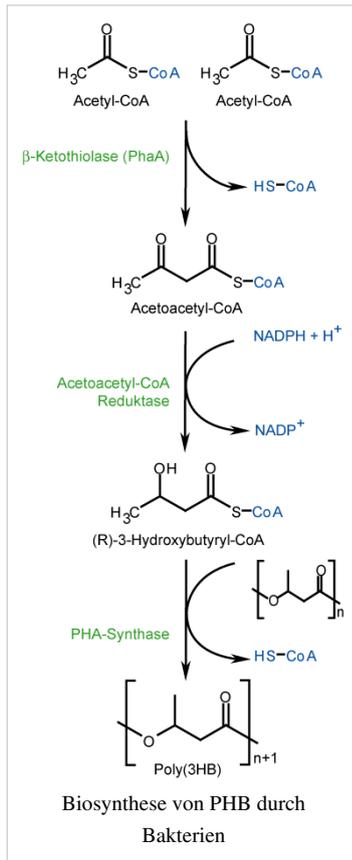
- [1] Quelle: Inone-Kauffmann, 2005. (siehe unter Literatur)
- [2] Scherzer, Dietrich und Loos, Robert (BASF): Polyhydroxyalkanoate aus Glycerin - Technische und ökonomische Herausforderungen. ([http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/10symposium/vortrag/PHA\\_BASF\\_Loos.pdf](http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/10symposium/vortrag/PHA_BASF_Loos.pdf)) (PDF)  
Vortragspräsentation für 10. Symposium Nachwachsende Rohstoffe für die Chemie in Oldenburg am 28.-29. März 2007, Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe.
- [3] nova-Bericht: Globale Marktsituation der Biokunststoffe. (<http://www.nachwachsende-rohstoffe.info/nachricht.php?id=20080306-02>)  
[www.nachwachsende-rohstoffe.info](http://www.nachwachsende-rohstoffe.info), 2008-03-06.
- [4] Susanne Donner (2007): Öko-Kunststoffe aus Zucker sollen Polyethylen ersetzen. [wiwo.de](http://www.wiwo.de), 25.05.2007. (<http://www.wiwo.de/pswiwo/fn/ww2/sfn/buildww/id/133/id/273108/fm/0/0/index.html>)
- [5] <http://www.biofun.de/BioPro.htm>
- [6] [http://miami.uni-muenster.de/servlets/DocumentServlet?id=59&XSL.H\\_main=S\\_GLOBAL&XSL.H\\_searchId=searchId](http://miami.uni-muenster.de/servlets/DocumentServlet?id=59&XSL.H_main=S_GLOBAL&XSL.H_searchId=searchId)

# Polyhydroxybuttersäure

Strukturformel	
Allgemeines	
Name	Polyhydroxybuttersäure
Andere Namen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polyhydroxybutyrat</li> <li>• Poly-(<i>R</i>)-3-hydroxybutyrat (P3HB)</li> <li>• Polyhydroxybutansäure</li> </ul>
CAS-Nummer	?
PubChem	13061653 <sup>[1]</sup>
Art des Polymers	Biopolymer
Monomer	
Monomer	(3 <i>R</i> )-3-Hydroxybutanal
Summenformel	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
Molare Masse	88,11 g·mol <sup>-1</sup>
Eigenschaften	
Schmelzpunkt	ca. 175 °C
<b>Soweit möglich und gebräuchlich, werden SI-Einheiten verwendet. Wenn nicht anders vermerkt, gelten die angegebenen Daten bei Standardbedingungen.</b>	

Das Biopolymer **Polyhydroxybutyrate** (*PHB*, in der Regel *Poly-(R)-3-hydroxybutyrat*, *P(3HB)*) ist ein Polyhydroxyalkanoat (PHA) und gehört zur Stoffgruppe der Polyester. Es wurde zuerst im Jahre 1925 von dem französischen Mikrobiologen Maurice Lemoigne isoliert und charakterisiert. PHB wird von verschiedenen Mikroorganismen (wie z. B. *Cupriavidus necator* oder *Bacillus megaterium*) produziert.

## Biogene Produktion



PHB wird während der Assimilation von Kohlenstoff, hauptsächlich in Form von Glucose und Stärke, als Energiespeicher synthetisiert und in Abwesenheit anderer Energiequellen wieder metabolisiert. Die Biosynthese der PHB durch Bakterien verläuft im allgemeinen in drei Schritten, die von drei Enzymen katalysiert werden: Zwei Moleküle Acetyl-CoA kondensieren in einer Claisen-Kondensation durch Katalyse der  $\beta$ -Ketothiolase zu Acetoacetyl-CoA, welches in einer stereospezifischen Reaktion durch die NAD(P)H-abhängige Acetoacetyl-CoA Reduktase zu *R*-3-Hydroxybutyryl-CoA reduziert wird. Dieses dient der PHB-Synthese als Substrat zur Polymerisation zum PHB. Die Poly-3-hydroxybutyrate (P3HB) Form der PHB ist wahrscheinlich die häufigste Form der Polyhydroxyalkanoate. Eine Reihe anderer Polymere dieser Klasse werden von diversen Organismen produziert: unter anderem Poly-4-hydroxybutyrate (P4HB), Polyhydroxyvalerate (PHV), Polyhydroxyhexanoate (PHH), Polyhydroxyoctanoate (PHO) und ihre Copolymere.

Ein spezieller Stamm des Bakteriums *Acidovorax* ist in der Lage, PHB mit Hilfe des Enzyms D-beta-Hydroxybutyrat-Dehydrogenase abzubauen.<sup>[2]</sup>

## Eigenschaften

- Schmelzpunkt ca. 175 °C
- Zugfestigkeit 20-31 MPa (ähnlich wie Polypropylen)
- Glasübergangstemperatur 15 °C
- Wasserunlöslich und relativ stabil gegen Hydrolyse (im Gegensatz zu den meisten anderen Biopolymeren)
- Permeabel für Sauerstoff
- resistent gegen ultraviolette Strahlen
- wenig resistent gegenüber Säuren und Laugen
- löslich in Chloroform und anderen chlorierten Kohlenwasserstoffen
- nicht toxisch und biokompatibel und daher für medizinische Anwendungen geeignet

## Industrielle Nutzung

PHB kann nach der Isolierung aus den Bakterienzellen thermoplastisch verarbeitet werden. Es ist ein aus erneuerbaren Rohstoffen fermentativ herstellbarer Polyester, mit Eigenschaften ähnlich denen des petrochemisch erzeugten Kunststoffes Polypropylen (PP). Die fermentative Synthese kann auf Basis von Zucker und Stärke erfolgen, ist jedoch auch aus andere Nährstoffen wie Glycerin und Palmöl möglich.

PHB gilt als "schlafender Riese" unter den Biokunststoffen. Problematisch sind zu Zeit noch die relativ hohen Produktionskosten, die immer noch über denen der petrochemisch synthetisierten Kunststoffe liegen und die Materialeigenschaften (Brüchigkeit) von PHB. Es gibt verschiedene Ansätze die Produktionskosten zu senken. Bereits in den 1980er Jahren wurden die drei Gene, die für die PHB Produktion verantwortlich sind, von *Alcaligenes eutrophus* auf gentechnischem Wege in das leichter manipulierbare *E. coli* transferiert. Des Weiteren wurden an der Michigan State University PHB-Gene auf Gartenkresse übertragen. Die transgenen Pflanzen produzierten bis zu 14 % PHB in der Trockenmasse der Blätter.

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, um Preise unter 5 €/kg zu realisieren.

PHB wird auch, mit weiteren Bestandteilen vermischt, 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 PHB-Blends aus. Mittelfristig lassen sich nach Angaben zahlreicher Forscher damit die Herstellungskosten bis in den Bereich Erdöl-basierter Plastikmaterialien absenken.

## Literatur

- Doi, Y.: *Microbial Polyesters*. VCH Publishers Inc., New York 1990
- W. Tänzler: *Biologisch abbaubare Polymere*. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart 2000)
- A. Steinbüchel: *Perspectives for biotechnological production and utilization of biopolymers: Metabolic engineering of polyhydroxyalkanoate biosynthesis pathways as a successful example*. *Macromol. Bioscience* 1:1-24 (2001)
- biokunststoffe.com, Elisabeth Wallner (2002): Herstellung von Polyhydroxyalkanoaten auf der Basis alternativer Rohstoffquellen, Dissertation; Bio-Pro GmbH; European Bioplastics; FNR; Biomer

## Literatur

- Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths: *Technische Biopolymere*. Hanser-Verlag, München 2009. ISBN 978-3-446-41683-3

## Weblinks

- Materialeigenschaften und mechanische Daten vom PHB-Polymeren <sup>[3]</sup> (Herstellerseite)

## Referenzen

[1] <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=13061653>

[2] Takanashi M, Shibahara T, Shiraki M, Saito T: *Biochemical and genetic characterization of a D(-)-3-hydroxybutyrate dehydrogenase from Acidovorax sp. strain SA1*. In: *J. Biosci. Bioeng.* 97, Nr. 1, 2004, S. 78–81. doi: 10.1016/S1389-1723(04)70170-X ([http://dx.doi.org/10.1016/S1389-1723\(04\)70170-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1389-1723(04)70170-X)). PMID 16233594.

[3] <http://www.biomer.de/MechDatD.html>

# Polylactide

**Polylactide**, die auch **Polymilchsäuren** (kurz **PLA**, vom englischen Wort *polylactic acid*) genannt werden, sind durch Wärmezufuhr verformbare Kunststoffe (siehe dazu Thermoplaste). Sie sind aus vielen, chemisch aneinander gebundenen Milchsäuremoleküle aufgebaut, gehören also zu den Polymeren. Polylactid-Kunststoffe sind biokompatibel. Entdeckt wurde der Kunststoff 1932 von Wallace Hume Carothers, einem Mitarbeiter von DuPont.



Sparschwein aus PLA-Blend Bio-Flex



Blumenfolie aus PLA-Blend Bio-Flex

## Eigenschaften

Polylactide zählt man zu den Polyhydroxysäuren. Diese aufgrund des asymmetrischen Kohlenstoffatoms optisch aktiven Polymere treten in der Form von D- oder als L-Lactide auf.

Die Eigenschaften der Polylactide hängen vor allem von der Molekülmasse, dem Kristallinitätsgrad und gegebenenfalls dem Anteil von Copolymeren ab. Eine höhere Molekülmasse steigert die Glasübergangs- sowie die Schmelztemperatur, die Zugfestigkeit sowie den E-Modul und senkt die Bruchdehnung. Aufgrund der Methylgruppe verhält sich das Material wasserabweisend (hydrophob), wodurch die Wasseraufnahme und somit auch die Hydrolyserate der Hauptbindung gesenkt wird. Weiterhin sind Polylactide in vielen organischen Lösungsmitteln löslich (z. B. Dichlormethan, Trichlormethan; durch Zugabe eines Lösungsmittel (z.B. Ethanol) in dem das Polylactid schlechter löslich ist kann es wieder ausgefällt werden). Zur Verbesserung der Gebrauchseigenschaften der Polylactide können diese bei ihrer Verarbeitung (z.B. Spritzgießen, Extrusion (Verfahrenstechnik) auch faserverstärkt werden.



PLA-Becher

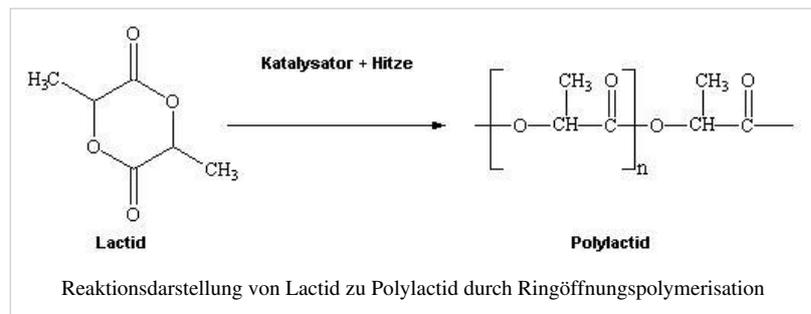
PLA wird auf Grund seiner Umweltverträglichkeit von gemeinnützigen Verbänden (vor allem aus dem Landwirtschafts- und Umweltsektor) beworben. Diese beruht teilweise darauf, dass PLA eine gewisse Biodegradabilität aufweist, d.h. durch natürliche Prozesse abgebaut werden kann, allerdings sind hierfür bestimmte Umweltbedingungen nötig wie sie in der Regel nur in industriellen Kompostieranlagen zu finden sind. Zudem ist die Abbaubarkeit stark von chemischen Zusammensetzungen, sowie dem Einsatz eventueller Copolymere abhängig. Unter industriellen Kompostbedingungen vollzieht sich der Abbau jedoch innerhalb weniger Monate. In der Natur wird sich PLA in den meisten Fällen nicht zersetzen. Des Weiteren wird PLA aus einem nachwachsenden Rohstoff gewonnen, was es im Vergleich zu erdölbasierten Polymeren zu einem nachhaltigen Material macht, allerdings liegt der Energieaufwand bei der Herstellung auf einem ähnlichen Niveau wie Polypropylen.



Folienaustritt aus Ringspaltdüse PLA-Blend Bio-Flex

## Synthese

Poly lactide sind vor allem durch die ionische Polymerisation von Lactid, einem ringförmigen Zusammenschluss von zwei Milchsäuremolekülen, zugänglich. Bei Temperaturen zwischen 140 und 180 °C sowie der Einwirkung katalytischer Zinnverbindungen (z. B. Zinnoxid) findet eine



Ringöffnungspolymerisation statt. So werden Kunststoffe mit einer hohen Molekülmasse und Festigkeit erzeugt. Lactid selbst lässt sich durch Vergärung von Melasse oder durch Fermentation von Glukose mit Hilfe verschiedener Bakterien herstellen.

Darüber hinaus können hochmolekulare und reine Poly lactide mit Hilfe der so genannten Polykondensation direkt aus Milchsäure erzeugt werden. In der industriellen Produktion ist allerdings die Entsorgung des Lösungsmittels problematisch.

## Verwendung

PLA weist zahlreiche Eigenschaften auf die für vielerlei Einsatzgebiete von Vorteil sind: Eine geringe Feuchtigkeitsaufnahme mit hoher Kapillarwirkung, dadurch geeignet für Sport- und Funktionsbekleidung. Eine geringe Flammbarkeit, hohe UV-Beständigkeit und Farbechtheit wodurch Anwendungen im Möbelbereich für Innen- und Außenbereiche denkbar werden. Zudem ist die Dichte von PLA relativ gering, wodurch es sich auch für Leichtbauanwendungen eignet.



Kugelschreiber aus Polymilchsäure (PLA)

Die mechanischen Eigenschaften von reinem PLA ähneln sehr denen von Polyethylenterephthalat (PET). Insbesondere seine Transparenz und niedrige Migrationswerte prädestinieren PLA für einen Einsatz im

Lebensmittelverpackungsbereich, allerdings weist es im Vergleich zu PET eine wesentlich höhere CO<sub>2</sub>-, Sauerstoff und Feuchte-Durchlässigkeit auf. Der Preis von PLA von etwa 2 EUR pro Kilo ist höher als vergleichsweise der von PET, jedoch wird davon ausgegangen, dass die Produktionskosten von PLA in den kommenden Jahren mit steigenden Produktionsmengen noch etwas sinken werden.

PLA ist eigentlich ein Roh-Biokunststoff (wie auch Stärke, PHA, PBS u.a.), weil er in der Regel nicht gebrauchsfertig synthetisiert wird. Meist wird PLA meist erst durch Compoundieren für die jeweilige Anwendung maßgeschneidert. Dieses „Aufbereiten“ von Bio-Rohkunststoffen erfordert spezielle Kenntnisse sowohl der Additivierung als auch der schonenden Compoundierung <sup>[1]</sup>. Gebrauchsfertige PLA-Compounds werden auch PLA-Blends genannt und bestehen in der Regel aus PLA, anderen Roh-Biokunststoffen (s.o.) und Additiven. Beispiele für Hersteller solcher gebrauchsfertigen PLA-Blends sind BASF, Danimer, FKUR, Futura Mat und Kingfa Science & Tech.<sup>[2]</sup>

Typische Verarbeitungsverfahren für reines PLA ist das Faserspinnen und die Flachfolienextrusion (selten), für PLA-Blends sind typische Verarbeitungsverfahren Extrusion (auch Schaumextrusion), Thermoformen, Spritzguss, Blasformen, Thermoformen.

## Verpackung

Experten schätzen, dass der Markt für Biokunststoffe bis zum Jahre 2020 um 20 bis 25 % pro Jahr wächst <sup>[3]</sup>. Das PLA-Wachstum der vergangenen Jahre basiert maßgeblich auf dem Einsatz von PLA-Blends für Verpackungen kurzlebiger Güter. Hierbei wird insbesondere die biologische Abbaubarkeit und der damit für den Konsumenten verbundene alternative Entsorgungsweg genutzt. Diese PLA-Blends verfügen über andere mechanische Eigenschaften als das Roh-PLA. Meist können durch die Blends die herkömmlichen Verpackungskunststoffe Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) ersetzt werden. Eine Vielzahl von Produkten, die wir im täglichen Bedarf benötigen, werden in Beuteln oder Netzen verpackt. Folien oder Netze für Beutelanwendungen müssen schlagartigen Belastungen beim Befüllvorgang standhalten und eine hohe Schweißnahtfestigkeit aufweisen<sup>[4]</sup>. Folien aus einem PLA-Blend von FKUR haben eine besonders angenehm weiche Oberfläche. Die Kombination von Atmungsaktivität und gleichzeitiger Flüssigkeitsbarriere eignet sich besonders als „Backsheet“-Folie für z.B. Babywindeln oder für andere Hygieneprodukte. Bei herkömmlichen Windelfolien aus Polyethylen kann eine solch angenehme Oberfläche nur durch eine Oberflächenstruktur mit Hilfe der Flachfolienextrusion erzeugt werden<sup>[5]</sup>. Kosmetikverpackungen vereinen hohe Anforderungen an ästhetische Merkmale wie Glanz, Kratzfestigkeit und Einfärbbarkeit mit den technischen Anforderungen Festigkeit und Chemikalienresistenz. Die Chemikalienresistenz von Roh-PLA oder PLA-Blends muss auf die jeweilige Befüllung hin stets überprüft werden<sup>[6]</sup>.

Weitere Beispiele für erfolgreiche Verpackungsanwendungen sind Bio-Tragetaschen und Luftpolsterbeutel.



Einkaufsbeutel aus PLA-Blend Bio-Flex



Kosmetiktopf aus PLA-Blend Bio-Flex



Luftpolsterbeutel aus PLA-Blend Bio-Flex

## Landwirtschaft und Gartenbau

Mulchfolien aus PLA-Blends stehen im Wettbewerb zu herkömmlichen aus Polyethylen (PE). Werden herkömmliche Mulchfolien nach der Nutzung kostenaufwendig eingesammelt, gesäubert und der geordneten Entsorgung zugeführt, werden die teureren Mulchfolien aus PLA-Blends nach der Nutzung einfach untergepflügt. Der einzelne Landwirt entscheidet je nach eigener Wirtschaftlichkeit. Wichtig sind jedoch einfache Maschinengängigkeit und Verlegbarkeit.

Es ist wichtig, dass Mulchfolien aus PLA-Blends während ihrer Schutzfunktion an der Ackeroberfläche nicht zu schnell biologisch abbauen. Sie sollen jedoch zügig nach dem Gebrauch biologisch abbauen, wenn sie untergepflügt wurden. Ein weiterer Vorteil ist, wenn weder Stärke oder Stärkederivate in dem PLA-Blend eingesetzt werden. Hierdurch bleibt die Mulchfolie unempfindlich gegen Feuchte, nach z.B. Wetterschwankungen, und ist somit haltbarer.

Auch Halterungen und Klipse werden in der Landwirtschaft benötigt, um z.B. Pflanzentriebe an einer Stange Halt zu geben. Diese fallen beim Wachstum der Pflanzen oder bei der Ernte ab und müssen aufwendig gesucht und aufgesammelt werden. Entsprechende PLA-Blends mit höherem PLA-Anteil als z.B. in Mulchfolien (s.o.) bieten eine praktische Alternative, die nicht eingesammelt werden müssen. Sogar Filmscharniere lassen sich realisieren.



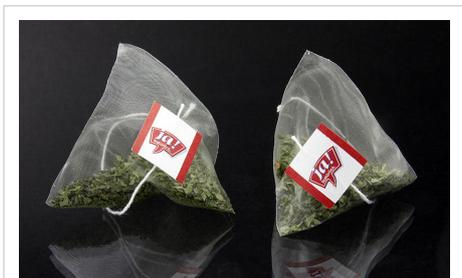
Mulchfolie aus PLA-Blend Bio-Flex

## Cateringartikel

Es gibt Wegwerfbestecke aus PLA oder PLA-Blends auf dem Markt, welche nicht für heiße Lebensmitteln eingesetzt werden können. PLA und PLA-Blends werden oberhalb von ca. 50 °C sehr nachgiebig und weich. (Hier eignet sich der Biokunststoff Cellulose-Azetat besser.) Dennoch lassen sich aus PLA z.B. tiefgezogene Trinkbecher und auch PLA-Blends z.B. Trinkhalme auch mit Knickbereich herstellen.



Strohhalme aus PLA-Blend Bio-Flex



Teebeutel aus PLA-Fasermaterial

## Büroartikel

Schreibgeräte und andere Bürountensilien werden aus spritzgießbaren PLA-Blends hergestellt. Hier sind die mechanischen Eigenschaften, je nach PLA-Anteil, ähnlich dem Polypropylen oder sogar ABS. Das Fließverhalten der Schmelze ist bei derart komplexen Geometrien sehr wichtig.

## Medizintechnik

Einer der wichtigsten Anwendungsbereiche derzeit, dürfte die medizinische Anwendung sein. PLA steht auf Grund seiner Abbaubarkeit und seiner Biokompatibilität für zahlreiche Anwendungen zur Verfügung. Die Fähigkeit des menschlichen Körpers PLA abzubauen, wurde bereits 1966 das erste Mal beobachtet <sup>[7]</sup>. PLA, oft in Verbindung mit einem Co-Polymer, eignet sich zum Beispiel als Nahtmaterial. Auch ist es möglich Implantate aus PLA herzustellen, die abhängig von der chemischen Zusammensetzung, Porosität und Kristallinität, einige Monate bis zu mehreren Jahren im Körper verbleiben bis sie abgebaut sind. Auch die mechanischen Eigenschaften werden von diesen Faktoren beeinflusst, wodurch sich Implantate für unterschiedliche Anwendungen realisieren lassen. Dazu gehören zum Beispiel Nägel und Schrauben, aber auch Platten oder Stent. Allen Implantaten ist jedoch gemein, dass ein zweiter Eingriff um das Implantat wieder zu entfernen in der Regel entfällt, wodurch den Patienten eine zweite Operation erspart werden kann. PLA eignet sich auch als Gerüstmaterial für das Tissue Engineering. Hierfür werden poröse Strukturen aus PLA-Fasern hergestellt, an die sich unterschiedliche Zell-Typen, abhängig von der Porengröße, anlagern können.



Kugelschreiber aus PLA-Blend Bio-Flex

## Verbundwerkstoffe

Neben Anwendungen im Verpackungsbereich und der Medizintechnik, besitzt PLA auch großes Potential als Matrixmaterial für Verbundwerkstoffe. Durch die Verbindung von PLA mit Naturfasern lassen sich biologisch abbaubare Verbundwerkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen herstellen welche eine Alternative zu den konventionellen glasfaserverstärkten oder gefüllten Kunststoffen darstellen. Durch seinen thermoplastischen Charakter ist PLA für den Einsatz im (Naturfaser-)Spritzguss- und Extrusionsbereich geeignet. Bereits realisierte Bauteile sind zum Beispiel Aschekapsel für Urnen, Messergriffe, aber auch Sitzunterflächen von Bürostühlen. Auch wurde bereits ein Prototyp für eine Handyoberschale entwickelt. Durch den Zusatz hoch dehnbarer Naturfasern ließ sich ein Werkstoff herstellen, der in der Lage ist mit den heutzutage gängigen rohölbasierten Kunststoffen zu konkurrieren.

Neben den vergleichsweise hohen Kosten ist vor allem die geringe Temperaturbeständigkeit von PLA ein Problem bei der Anwendung im industriellen Bereich. Da der Kunststoff bereits bei etwa 50-60 °C weich wird, eignet er sich nur für Anwendungen im moderaten Temperaturbereich, was für viele dauerhafte Anwendungen nicht akzeptabel ist. Durch eine Verstärkung mit Naturfasern lässt sich die Temperaturbeständigkeit in einen Bereich von etwa 100 °C erhöhen und gleichzeitig könnten die Kosten durch die Einbringung der günstigeren Naturfaser bezogen auf das Preis-Leistungs-Verhältnis verringert werden.



Messergriff aus holzfaserverstärktem PLA  
Fibrolon

## Markt

Erst 2002 wurde von NatureWorks LLC die erste kommerzielle Anlage zur Herstellung des Kunststoffes mit einer Kapazität von 150.000 Tonnen gebaut. In Europa soll bis Mitte 2012 eine Produktionsanlage in Guben (Brandenburg) in Zusammenarbeit von Pyramid Technologies Ltd. aus Zug (Schweiz) und der German Bioplastics GmbH aus Guben mit einer Jahreskapazität von 60.000 Tonnen errichtet werden.<sup>[8]</sup> . Derzeit kommerziell erhältliches PLA stellen Biopearls, Guangzhou Bright China, Hisun Biomaterials, Kingfa Science & Tech., Nantong, Natureworks, Synbra und Toray her.<sup>[2]</sup>

## Weiterführende Literatur

- Caroline Baillie (Hrsg.): *Green composites – Polymer composites and the environment*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2004, ISBN 1-85573-739-6
- Amar K. Mohanty, Manjusri Misra, Lawrence T. Drzal, (Hrsg.): *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. Taylor & Francis Group, Boca Ranton, FL 2005, ISBN 084931741X
- Ray Smith (Hrsg.): *Biodegradable polymers for industrial applications*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2005, ISBN 1-85573-934-8
- Bhuvanesh Gupta, Nilesh Revagade, Joens Hilborn: *Poly(lactic acid) fiber: An overview*. Progress in Polymer Science Ausgabe 32, 2007, S. 455–482
- L.-T. Lima, R. Auras, M. Rubino: *Processing technologies for poly(lactic acid)*. Progress in Polymer Science Ausgabe 33, 2008, S. 820–852
- Koichi Goda, Yong Cao: *Research and Development of Fully Green Composites Reinforced with Natural Fibres*. Journal of Solid Mechanics and Solid Engineering, Ausgabe 1, Nummer 9, 2007, S. 1073-1084
- A.P. Gupta, Vimal Kumar: *New emerging trends in synthetic biodegradable polymers – Polylactide: A critique*. European Polymer Journal Ausgabe 43, 2007, S. 4053–4074
- K. Van de Velde, P. Kiekens: *Material Properties, Biopolymers: overview of several properties and consequences on their applications*. Polymer Testing Ausgabe 21, 2002, S. 433–442
- *Introduction to Polylactic acid (Pla)*. in „Environmental Briefs of Common Packaging Materials“, GreenBlue, Charlottesville, VA 2008
- *Highlights in Bioplastics*. Interessengemeinschaft Biologisch Abbaubare Werkstoffe e.V., Berlin 2005

## Weblinks

- Europäischer Branchenverband der industriellen Hersteller, Verarbeiter und Anwender von Biokunststoffen und biologisch abbaubaren Werkstoffen <sup>[9]</sup>

## Referenzen

- [1] Edmund Dolfen, Patrick Zimmermann, Anneliese Kesselring, Carmen Michels: *Plastics naturally! Compounding of Plastics From Renewable Resources*. Bioplastics Magazine, Mönchengladbach, 2008
- [2] Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths: *Technische Biopolymere*. Hanser-Verlag, München 2009; Seite 293. ISBN 978-3-446-41683-3
- [3] Severin Beucker, Frank Marscheider-Weidemann unter Mitarbeit von Michael Carus: *Zukunftsmarkt Biokunststoffe*. Fallstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des Forschungsprojektes Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern, Dezember 2007.
- [4] N.N.: *Verpackungsfolien aus nachwachsenden Rohstoffen*. packaging journal 9, 2006.
- [5] Patrick Zimmermann, Christian Bonten: *New Bioplastics for Multilayer Systems*. bioplastics magazine 6, 2008.
- [6] Christian Bonten: *Beautiful Plastics*. bioplastics magazine 2, 2009.
- [7] RK Kulkarni, KC Pani, C Neuman, F Leonard: *Polylactic acid for surgical implants*. Archives of surgery, Ausgabe 93, Nr. 5, 1966, S. 839-843.
- [8] *96 Mio. EUR für PLA-Produktion in Guben* ([http://www.k-online.de/cipp/md\\_k/custom/pub/content,lang,1/oid,13206/ticket,g\\_u\\_e\\_s\\_t/~/96\\_Mio.\\_EUR\\_für\\_PLA-Produktion\\_in\\_Guben.html](http://www.k-online.de/cipp/md_k/custom/pub/content,lang,1/oid,13206/ticket,g_u_e_s_t/~/96_Mio._EUR_für_PLA-Produktion_in_Guben.html)) k-zeitung online, 29. Oktober 2008.
- [9] <http://www.european-bioplastics.org/index.php?id=1>

# Polyole

---

Als **Polyole** wird eine Gruppe von organischen Verbindungen bezeichnet, die mehrere Hydroxygruppen (-OH) enthalten (Polyalkohol, mehrwertiger Alkohol). Polyole können sowohl linear (zum Beispiel Sorbit) als auch zyklisch (zum Beispiel Inosit) aufgebaut sein. Die Anzahl der Hydroxygruppen in einer chemischen Verbindung wird durch die Endung angezeigt. Enthält eine organische Verbindung ein, zwei oder drei Hydroxygruppen wird die Endung -ol, -diol oder -triol angehängt, ab vier und mehr Hydroxygruppen spricht man allgemein von einem Polyol.

Die Herstellung von Polyolen, insbesondere für die Kunststoffindustrie, kann sowohl petrochemisch auf der Basis von Mineralöl wie auch oleochemisch auf der Basis von Pflanzenölen erfolgen.

## Eigenschaften

Da der Überbegriff Polyol eine rein chemische Nomenklatur ist und nur das Vorhandensein mehrerer Hydroxygruppen anzeigt, kann man den Polyolen keine allgemeinen Eigenschaften zuordnen. Polyole sind bei Raumtemperatur meist hochviskos (zähflüssig) bis fest. Dies liegt begründet in der Tatsache, dass sich Wasserstoffbrücken unter den einzelnen Molekülen ausbilden.

## Beispiele

Einige häufig verwendete Polyole sind:

- Polyole als zahnfreundliche Zuckeraustauschstoffe in Kaugummis und Bonbons: zum Beispiel Isomalt, Sorbit oder Mannit
  - Frostschutzmittel: zum Beispiel Glykol (*1,2-Ethandiol*) oder Glycerin (*1,2,3-Propantriol*)
  - Kunststoffbestandteile: Polyesterpolyole oder Polyetherpolyole werden in der Herstellung von Polyurethan verwendet.
  - Farb-, Riech-, Geschmacks- und Wuchsstoffe (zum Beispiel Ätherische Öle): diverse Phenole mit mehreren Hydroxygruppen
-

# Polyurethane

**Polyurethane** (PU, DIN-Kurzzeichen: **PUR**) sind Kunststoffe oder Kunstharze, welche aus der Polyadditionsreaktion von Diolen beziehungsweise Polyolen mit Polyisocyanaten entstehen. Charakteristisch für Polyurethane ist die Urethan-Gruppe.



Haushaltsschwämme aus weichem PUR-Schaum



Polyurethane können je nach Herstellung hart und spröde, aber auch weich und elastisch sein. Besonders die Elastomere weisen eine vergleichsweise hohe Reißfestigkeit auf. In aufgeschäumter Form ist Polyurethan als dauerelastischer *Weichschaum* (z. B. für Sportschuhsohlen) oder als harter *Montageschaum* bekannt.

## Geschichte

1937 synthetisierte Otto Bayer zusammen mit seinem Team in den Laboratorien der I.G. Farben in Leverkusen zum ersten Mal Polyurethane. 1940 begann die industrielle Produktion in Leverkusen. Aufgrund des Zweiten Weltkriegs und der damit verbundenen Knappheit an Rohstoffen entwickelte sich der Markt für Polyurethane jedoch zunächst nur sehr langsam. So waren 1952 weniger als 100 t pro Jahr des wichtigen Polyisocyanats Toluylendiisocyanat (TDI) verfügbar. Von 1952 bis 1954 wurden Polyester-Schaumstoffe entwickelt, wodurch das kommerzielle Interesse an Polyurethanen weiter gesteigert wurde. Mit dem Einsatz von Polyetherpolyolen wuchs die Bedeutung der Polyurethane rasch an. Die größeren Variationsmöglichkeiten bei der Herstellung von Polyetherpolyolen führten zu einer erheblichen Ausdehnung der Anwendungen. So wurden 1960 bereits über 45.000 t an Schaumstoffen produziert.

Weitere technische Verbesserungen haben immer wieder neue Anwendungsfelder erschlossen. So ermöglichte die Einführung von Treibmitteln und der Einsatz von Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat (MDI) die Herstellung von Polyurethan-Hartschäumen. In den letzten Jahren wurde mit dem Verbot von FCKW-haltigen Treibmitteln eine Wende in der Herstellung dieser Hartschäume eingeleitet. In letzter Zeit werden daher verstärkt Pentane, Methylenchlorid oder reines Kohlendioxid als Treibmittel verwendet. Ihre hervorragende isolierende Wirkung wird nur von wenigen Stoffen oder Systemen übertroffen.

Bis zum Jahr 2002 ist der weltweite Verbrauch auf rund 9 Millionen Tonnen Polyurethan angestiegen, bis 2007 stieg er weiter auf über 12 Millionen Tonnen. Die jährliche Zuwachsrate beträgt ca. 5 %.<sup>[1]</sup>

## Eigenschaften

Polyurethane können je nach Wahl des Isocyanats und des Polyols unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Die Dichte von ungeschäumtem Polyurethan variiert zwischen rund 1000 und 1250 kg/m<sup>3</sup>.

Im Wesentlichen werden die späteren Eigenschaften durch die Polyolkomponente bestimmt, weil zum Erreichen gewünschter Eigenschaften üblicherweise nicht die Isocyanatkomponente angepasst (chemisch verändert) wird, sondern die Polyolkomponente. Es kommen nur wenig verschiedene Isocyanatkomponenten zum Einsatz:

- Diphenylmethandiisocyanat (MDI)
- Polymeres Diphenylmethandiisocyanat (PMDI)
- Toluyldiisocyanat (TDI)
- Naphthylendiisocyanat (NDI)
- Hexamethyldiisocyanat (HDI)
- Isophorondiisocyanat (IPDI)
- 4,4'-Diisocyanatodicyclohexylmethan (H12MDI)

Abhängig von Kettenlänge und Anzahl der Verzweigungen im Polyol können mechanische Eigenschaften beeinflusst werden. So führt ein Einsatz von Polyesterpolyolen zusätzlich zu den üblicheren Polyetherpolyolen zu besserer Standfestigkeit, weil Polyesterpolyole einen höheren Schmelzpunkt haben und somit beim Applizieren des Polyurethans erstarren.

Das eigentliche Aufschäumen der Polyurethanschäume kommt durch die Zugabe von Wasser zustande. Bei der Reaktion von Wasser mit Isocyanat wird Kohlendioxid abgespalten, welches den Schaum aufreibt. Durch die Menge des zugegebenen Wassers kann das Raumgewicht des entstehenden Schaumes variiert werden. Typische Dichten sind rund 5 bis 40 kg/m<sup>3</sup> für weichen Blockschaum oder 30 bis 90 kg/m<sup>3</sup> für harten Blockschaum.

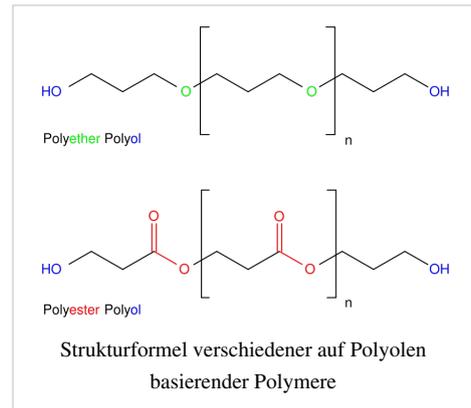
### Toxizität

Wenn Polyurethane ausreagiert sind und keine Monomere mehr enthalten, besitzen sie in der Regel keine gesundheitsschädlichen Eigenschaften. Isocyanate können Allergien auslösen und stehen im Verdacht, Krebs zu verursachen. Das für einige Polyurethane verwendete Toluyldiisocyanat verdampft bei Raumtemperatur und kann beim Einatmen Schäden in der Lunge verursachen. Richtlinien und Merkblätter für den sicheren Umgang mit Polyurethan-Rohstoffen können bei den Herstellern oder der ISOPA (Europäischer Verband der Diisocyanat- und Polyolhersteller) abgerufen werden.<sup>[2]</sup>

## Synthese

Polyurethane entstehen durch die Polyadditionsreaktion von Polyisocyanaten mit mehrwertigen Alkoholen, den Polyolen. Die Verknüpfung erfolgt durch die Reaktion einer Isocyanatgruppe (–N=C=O) eines Moleküls mit einer Hydroxylgruppe (–OH) eines anderen Moleküls unter Bildung einer Urethangruppe (–NH–CO–O–). Dabei erfolgt keine Abspaltung von Nebenprodukten wie bei der Polykondensation.

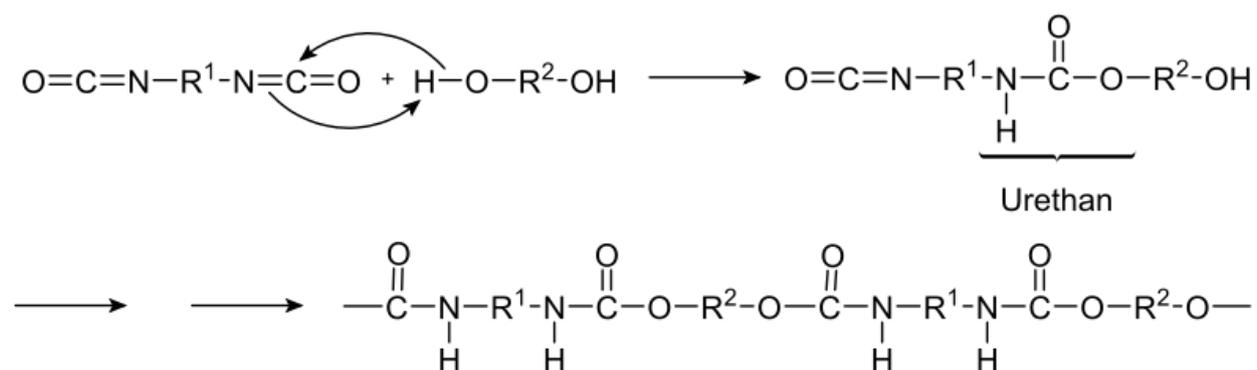
Das Kohlenstoffatom der Isocyanatgruppe (–N=C=O) ist wegen der benachbarten elektronegativeren Sauerstoff- und Stickstoffatome positiviert. Ein freies Elektronenpaar des Sauerstoffatoms der Hydroxylgruppe (–OH) "klappt" zum positivierten Kohlenstoffatom und bildet mit diesem eine Bindung aus. Gleichzeitig wird ein Bindungselektronenpaar der N=C Doppelbindung zum Stickstoffatom verschoben. Dadurch trägt das Stickstoffatom eine negative Ladung und das Sauerstoffatom eine positive Ladung. Zum Ladungsausgleich wird das Proton der ursprünglichen Hydroxylgruppe auf das Stickstoffatom der ursprünglichen Isocyanatgruppe übertragen, wobei die



Urethangruppe entsteht.

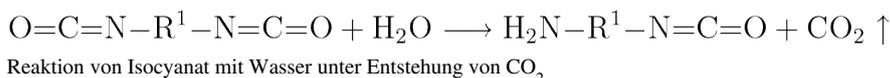
## Polymerisierung

Die Polyurethanbildung erfordert mindestens zwei verschiedene Monomere, im einfachsten Fall Diol und Diisocyanat. Sie verläuft in Stufen. Zunächst entsteht aus Diol und Diisocyanat ein bifunktionelles Molekül mit einer Isocyanatgruppe ( $-\text{N}=\text{C}=\text{O}$ ) und einer Hydroxylgruppe ( $-\text{OH}$ ). Dieses kann an beiden Enden mit weiteren Monomeren reagieren. Dabei entstehen kurze Molekülketten, sogenannte Oligomere. Diese können mit weiteren Monomeren, anderen Oligomeren oder bereits gebildeten Polymeren reagieren.



Je nach Ausgangsstoffen können lineare oder vernetzte Polymere erhalten werden. Lineare Polyurethane können beispielsweise aus Diolen und Diisocyanaten erhalten werden. Durch Zugabe von weiterem Diisocyanat können lineare Polyurethane nachträglich vernetzt werden. Alternativ können vernetzte Polyurethane auch durch die Reaktion von Di- oder Triisocyanaten mit Polyolen hergestellt werden.

Die oben stehenden Reaktionsgleichungen erklären noch nicht das starke „Aufschäumen“ des Urethanschaumes. In einer Nebenreaktion reagiert Wasser mit einigen Isocyanatgruppen, dabei wird Kohlenstoffdioxid frei, das den noch weichen Kunststoff aufquellen lässt. Die gleichzeitig entstandene primäre Aminogruppe reagiert mit einer Isocyanatgruppe zu einem substituierten Harnstoff.



Soll in der Praxis ein bestimmtes Polyurethan hergestellt werden, so bieten sich zwei Wege an<sup>[3]</sup>:

- Direkte Reaktion eines Polyols mit einem Polyisocyanat (ein Einstufen-Verfahren)
- Herstellen eines funktionalisierten kleineren Polymers (sogenanntes Präpolymer) als Zwischenprodukt, welches in einem zweiten Schritt durch Verlinken der funktionellen Gruppen zum gewünschten Polymer reagiert (ein Zweistufen-Verfahren)

## Biogene Polyole

Im Regelfall entstammen sowohl die Polyole wie auch die Polyisocyanate der Produktion aus petrochemischen Rohstoffen, es können jedoch auch Polyole auf der Basis von Pflanzenölen eingesetzt werden. Vor allem Rizinusöl ist hierfür geeignet, da es selbst über Hydroxygruppen verfügt und so direkt mit Isocyanaten umgesetzt werden kann. Weiterhin werden Derivate des Rizinusöls verwendet.<sup>[4]</sup> Des Weiteren können Polyole auf Basis von Pflanzenölen zum einen durch Epoxidierung der Pflanzenöle mit anschließender Ringöffnung wie auch über eine Umesterung von Pflanzenölen mit Glycerin hergestellt werden.<sup>[5]</sup> Polyurethane auf Basis von Pflanzenölen werden aufgrund der biogenen Herkunft eines Teils der Rohstoffe auch als "Bio-Polyurethane" vermarktet.

Biogene Polyole liegen in ihrem Preis derzeit oberhalb petrochemischer, wodurch ihre Anwendung auf spezielle Zwecke eingeschränkt ist. International wird an Polyolen auf der Basis von Soja-, Raps-, Sonnenblumen- gearbeitet, unter anderem als Basis für die Herstellung von Matratzenschäumen. Einzelne Unternehmen arbeiten an der

Gewinnung von biogenen Polyolen aus Lignin.<sup>[5]</sup> Große Nutzungspotenziale werden u.a. für die Herstellung von Polyurethanen als Kunststoffe, Schäume oder Kunstharze sowie von hochwertigen, lichtbeständigen Polyestern und Polyurethanen für die Lackrohstoffindustrie gesehen.<sup>[6]</sup>

## Verwendung

Aus Polyurethan werden Matratzen, Schuhsohlen, Dichtungen, Schläuche, Fußböden, Lacke, Klebstoffe, Dichtstoffe, Skier, Autositze, Laufbahnen in Stadien, Armaturen Bretter, Vergussmassen, latexfreie Kondome (Präservative), Gussboden und vieles mehr hergestellt.

- In der optischen Industrie wird mit bestimmten Poliermitteln (z. B. Cerdioxid) getränktes Polyurethan als Poliermittelträger für die CNC-Politur von optischen Funktionsflächen verwendet
- In der Druck-Weiterverarbeitung werden Buchrücken mit Polyurethan geklebt.
- Polyurethan wird im Bauwesen als 1- oder 2-Komponenten-Schaum (Montageschaum, Expansionsschaum) zum Abdichten von Fugen im Beton vor dem Vergießen, zum Stabilisieren von Fundamenten, zum Anheben von Gebäudeteilen, Fußböden etc. verwendet und beim Einbau von Fenstern und Türen benutzt. Auch wird es benutzt als Bodenbelag in Wohnhäusern, vor allem in den Niederlanden.
- Polyurethan-Hartschaum wird als Isolier- und Dämmschicht in Sandwich-Elementen eingesetzt. Die Elemente bestehen aus einem inneren und äußeren Blech (Alu oder beschichtetes Stahlblech), wobei der Zwischenraum durch den aufquellenden PU-Schaum ausgefüllt wird. Überwiegend werden diese Sandwichelemente im Industriebau bei Systemhallen eingesetzt, da sie vorgefertigt werden und auch schnell montiert werden können. So entstehen in kurzer Zeit Wand- und Dachkonstruktionen, die gedämmt und innen wie außen sofort fertig sind. Auch bei gedämmten Roll- und Schiebetoren (Garagentore) werden Sandwichelemente verbaut. Außerdem wird PUR Hartschaum im Kälteschutz verwendet, da dieser Schaum Dampfdiffusion bremst oder verhindert. Üblicherweise werden die Rohre ähnlich wie im Sandwichverfahren mit Blech ummantelt (Edelstahl, verzinkter Stahl, Aluminium, verzinktes Aluminium oder aluminisiertes Stahlblech) und anschließend mit dem Zweikomponentenschaum befüllt.
- PU-Elastomer wird häufig für Textilfasern eingesetzt. Diese Fasern bestehen nicht unbedingt zu 100 % aus Polyurethan. Ebenfalls eingesetzt wird Polyurethan als Mikroschaum für atmungsaktive Membranen für Regenbekleidung.
- Aufgrund der hervorragenden mechanischen Eigenschaften eignen sich bestimmte Polyurethane für Anwendungen, die eine hohe Verschleißfestigkeit verlangen. So z. B. beim Transport von Schüttgütern durch Polyurethanschläuche, oder als Schutzschicht in Rohren und Rohrbögen. Auch als Ummantelung für elektrische Leitungen (z. B. Verlängerungsleitungen) wird es eingesetzt, beispielsweise in der verbreiteten Leitung H07BQ-F.
- Ein weiteres spezielleres industrielles Verarbeitungsspektrum findet sich im Prototypen- und Musterbau sowie in der Gießereiindustrie. Hier werden Produkte aus Polyurethan eingesetzt, um Modelle und Werkzeuge vielerlei Art, aber auch Serienteile herzustellen.
- Bei der Herstellung von multifilen Tennissaiten wird Polyurethan als Füllstoff verwendet.
- Moderne Fußbälle (z. B. Roteiro) werden komplett aus Polyurethan gefertigt.
- Der äußere Mantel einer Bowlingkugel besteht aus Polyurethan



Dämmschicht aus Polyurethan-Hartschaum beim Hausbau

- hochwertige Gummistiefel werden heute ebenfalls häufig aus Polyurethan hergestellt, da diese viel leichter und kälteelastischer sind als solche aus PVC. Außerdem bietet das geschäumte Polyurethan eine weit bessere Isolation gegen Kälte.
- Kondome/Präservative ohne Latex werden aus Polyurethan hergestellt. Diese sind dünner und sollen gefühlsechter sein und sind für Personen mit Latex-Allergie gut verträglich. Im Vergleich zu den üblichen Kondomen aus Latex sind sie jedoch viel teurer (Stand Ende 2009).
- Als Ummantelung von Silikonimplantaten kommt es immer häufiger zum Einsatz da das Gewebe sich gut damit verbindet.
- Das erste Serienfahrzeug mit Polyurethan-Karosserie ist der Artega GT.<sup>[7]</sup>
- Für die Herstellung von Halbleiterwafern sind viele Prozessschritte nötig. Um eine ebene Oberfläche zu gewährleisten werden die Wafer zwischenzeitlich immer wieder poliert (siehe CMP, chemisch mechanisches Polieren). Die Polierplatte besteht dabei in den meisten Fälle aus einem Polyurethan-beschichteten Kunststoff. Für den Abrieb sorgen kleine Polierpartikel, die man zwischen Polierpad und Wafer bringt.

### **Polyurethan-Lacke, Beschichtungen und Klebstoffe**

Eine der wichtigsten Anwendungen von Polyurethanen ist der Einsatz in Lacken und Beschichtungen. Hier werden Polyurethane wegen ihrer guten Haftungseigenschaften als Grundierungen und wegen ihrer hohen Beständigkeit gegen Lösemittel, Chemikalien und Witterungseinflüsse als Deck- und Klarlacke in vielen Anwendungsbereichen verwendet. Hierzu gehören z. B. auch Coil-Coating-Lacke und Beschichtungen für Fußböden. Des Weiteren zu nennen sind Textilbeschichtungen und -Ausrüstungen sowie Lederzurichtungen. Flächige Anwendungen zur Verklebung von unterschiedlichen, vorzugsweise flexiblen Materialien (im Bereich Schuhe, Holz/Möbel, Automobilinnenraum) sind ebenfalls ein wichtiges Anwendungsgebiet von Polyurethansystemen. In der Medizin werden Polyurethane als Liner in der Prothetik der unteren Extremitäten verwendet.

Zur Anwendung kommen flüssige Systeme, wie feuchtigkeithärtende Präpolymere, 2-Komponenten-Systeme, High Solids, Polyurethan-Lösungen und Polyurethandispersionen, aber auch Feststoffe, z. B. Granulate (TPUs) oder Pulver, die aufgeschmolzen oder gelöst werden.

### **Vergussmassen**

- PU-Vakuumgießharze: Verschiedene Produkte mit kurzer Topfzeit, meist für Prototypen oder Vorserien, die z. B. Serienmaterialien (Thermoplast-Spritzguss: ABS, PP, POM, PS, PC, PMMA etc.) ähnelnden mechanischen und thermischen Spezifikationen oder optischen Aspekten entsprechen. Sie werden in einer Vakuumgießanlage verarbeitet. Formen in der Regel aus polyadditionsvernetzendem Silikon. Stichwort: Duplizierung von mit Rapid-Prototyping-Techniken gefertigten Teilen.
- PU-Schnellgießharze: relativ einfach zu verarbeitende Produkte für Gussteile, Modelle und Werkzeuge, welche eine kurze Topfzeit besitzen und nicht unter Vakuum verarbeitet werden müssen.
- Elastomer aushärtende PU-Gießharze: Produkte mit verschiedenen im Shore-A- und Shore-D-Bereich angesiedelten Härtegraden. Für elastische bis hartelastische Teile, Formen und Werkzeuge.
- Elektrische Vergussmassen: zum Umgießen/Ummanteln von elektrischen und elektronischen Bauteilen (Potting) zum Zwecke der elektrischen Isolation und dem Schutz vor aggressiven Umgebungsbedingungen (chemisch, Temperatur, Vibrationen, mechanisch)
- Kantenvergussmassen: zum Umgießen/Ummanteln von Holz/ MDF. Mit Polyurethan als Kantenvergussmaterial besteht sicherer Schutz vor Schlägen, Kratzern etc.. Kantenvergussysteme können lichteicht oder lichtbeständig eingestellt sein. Auch Flammschutz spielt vor allem bei Anwendungen im öffentlichen Personenverkehr eine wichtige Rolle. Die Kantenvergussysteme sind auch beständig gegen chemische und mechanische Einflüsse.

## RIM

Bei der RIM-Technik werden die Reaktionskomponenten mit hohen Drücken von 100 bis 200 bar in kleine Mischkammern dosiert und dort unter Nutzung ihrer kinetische Energie miteinander vermischt (Gegenstrominjektion). In der Regel wird das Reaktionsgemisch über einen selbstreinigenden Anbaumischkopf und Anguss in eine geschlossene Form gefüllt, in der es zum Formteil aushärtet.

Die RIM-Technik kann auch dazu verwendet werden, Polyurethan direkt zu verspritzen. Zum Beispiel zur Versiegelung von Flachdächern, Auffangwannen, Brücken,... oder zur Wärme- und/oder Schallisolation von Bauten und Fahrzeugen (Schaum). Besonders in den USA werden mit dem Verfahren ganze Gebäude gedämmt, in dem der Schaum großflächig zwischen die Sparren der üblichen Holzwände und Dächer gespritzt wird. Im Zuge der verstärkten Nachfrage nach ökologischen Baustoffen wird der Polyurethan-Schaum in den USA von einigen Herstellern aus über 70 % nachwachsenden Rohstoffen produziert, üblicherweise Sojabohnen.<sup>[8]</sup> Nach europäischen Maßstäben würde man diese Produkte allerdings nicht als Bio bezeichnen. Baubiologisch einwandfreie Produkte mit ähnlichen Eigenschaften wie Polyurethan sind bisher nicht bekannt geworden.

Eine weitere Variante der Verwendung von RIM ist die Herstellung von Bauteilen aus PUR- Harzen. Solche RIM-Teile können in Vor- und Kleinserien Teile aus Thermoplasten bzw. FVW ersetzen. Anwendungsbeispiele: Verkleidungsteile Motorrad, Verkleidungsteile (innen/außen) Kfz/Nfz/SdKfz, Profildichtungen, Gehäuse für elektronische Geräte etc.. Hierzu werden Anlagen verschiedener Größe verwendet, vom Tischgerät mit 1 bis 2 kg Ausstoßleistung pro Minute bis zu größeren Anlagen, mit denen z. B. die Fertigung von LKW-Stoßstangen möglich ist.

## Schaumstoffe

Aus Polyurethan lassen sich sehr einfach Schaumstoffe herstellen. Das Besondere an PUR-Schaumstoffen ist, dass sie für den verarbeitenden Betrieb sowohl als Halbzeug (Schaumstoff in zugeschnittener Form) verfügbar sind, aber auch vor Ort aus flüssigen Komponenten an Ort und Stelle hergestellt bzw. in oder auf Industrieteile gebracht werden können („Ortschaum“, „Formed-in-Place-Foam“, FIPFG).

Weiche PUR-Schaumstoffe werden für extrem vielfältige Zwecke verwendet, vor allem aber als Polstermaterial, d. h. Matratzen oder Sitzkissen für Möbel bzw. Autositze, als Teppichrückenmaterial, zur Textilkaschierung, als Reinigungsschwamm oder als Filtermaterial benutzt. PUR-Weichschäume sind zumeist offenzellig und sind in einem breiten Härte- und Dichtebereich verfügbar.

PUR-Hartschäume werden vor allem zur Wärmedämmung z. B. in Gebäuden, Kühlgeräten, Wärme- und Kältespeichern sowie einigen Rohrsystemen (Kunststoffmantelverbundrohr, flexible Verbundrohre) eingesetzt.

Seit einiger Zeit werden weitere Anwendungsgebiete für PUR-Schäume erschlossen, z. B. im Fahrzeugbau (Lenkrad, Armauflage, Softbeschichtung von Handgriffen, Innenraumverkleidung, Armaturenbrett, Schalldämmung, Klapperschutz, Abdichtungen, Transparentbeschichtung von Holzdekoren).

Polyurethan-Schäume, die als Wärmedämmung konzipiert sind, sind geschlossenzellig aufgebaut, damit die Zellgase mit ihren niedrigen Wärmeleitfähigkeiten in den Schaumzellen verbleiben. Früher kam häufig R 11 (Trichlorfluormethan) als Zellgas zum Einsatz. Wegen der ozonschädigenden Eigenschaft dieses halogenierten Kohlenwasserstoffs wurde dieser weitgehend zunächst durch Kohlendioxid und aktuell durch Cyclopentan ersetzt, wobei dann in den Schaumzellen ein Gemisch aus Cyclopentan (ca. 10 bis 35 %) und Kohlendioxid enthalten ist. Wenn der Polyurethan-Schaum nicht diffusionsdicht gegenüber der Umgebung eingekapselt ist, werden die ursprünglich vorhandenen Zellgase unter irdischen Bedingungen jedoch durch Diffusionsvorgänge nach und nach durch Luft und Wasserdampf ersetzt, wodurch die Wärmeleitfähigkeit des Polyurethan-Schaums zunimmt. Nach der



Herstellung erreichen Polyurethan-Schäume mit Kohlendioxid als Zellgas Wärmeleitfähigkeiten von ca. 0,029 bis 0,033  $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Polyurethan-Schäume mit Cyclopentan als Zellgas Wärmeleitfähigkeiten von ca. 0,022 bis 0,027  $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Die Polyurethan-Schäume können sowohl hart als auch flexibel mit unterschiedlichen Dichten eingestellt werden.

PU-Hartschaumplatten sind in verschiedenen Dichten verfügbar. Die Produkte sind teils mit Füllstoffen versehen (Glasmikroballons, Aluminiumpulver). Einsatzzweck sind Dämmstoffe sowie der Modell- und Vorrichtungsbau. Der Schaum wird dazu meist spanend bearbeitet.

Früher wurden Polyurethan-Schaumstoffe mit Pentabromdiphenylether flammgeschützt. Aufgrund der Toxizität dieses Stoffs kommen heute andere Flammschutzmittel wie beispielsweise TCPP zum Einsatz.<sup>[9] [10]</sup>

## Handelsnamen

- Blockmaterial: Necuron, Obomodulan, Ureol
- Dichtungsmasse: Betamate, Sikaflex, Dymonic NT
- Elastomer: Baytec, Cellasto, Vulkollan, Elasturan, Sylomer, Sylodyn
- Fasern: Elastan (Spandex), Lycra, Dorlastan
- Hartschäume: Baytherm, Baydur, Elastolit, BauderPIR
- Klebstoffe: Baycoll, Desmocoll
- Kosmetik: Baycusan
- Lacke und Beschichtungen: Lupranol, Lupranat, Bayhydrol, Bayhydur, Desmodur/Desmophen (=DD-Lacke), Voranol, Voranate, Suprasec, Basonat
- Membranen: Dermizax
- PU-Folien: Walopur, Walotex, Platilon
- Thermoplastische Polyurethane: Elastollan
- Vergussmassen: WEVO-Vergussmasse (Elektronik), Arathane (Elektronik), Bectron (Elektronik), Elastocoat, Baygal/Baymidur (Elektro- und Elektronikvergussmassen), Fermadur
- Weichschäume: Bayflex, Elastoflex, Elastoflex

## Siehe auch

- RRIM

## Literatur

- Reinhard Leppkes: *Polyurethane - Werkstoff mit vielen Gesichtern*. 5.Auflage. Verlag Moderne Industrie, 2003 ISBN 3-478-93100-2.
- Karl Oberbach: *Saechtling Kunststoff-Taschenbuch*. 28.Auflage. Hanser, 2001 ISBN 3-446-21605-7.
- Günter Oertel (Hrsg.): *Kunststoff-Handbuch - Bd. 7 Polyurethane*. 3. Auflage. Carl Hanser Verlag, 1993 ISBN 3-446-16263-1.
- D. C. Allport, D. S. Gilbert, S. M. Outterside (Hrsg.): *MDI and TDI: safety, health and environment. A source book and practical guide*. John Wiley & Sons Ltd., 2003, ISBN 0-471-95812-3.
- Karl F. Berger, Sandra Kiefer (Hrsg.): *Dichtungstechnik Jahrbuch 2007*. ISGATEC, Mannheim 2006, ISBN 978-3-9811509-0-2.

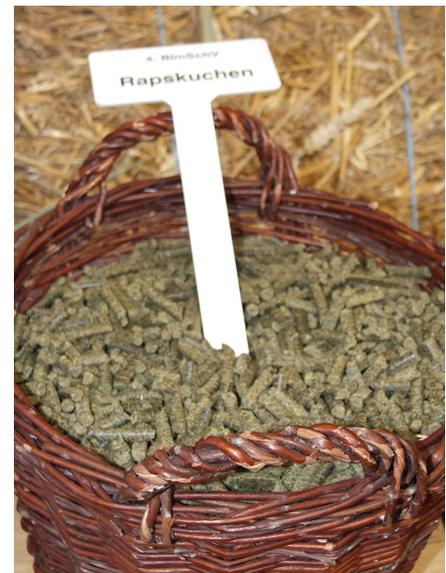
## Referenzen

- [1] G. Avar: *Polyurethane (PUR)*. In: *Kunststoffe*. Nr. 10, 2008, S. 205–211.
- [2] ISOPA (<http://www.isopa.org>)
- [3] Walter Kaiser: *Kunststoffchemie für Ingenieure*. 2. Auflage, Hanser, München 2006, ISBN 978-3446413252.
- [4] Kittel, Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen, 2. Aufl., Band 2: Bindemittel für lösemittelhaltige und lösemittelfreie Systeme, Hrsg. Walter Krauß, s. Hirzel Verlag 1998, ISBN 3-7776-0886-6
- [5] Hans-Josef Endres, Andrea Siebert-Raths: *Technische Biopolymere*. Hanser-Verlag, München 2009; Seite 113-114. ISBN 978-3-446-41683-3
- [6] U. Buller, T. Hirth: *Vom Rohstoff zum Produkt - Industrielle Biotechnologie und stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Beispiel für die verfahrenstechnische Forschung in der Fraunhofer-Gesellschaft*. Chemie Ingenieur Technik - CIT 81 (11); S. 1689-1696.
- [7] Artega-GT.de: *Infos über den Artega GT* ([http://www.artega-gt.de/info\\_artegagt.php](http://www.artega-gt.de/info_artegagt.php)) Auf: [www.Artega-GT.de/info\\_artegagt.php](http://www.Artega-GT.de/info_artegagt.php), 3. Juli 2008, 14:00 Uhr
- [8] Beispiel: Seite von Iowa-Foam (<http://www.iowafoam.com/products.html>), die auf drei Hersteller von „Bio“-Schäumen verweist.
- [9] Flame Retardants Center: Organic Phosphorus Compounds Center (<http://www.specialchem4polymers.com/tc/phosphorus-flame-retardants>)
- [10] *Dämmstoff: Polyurethan-Hartschaum (PUR) und PUR-Ortschaum, Montageschaum* auf [www.waermedaemmstoffe.com](http://www.waermedaemmstoffe.com) (<http://www.waermedaemmstoffe.com/htm/pur.htm>)

## Presskuchen

**Presskuchen** ist das bei der Herstellung von Pflanzenöl nach dem Prinzip der Kaltpressung produzierte Koppelprodukt. Bestandteile des Presskuchens sind die nach der Pressung der Ölsaaten und –früchte verbleibenden Feststoffe und der nicht ausgepresste Ölanteil. Bei der Olivenölherstellung wird der Presskuchen auch als Trester bezeichnet. Im Gegensatz zum Presskuchen wird das bei der Heißpressung oder Extraktion erzeugte Koppelprodukt Extraktionsschrot genannt.

Presskuchen ist ein mineralstoffreiches Produkt mit hohem Proteingehalt. Im Unterschied zu Extraktionsschrot hat Presskuchen zudem einen hohen Fettgehalt.



Rapskuchenpellets (pelletierter Presskuchen aus der Verarbeitung von Rapssaat)

## Zusammensetzung von Presskuchen in % der Trockenmasse<sup>[1]</sup>

	Rapspresskuchen	Sonnenblumenpresskuchen
<b>Rohprotein</b>	30-36	26,4
<b>Rohfett</b>	14,0-21,7	21,2
<b>Rohfaser</b>	7,8-13,7	29,0

Presskuchen eignen sich als Futtermittel in der Nutztierfütterung, mit Ausnahme der Produkte aus der Pressung ungenießbarer Rohstoffe (z. B. Jatrophaöl). Zudem werden Presskuchen als organischer Dünger, Brennstoff und Substrat zur Erzeugung von Biogas verwandt. Auch eine technische Nutzung, z. B. zur Proteinextraktion oder zur Herstellung von Verpackungen oder Naturdämmstoffen, ist möglich.

Kommt Presskuchen als Tierfutter zum Einsatz, können damit wegen des hohen Proteingehalts Futtermittelimporte, z. B. von Sojaextraktionsschrot, substituiert werden. Dies fördert die regionalen Wirtschaftskreisläufe, da die Kaltpressung von Ölsaaten und -früchten in so genannten dezentralen Ölmühlen stattfindet, die meist in einer landwirtschaftlichen Umgebung angesiedelt sind. In Deutschland ist die Erzeugung von Presskuchen auf der Basis gepresster Rapssaaten von Bedeutung, der so genannte Rapskuchen. Rapssaat ist in Deutschland der wichtigste Ausgangsstoff für die Erzeugung von Öl-/ Fettprodukten. Rapskuchen ist ein zunehmend verwendetes protein- und fettreiches Futtermittel für Rinder und Schweine.

## Quellen

Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann und Hermann Hofbauer (Hrsg.), 2009: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, 2. Auflage, S. 764-766, ISBN 9783540850946

## Weblinks

- Rapskuchen in der Schweinefütterung <sup>[2]</sup> (UFOP Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen)
- Presskuchen aus dezentralen Ölmühlen <sup>[3]</sup> (Technologie- und Förderzentrum, Freistaat Bayern)

## Referenzen

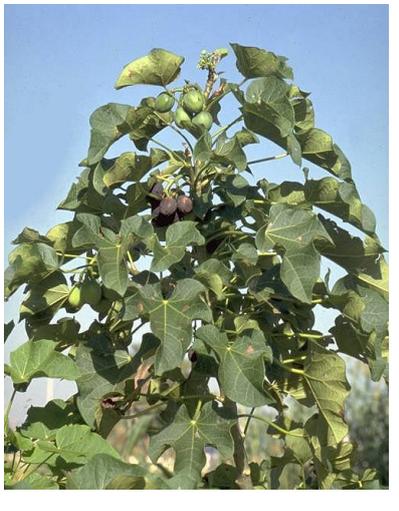
[1] Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann und Hermann Hofbauer (Hrsg.), 2009: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren.

Springer Verlag, 2. Auflage, S. 765, Tab. 13.6, ISBN 9783540850946

[2] <http://www.ufop.de/2173.php>

[3] <http://www.tfz.bayern.de/biokraftstoffe/16677/>

# Purgiernuss

Purgiernuss	
	
Purgiernuss ( <i>Jatropha curcas</i> )	
Systematik	
<i>Ordnung:</i>	Malpighienartige (Malpighiales)
<i>Familie:</i>	Wolfsmilchgewächse (Euphorbiaceae)
<i>Unterfamilie:</i>	Crotonoideae
<i>Tribus:</i>	Jatropeae
<i>Gattung:</i>	<i>Jatropha</i>
<i>Art:</i>	Purgiernuss
Wissenschaftlicher Name	
<i>Jatropha curcas</i>	
L.	

Die **Purgiernuss** (*Jatropha curcas*) ist eine Pflanzenart in der Gattung *Jatropha* aus der Familie der Wolfsmilchgewächse (Euphorbiaceae). Der deutsche Name der Art verweist auf die frühere Verwendung der Samen als Abführmittel (Purgativ). Der ebenfalls verwendete Name **Brechnuss** ist mehrdeutig, da er auch für die Gewöhnliche Brechnuss (*Strychnos nux-vomica*) und die ganze Gattung der Brechnüsse (*Strychnos*) verwendet wird. Auch der botanische Name verweist auf die frühere medizinische Verwendung (Kurmittel).

Häufig wird die Purgiernuss auch nach dem Gattungsnamen vereinfachend als *Jatropha* bezeichnet.

## Beschreibung

Die Purgiernuss ist ein sukkulenter Strauch von bis zu 8 m Höhe. Ihre Zweige, die einen leicht milchigen, rosa gefärbten Saft enthalten, sind von einer abschälenden Rinde bedeckt. Die auf 10 bis 15 cm langen Stielen gebildeten, leicht fünfblättrigen Blätter sind etwa 15 cm lang und breit. Die Nebenblätter sind winzig.

Die mehrfach verzweigten Blütenstände bilden meist ebene Köpfe. Männliche Blüten tragen 3 mm lange Kelchblätter, 6 mm lange, zur Hälfte miteinander verwachsene Kronblätter und acht Staubblätter. Weibliche Blüten tragen 5 mm lange Kelchblätter und 6 mm lange, frei stehende Kronblätter. Alle Kron- und Kelchblätter sind gelblich. Die bis 3 × 2 cm großen, dreilappigen Kapsel Früchte werden bei Reife schwarz und entlassen elliptische, 1,7 × 1 cm große Samen mit kleiner Caruncula (*Ölkörper*). Die Samen enthalten zu etwa 50 % fette Öle.

## Toxizität

Die Toxizität der Purgiernuss wird überwiegend von einem Lektin (*Zuckerprotein*), dem sogenannten Curcin, verursacht. Curcin ist in seiner Struktur ähnlich dem Rizin der Rizinusstaude. Der Samen enthält ebenfalls zahlreiche Diterpene, etwa Curcusion A. Diese haben hautreizende Eigenschaften.

## Verbreitung

Das natürliche Verbreitungsgebiet der Art liegt im tropischen Amerika, in der Karibik und von Mexiko bis Chile. Von dort wurde sie durch portugiesische und holländische Seefahrer nach Asien und Afrika gebracht.

## Kultivierung und Nutzung

### Kultivierung

Die Purgiernuss ist sehr robust, genügsam und wenig krankheitsanfällig. Da sie durch ihre Sukkulenz auch länger anhaltende Trockenheit gut übersteht und wegen ihres giftigen Saftes kaum von Tieren gefressen wird, ist sie in tropischen Ländern eine ideale Pflanze zur Aufforstung kahler Landstriche oder zur Wiederaufforstung wegen Dürre oder Bodenerosion aufgegebener Agrarflächen. Häufig wird sie auch als Schutzhecke um andere Nutzpflanzen gesetzt.

Von großem wirtschaftlichen Interesse ist das aus den Samen gewonnene Öl. Roh kann es als Lampenöl oder als Brennstoff zum Kochen verwendet werden. Weiter verarbeitet wird es zu Seife und Kerzen. Der nach der Extraktion des Öls verbleibende Presskuchen stellt einen sehr guten Dünger dar.

Ein noch ungelöstes Problem stellen die in den Samen und dem daraus gewonnenen Öl enthaltenen Giftstoffe dar. Da diese scharf brennend schmecken und drastisch abführend und brecherregend wirken, ist das Öl nicht zum Verzehr geeignet. Versuche, die Giftstoffe mit einer in tropischen Ländern praktikablen Methode zu entfernen, blieben bisher erfolglos. Neue Hoffnung wird daher in eine erst kürzlich in Mexiko entdeckten Form der *Jatropha curcas* gesetzt, die die Giftstoffe nicht oder nur in äußerst geringer Konzentration enthält.

Gerade in Regionen mit schwacher Infrastruktur kann der *Jatropha*-Anbau einen positiven ökonomischen und ökologischen Beitrag leisten:



*Jatropha curcas* Samen

- Da *Jatropha* auch auf ertragsschwachen Böden angebaut werden kann, konkurriert die Pflanze nicht direkt mit Flächen, die z. B. für die Produktion von Nahrungsmitteln genutzt werden können (Flächenkonkurrenz). Der Anbau von *Jatropha* kann den Landwirten damit eine zusätzliche Einnahmequelle erschließen.
- Weil das Öl nicht genießbar ist, stellt sich bei *Jatropha* der notorische Konflikt „Tank oder Teller“ („food or fuel“ - Nutzungskonkurrenz) nicht.
- Jatrophanüsse können über einen längeren Zeitraum ohne Haltbarkeitsprobleme gelagert und müssen nach der Ernte nicht sofort verarbeitet werden (im Gegensatz z. B. zu Palmöl).
- Jatrophaöl kann für den Eigenbedarf als direktes Substitut für Diesel verwendet werden und (nach einfacher Modifikation des Motors) in Fahrzeugen und Stromgeneratoren zum Einsatz kommen. Außerdem kann es zum Kochen oder als Energiequelle für Lampen benutzt werden.
- Dabei ist Jatrophaöl CO<sub>2</sub>-neutral und verbrennt geruchlos.
- Die Jatropha-pflanze kann zur Regeneration von Bodenqualität beitragen. Der bei der Ölpressung entstehende Presskuchen (*Jatropha Seed Press Cake*, JSPC) lässt sich zudem als sehr effektives organisches Düngemittel einsetzen.

Die Weltbank unterstützt den Anbau von *Jatropha curcas* mittlerweile unter vier Bedingungen, die z. B. in Indien gegeben sein können:

- keine Nutzung von fruchtbarem Land
- geringe Transportkosten
- angemessene Löhne
- Vermeidung von Erdölimporten

### Nutzung als Treibstoff

Ein besonderes Interesse gilt der Verarbeitung zu Biodiesel und vor allem kaltgepresstem Pflanzenöl, das insbesondere finanzschwachen tropischen Ländern den Import teuren Erdöls erspart, weil es in speziell angepassten Motoren direkt genutzt werden kann. In einer Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) und der Universität Stuttgart-Hohenheim wird daher in einem Forschungs- und Produktions-Projekt im indischen Gujarat der Anbau dieser Pflanze forciert. Mit dem dort erzeugten Kraftstoff können Dieselmotoren betrieben werden, welche die Abgasnorm Euro 3 erfüllen.

Die Samen haben einen Ölanteil von über 30 %, das obendrein mit einer Cetanzahl von etwa 60 (Biodiesel aus Rapsöl hat lediglich etwa 54) ein sehr effektives, technisch nutzbares Pflanzenöle ist. Der Anbau ist demnach besonders lohnend, nicht nur für die Subsistenzwirtschaft (Ölproduktion für den Eigenbedarf), sondern auch für den Weiterverkauf auf den internationalen Markt. Derzeit (Stand: Juli 2008) liegt die weltweite Anbaufläche bei knapp 1 Million Hektar, etwa 80 % dieser Fläche entfallen dabei auf die asiatischen Länder, insbesondere Indien, China und Indonesien.<sup>[1]</sup> Aber auch in Südamerika und Afrika erfährt der kommerzielle *Jatropha*-Anbau einen Boom. Neuen Studien zufolge besteht weltweit ein Anbaupotenzial von zirka 300 Millionen Hektar.

Boeing und Air New Zealand haben in einem Forschungsprojekt einen biologischen Flugzeugtreibstoff entwickelt, der je zur Hälfte aus Purgiernussöl und Kerosin besteht. Der erste Flug mit diesem Treibstoff hat am 30. Dezember



Jatropha-Plantage im ariden Westen des Paraguay Chaco

2008 stattgefunden. Dazu wurde ein Jumbojet verwendet, bei dem ein Rolls-Royce-RB211-Triebwerk mit dem neuen Treibstoff betrieben wurde. Der Treibstoff hat einen Gefrierpunkt bei  $-47\text{ °C}$  und einen Flammpunkt bei  $38\text{ °C}$  und hat somit ähnliche Eigenschaften wie die heute am meisten verwendeten Kerosin Sorte Jet A-1. Auch Continental Airlines und Japan Airlines planen, im Januar 2009 Testflüge durchzuführen.<sup>[2] [3] [4] [5] [6] [7]</sup>

Am 9. Januar 2008 teilten die Bayer AG, der amerikanische Agrarkonzern Archer Daniels Midland Co. und der Automobilkonzern Daimler AG mit, in einer Kooperation *Jatropha curcas* als Lieferant von Einsatzstoffen zur industriellen Herstellung von Biodiesel erforschen und entwickeln zu wollen. In diesem Zusammenhang wollen die Unternehmen verbindliche Produktions- und Qualitätsstandards für aus *Jatropha* produzierten Biodiesel definieren.

## Diskussion um *Jatropha*-Anbau

Aufgrund der positiven Auswirkungen des *Jatropha*anbaus erfährt das Thema ein hohes Maß an Aufmerksamkeit und Unterstützung aus der internationalen Entwicklungspolitik und der jeweiligen lokalen Politik. Tatsächlich kann die Kultivation der *Jatropha*pflanze viele positive Effekte ökologischer, ökonomischer (und sozialer) Art freisetzen, allerdings sollten auch mögliche negative Auswirkungen nicht vernachlässigt werden. Beispielsweise greift das Argument, *Jatropha* stehe nicht in Konkurrenz mit dem Anbau von Nahrungsmitteln, naturgemäß dann nicht, wenn die Pflanze auf Flächen ausgesät wird, die sich aufgrund der Bodenqualität auch für den Nahrungsmittelanbau eignen. Ein attraktiver Abnahmepreis für *Jatropha*öl treibt beispielsweise in einigen Regionen Afrikas viele Bauern dazu, von Nahrungsmittel- auf *Jatropha*anbau umzusteigen und dadurch weiter zur lokalen Lebensmittelknappheit beizutragen.

Die Pflanze ist genau wie jede andere Art anfällig für Schädlinge und Krankheiten, was besonders in größeren Monokulturen problematisch werden kann. Darüber hinaus handelt es sich bei *Jatropha* um eine Wildpflanze, über deren genaue Eigenschaften hinsichtlich Ernteoptimierung, Ertragsmaximierung etc. noch großer Forschungsbedarf besteht – die wissenschaftliche Forschung steht bezüglich der Zucht von Samen und Pflanzen noch weit am Anfang.

Auch der Anbau auf nicht zum Ackerbau geeigneten Flächen steht in der Kritik, weil auch auf diesen Flächen teilweise Konflikte mit Nutzungen durch die örtliche Bevölkerung oder nomadische Volksgruppen bestehen. Entsprechende Konflikte mit etablierten Formen der extensiven Landwirtschaft beschreibt Amnesty International beispielsweise aus Regionen Indiens.<sup>[8]</sup>

Die Schweizer Zeitung *Die Wochenzeitung* (WOZ) analysierte die Vor- und Nachteile. Die magere Ausbeute pro Hektar und der hohe Energieaufwand für Kunstdünger und die Weiterverarbeitung der Samen lassen das Allheilmittel zweifelhaft erscheinen. „Man muss *Jatropha* als eine Pflanze für lokale Anwendungen im Kleinen sehen, für Lampenöle, Seifen und Ähnliches. Da ist sie sehr sinnvoll“, wird eine Wissenschaftlerin zitiert. „Aber im großtechnischen Maßstab kann es schnell in eine ungewollte Richtung gehen.“<sup>[9]</sup>

In der Europäischen Union (EU) soll der Anteil an Biokraftstoff in den nächsten Jahren deutlich ausgebaut werden. Um die Nachhaltigkeit bei der Erzeugung der Biokraftstoffe sicherzustellen, wurden in 2009 entsprechende Vorgaben mit der EU-Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare-Energien-Richtlinie) erlassen. Durch die bis 2010 vollständig in Kraft getretene Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV) und Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV) wurden diese Vorgaben in deutsches Recht umgesetzt. Kriterien zur Umwelt- und Klimaverträglichkeit, zu sozialen Aspekten und anderem sind enthalten und sollen Fehlentwicklungen bei der Biokraftstoffherzeugung, z. B. aus *Jatropha*, vermeiden. Mit Zertifizierungssystemen für Biomasse soll die Nachvollziehbarkeit der Herkunft auch aus Nicht-EU-Staaten sichergestellt werden.<sup>[10] [11]</sup>

## Aktuelle Bedeutung und Perspektive

In 2008 publizierten die Organisationen Global Exchange for Social Investment (GEXSI) und des World Wide Fund For Natur (WWF) die Studie *GEXSI Global Market Study on Jatropha*. Inhalt war eine Erfassung des aktuellen Stands und eine Abschätzung der zukünftigen Entwicklung. In 2008 bestanden über 900.000 ha Jatropha-Anbaufläche in 242 Projekten. 85 % der Flächen fanden sich in Asien, weitere in Afrika und Südamerika. Bis 2010 wurde eine Ausweitung auf fast 5 Mio. ha und bis 2015 auf rund 13 Mio. ha prognostiziert. Die jährlichen Investitionen lägen im Schnitt bei 0,5 bis 1 Mrd. \$. Derzeitige Initiativen (2008) gehen vor allem von Regierungen aus, vermehrt engagieren sich aber auch Ölonternehmen und Energiekonzerne.<sup>[1]</sup>

Die Anbauflächen in 2008 waren zuvor zu 45 % landwirtschaftlich genutzte Flächen für den Nicht-Nahrungsbereich. 5 % waren einstige Sekundär- und 0,3 % Primärwaldflächen. Nur 1,2 % waren zuvor für die Nahrungsmittelerzeugung genutzt worden. Auf rund der Hälfte der Fläche findet Bewässerung statt.<sup>[1]</sup>

## Kultivierung als Zierpflanze

Bei uns als Zierpflanze gehalten benötigt die Purgiernuss einen warmen und vollsonnigen Stand. Die Vegetationsperiode dauert etwa von April bis Oktober. Wenn im Herbst die Blätter welken, muss die Pflanze bis zum Frühling warm (min. 15 °C) und trocken gehalten werden. Wird im Winter gegossen, vergeilt die Pflanze oder kann faulen.

## Galerie



Blütenstand



Unreife, grüne und reife, schwarze Früchte



Frucht und Samen



Presse zur Extraktion des Öls

## Literatur

- Carl von Linné: *Species Plantarum* (ed.1) 1: 1006, 1753
- Alph. Steger, J. van Loon: *Das fette Öl der Samen von Jatropha curcas*, Fette und Seifen, 49(11): 769-840, 1942
- J. Heller: *Physic nut Jatropha curcas L.*, 1996, ISBN 92-9043-278-0
- N.D. Prajapati & Tarun Prajapati (Ed.): *A handbook of Jatropha curcas Linn. (physic nut)*, Asian Medicinal Plants and Health Care Trust, 2005, ISBN 81-89070-05-3
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Sonderheft 294: *Möglichkeiten der Dekontamination von „Unerwünschten Stoffen nach Anlage 5 der Futtermittelverordnung (2006)“*, 2006
- Michael Schwelien: *Treibstoff aus der Giftpflanze*, DIE ZEIT, 31. Dezember 2004
- Ranty Islam: *Indisches Nuß-Öl soll Autos antreiben*, DIE WELT, 2. Dezember 2006
- Latschan, J.: *Sustainable energy: Risks and opportunities of biomass for biofuel. The case of Jatropha cultivation in India*. Lüneburg: Centre for Sustainability Management, 2009 CSM Lüneburg<sup>[12]</sup> (2,4 MB)

## Weblinks

- Englischsprachige Monographie der Art <sup>[13]</sup> von Joachim Heller (Gatersleben) (PDF-Datei; 767 KB)
- Jatrophaseite mit weiteren Fotos <sup>[14]</sup>
- Zur Giftigkeit von *Jatropha curcas* <sup>[15]</sup>
- Technology Review: *Indiens große Biodiesel-Pläne* <sup>[16]</sup>
- heise.de: *Der große Durst der Jatropha* <sup>[17]</sup>
- Jatropha erfüllt nicht die hohen Erwartungen <sup>[18]</sup>
- n-tv.de: *Die Wunderpflanze* <sup>[19]</sup>
- Solarstromanlage mit Jatropha-Motor in Tansania <sup>[20]</sup>
- FairTradeFuel.org <sup>[21]</sup>
- Informationen über Jatropha-Öl und die Nutzungsmöglichkeiten zur Strom- und Wärme­gewinnung <sup>[22]</sup>
- Bestes Biodiesel – Die Jatrophanuss könnte Indien mobil machen <sup>[23]</sup> in Abenteuer Wissen vom 26. November 2009

## Referenzen

- [1] www.jatropha-platform.org: *GEXSI Global Market Study on Jatropha* ([http://www.jatropha-platform.org/documents/GEXSI\\_Global-Jatropha-Study\\_FULL-REPORT.pdf](http://www.jatropha-platform.org/documents/GEXSI_Global-Jatropha-Study_FULL-REPORT.pdf)), Studie von GEXSI und dem World Wide Fund For Nature (WWF) über den derzeitigen Stand des weltweiten Jatrophaanbaus, mit mehreren Fallbeispielen, vom Mai 2008, abgerufen am 9. März 2010
- [2] *Jumbo-Jet mit Pflanzenöl im Tank* auf NZZ Online ([http://www.nzz.ch/nachrichten/wissenschaft/erfolgreicher\\_testflug\\_mit\\_biotreibstoff\\_in\\_neuseeland\\_1.1621428.html](http://www.nzz.ch/nachrichten/wissenschaft/erfolgreicher_testflug_mit_biotreibstoff_in_neuseeland_1.1621428.html))
- [3] *Air New Zealand testet Jatropha-Kerosin* auf SPIEGEL Online (<http://www.spiegel.de/reise/aktuell/0,1518,590257,00.html>)
- [4] *Air New Zealand Jet Flies on Jatropha Biofuel* auf Environment News Service (<http://www.ens-newswire.com/ens/dec2008/2008-12-30-02.asp>) (englisch)
- [5] Boeing und Air New Zealand: Testflug mit Biotreibstoff im Dezember [airliners.de](http://www.airliners.de/news/artikelseite.php?articleid=16725) (<http://www.airliners.de/news/artikelseite.php?articleid=16725>)
- [6] *Spezialisten in Frankreich - Air New Zealand verschiebt geplanten Biotreibstoff-Testflug in Weiter Rätselraten um A320-Unglück - Beide Flugschreiber des abgestürzten Airbus geborgen* [airliners.de](http://www.airliners.de/news/artikelseite.php?articleid=16854) (<http://www.airliners.de/news/artikelseite.php?articleid=16854>)
- [7] heise.de: Flugbenzin vom Feld (<http://www.heise.de/tr/Flugbenzin-vom-Feld--/artikel/119934>)
- [8] Manshi Asher: *Kleinbauern als Versuchskaninchen*. (<http://www.amnesty.ch/de/aktuell/magazin/55/biotreibstoffe-indien>)«amnesty - Magazin der Menschenrechte» vom September 2008. Herausgegeben von Amnesty International, Schweizer Sektion
- [9] Die Wochenzeitung: *Die entzauberte Nuss*, 21. Februar 2008 (<http://www.woz.ch/artikel/inhalt/2008/nr08/Wissen/15974.html>)
- [10] *Bundesgesetzblatt online: Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von flüssiger Biomasse zur Stromerzeugung - (Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung - BioSt-NachV)* ([http://www.bgbl.de/Xaver/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBI&bk=Bundesanzeiger\\_BGBI&start=/\\*\[@attr\\_id='bgbl109s2174.pdf'\]](http://www.bgbl.de/Xaver/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&bk=Bundesanzeiger_BGBI&start=/*[@attr_id='bgbl109s2174.pdf'])). www.bgbl.de. Abgerufen am 9. März 2010.
- [11] *Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen (Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung - Biokraft-NachV)* (<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/biokraft-nachv/gesamt.pdf>), vom 30. September 2009 BGBl. I 3182, abgerufen am 9. März 2010
- [12] [http://www.uni-lueneburg.de/umanagement/csm/content/nama/downloads/download\\_publicationen/Latschan\\_CSM\\_2009.pdf](http://www.uni-lueneburg.de/umanagement/csm/content/nama/downloads/download_publicationen/Latschan_CSM_2009.pdf)
- [13] <http://www.biodiversityinternational.org/Publications/Pdf/161.pdf>
- [14] <http://www.jatropha.de/>
- [15] [http://www.giftpflanzen.com/jatropha\\_curcas.html](http://www.giftpflanzen.com/jatropha_curcas.html)
- [16] <http://www.heise.de/tr/artikel/83759>
- [17] <http://www.heise.de/tr/artikel/140142/0/203>
- [18] <http://www.schattenblick.de/infopool/politik/redakt/afka1824.html>
- [19] <http://www.n-tv.de/819811.html>
- [20] <http://www.sonne-ueber-mbinga.de/>
- [21] <http://www.fairtradefuel.org/>
- [22] <http://www.jatropha-oe.de/>
- [23] <http://abenteuerwissen.zdf.de/ZDFde/inhalt/9/0,1872,7931785,00.html>

# Pyrolyse

Die **Pyrolyse** bzw. **pyrolytische Zersetzung** (von griechisch: *pyr* = Feuer, *lysis* = Auflösung) ist eine thermo-chemische Spaltung organischer Verbindungen, wobei durch hohe Temperaturen (500-900°C) ein Bindungsbruch innerhalb großer Moleküle in kleinere erzwungen wird. Im Gegensatz zur Vergasung und zur Verbrennung geschieht dies ausschließlich unter der Einwirkung von Wärme und ohne zusätzlich zugeführten Sauerstoff, das Verbrennungsluftverhältnis ist  $\lambda = 0$ .<sup>[1]</sup> Bei sauerstoffhaltigen Brennstoffen, bsp. bei Biobrennstoffen wie Holz mit einem Sauerstoffanteil von etwa 44 Massen-Prozent können jedoch trotzdem Oxidationsreaktionen an den Zersetzungsprozessen beteiligt sein.<sup>[1]</sup>

Ältere Bezeichnungen für die Pyrolyse sind *Brenzen*, *Trockene Destillation* oder *Entgasung*. Das Wort Brenzen tragen einige chemische Verbindungen in ihrem Namen, als Hinweis auf die Art ihrer Herstellung. Beispiele sind: Brenzcatechin, Brenzschleimsäure und Brenztraubensäure. Auch beim Verkoken von Kohle und bei der Holzkohle-Herstellung bzw. Holzvergasung finden Pyrolysevorgänge statt, neben Koks bzw. Holzkohle entsteht brennbares Gas und Teer. Chemisch gesehen ist auch das Cracken von Erdöl ein Pyrolyseverfahren, wird jedoch nicht so genannt.

Beim Brandverhalten von Holz bezeichnet man als Pyrolyse auch den Zeitpunkt, an dem die oberste Holzschicht langsam verkohlt und somit für den Restquerschnitt eine wärmedämmende Schutzschicht bildet. Im sogenannten Temperaturbrandzeitkurvendiagramm geschieht die Pyrolyse in Phase 1 (Zündung) bei Temperaturen zwischen 100 und 200 °C.

## Technischer Prozeß

### Differenzierung Pyrolyse - Vergasung

Zumeist bezeichnet man mit dem Wort Vergasung Vorgänge, bei denen unter Zugabe eines Vergasungsmittels (Dampf, Luft oder Sauerstoff) der gesamte organische Gehalt des Einsatzstoffs in gasförmige Stoffe umgewandelt wird, wobei nur die mineralische Asche oder Schlacke zurückbleibt. Dabei wird der Feststoff zu Kohlenmonoxid oxidiert und damit teilverbrannt<sup>[1]</sup>

Das Wort Pyrolyse wird im engeren Sinne für Vorgänge verwendet, bei denen neben den mineralischen Bestandteilen des Einsatzstoffes auch fester Kohlenstoff zurückbleibt. Dieser Rest wird bei nennenswertem Kohlenstoffgehalt auch als Pyrolysekoks bezeichnet.



Pyrolyseöl aus Getreideabfällen

## Pyrolyseprodukte

Generell entstehen Gase, Flüssigkeiten und Feststoffe. Die Mengenanteile und die Zusammensetzung hängen nicht nur vom Einsatzstoff, sondern auch von der Pyrolysetemperatur, den zugegebenen Hilfsstoffen, den Druckverhältnissen und der Behandlungsdauer ab. Je nach zu pyrolysierendem Produkt und Reaktionstemperatur entstehen z. B. eher langkettige oder kurzkettige Moleküle. Bei der Pyrolyse von Polymeren entsteht in vielen Fällen das zugehörige Monomer als bedeutsamer Anteil des Pyrolysegases.

An Kältebrücken am Reaktor können dampfförmige Pyrolyseprodukte (z.B. Teeröl) kondensieren und möglicherweise an Undichtigkeiten heraustropfen.



Holzkohle als Pyrolyseprodukt

## Grundvarianten des Verfahrens

Es gibt zwei Grundvarianten, zum einen die direkte, und zum anderen die indirekte Pyrolyse.

Die *direkte* Pyrolyse erhitzt das zu pyrolysierende Gut durch Verbrennungsgase. Die Pyrolyse kann die erforderliche Wärmeenergie aus dem Pyrolysegut selbst gewinnen. Hier wird die Reaktionstemperatur durch die Luftzufuhr in einen geschlossenen Behälter gesteuert.

Bei der *indirekten* Pyrolyse (abgeschlossener, von außen erhitzter Raum) können gezielt sauerstofffreie Atmosphären eingestellt werden. Die Beheizung von außen erfolgt in den meisten Systemen durch heiße Gase. Insbesondere bei Laboranlagen gibt es auch elektrische Heizungssysteme.

Meistens geschieht die Pyrolyse unter Sauerstoffausschluss (anaerob), um die Verbrennung zu verhindern. Man spricht dann auch von *Verschwelung*. Gegebenenfalls werden Dehydrierungs- oder Dehydratisierungsmittel während des Vorgangs hinzugesetzt.

Die sogenannte Kohleverflüssigung ist die Reaktion von Kohle unter Zugabe von Wasserstoff zu Kohlenwasserstoffen. Es ist kein Pyrolyseverfahren, obwohl auch hier ein Feststoff zu einer Flüssigkeit wird. Die Herstellung von Kraftstoffen aus Biomasse, BtL-Kraftstoff, ist dagegen ein Pyrolyse- und Destillationsverfahren.

## Technische Anwendungen

### Anwendungsbeispiele für Pyrolyse in Drehrohröfen

Diese Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass das Pyrolysegas in der gesamten Anlage nahezu drucklos ist.

#### Aktivkohleherstellung und -regenerierung

Nachdem Kohle und Binder zu einer definierten Masse gemischt sind, werden Pellets gepresst und in einer sauerstofffreien Atmosphäre erhitzt.

Verbrauchte, d.h. mit dem Schadstoff belastete Aktivkohle wird in einer sauerstofffreien Atmosphäre erhitzt und die Schadstoffe werden bei Temperaturen um die 800 °C ausgetrieben und auch teilweise gecrackt.

## Pyrolyse von Abfall

Die Schwierigkeit bei der Pyrolyse von Abfall liegt in dem inhomogenen Produkt mit einer Vielzahl von Schadstoffen. Die eigentliche Pyrolyse ist relativ problemlos. Die Probleme bereiten die Aufarbeitung des angelieferten Abfalls, sowie die Nutzung des Pyrolysegases. Der mit Schwermetallen durchsetzte Pyrolysekoks ist in der Regel nur auf Deponien zu entsorgen.

### Purotherm Pyrolyse

Zunächst wird der Abfall unter Sauerstoffmangel entgast und anschließend das entstandene Gas verbrannt. Die heißen Abgase werden zur Energiegewinnung (insbesondere Dampferzeugung durch Wärmetausch) genutzt. Die anfallende Asche ist ohne Nachbehandlung deponiefähig. Diese Pyrolysemethode wird vor allem in Kleinanlagen mit Durchsatzleistungen bis 600 kg/h angewendet.

### Contherm-Verfahren

Seit 2001 ist im Kraftwerksblock des Steinkohlekraftwerks Hamm (Westfalen) eine Vorschaltanlage in Betrieb und entsorgt seitdem ca. 100.000 t/a an Restmüll. Das entstehende Pyrolysegas ersetzt einen Teil des vom regulären Kraftwerksblock benötigten Kohlenstaubes. Die Verfahrenskonzeption entstand Mitte der 1980er Jahre bei der 1996 an die Mannesmann MDEU gegangene Firma PLEQ, die sich auf den Bau von Drehrohröfen spezialisiert hatte. Von Mannesmann MDEU bzw. Technip Germany wurde diese Anlage gebaut und in Betrieb genommen.

### Babcock-Pyrolyse

Seit Mitte der 1980er Jahre ist die bei Burgau (Landkreis Günzburg) angesiedelte MPA Burgau in Betrieb und entsorgt seitdem 26.000 t pro Jahr (t/a) Hausmüll, zerkleinerten Sperrmüll und Klärschlamm. Das Pyrolysegas wird direkt verbrannt. Die heißen Rauchgase werden zur Beheizung der beiden Pyrolysetrommeln und zur Erzeugung von Dampf verwendet. Aus dem Dampf wird Strom erzeugt. Diese Anlage war über Jahre die einzige funktionierende Müllpyrolyseanlage in Deutschland.

### Thermoselect-Verfahren

Das Thermoselect-Verfahren wurde großtechnisch in der Karlsruher Anlage umgesetzt. Diese wurde allerdings aufgrund der sehr hohen Kosten 2004 stillgelegt. Nach Pressemitteilungen von EnBW summierten sich die mit der Anlage erzielten Verluste auf über 400 Millionen €. Aufgrund von Lizenzvergaben wurden in Japan Anlagen dieses Systems errichtet, die Autoshreder-Leichtfraktion verarbeiten. Eine weitere Anlage zur Verarbeitung von Hausmüll sollte bei Ansbach (Bayern) in Betrieb gehen. Zu einer Fertigstellung kam es aufgrund von Vertragsstreitigkeiten zwischen dem Abfallentsorgungsverband und Thermoselect nicht. Am 13. April 2007 entschied das Landgericht Ansbach, dass Thermoselect das Gewerbegrundstück räumen muss.

### Schwel-Brenn-Verfahren (Siemens)

Der Zweckverband Abfallbeseitigung Rangau (ZAR), in dem sich die Stadt Fürth und zwei umliegende Landkreise zusammengeschlossen haben, beschloss am 14. Januar 1999 einstimmig, die Anfang 1997 fertiggestellte Anlage zur Verschmelzung von Haus- und Gewerbemüll nicht in Betrieb zu nehmen.<sup>[2]</sup> Mit der Anlage am Fürther Hafen wollte die Firma Siemens das von ihr entwickelte Schwel-Brenn-Verfahren erstmals im großtechnischen Maßstab verwirklichen. Bis dahin war diese Technik nur in einer Pilot-Anlage in Ulm-Wiblingen erprobt worden. Der Ausstiegsbeschluss des Zweckverbandes erfolgte wegen Störfällen beim Probetrieb der Anlage, bei denen Schwelgas austrat. Die folgenschwerste Panne ereignete sich am 12. August 1998, als zahlreiche Anwohner über Augen- und Hautreizungen klagten und die Anlage vorläufig stillgelegt werden musste.

### PKA-Verfahren

Beim PKA-Verfahren werden die Pyrolysegase nicht direkt verbrannt, sondern einem Crackprozess unterworfen. Derartige Anlagen wurden in Aalen (Baden-Württemberg), Freiberg (Sachsen) und Kawasaki (Japan) errichtet. Die Hausmüllpyrolyseanlage Aalen wurde nach Insolvenz des Betreibers zunächst

weiterbetrieben, jedoch 2002 stillgelegt und anschließend demontiert. Die Industriemüllpyrolyseanlage Freiberg wurde nach Insolvenz des Betreibers an die Pyral AG verkauft, umgebaut und ist heute nach einem anderen Verfahrenskonzept in Betrieb. Die Anlage in Kawasaki wurde nach dem ursprünglichen PKA-Konzept betrieben, d. h., aus den gecrackten Pyrolysegas wird in Gasmotoren Strom erzeugt. Die Anlage wurde 2007 aus betriebswirtschaftlichen Gründen stillgelegt. Die Firma PKA selbst ging 2002 in Insolvenz.<sup>[3]</sup>

### **Altholzrecycling**

Seit 2005 ist eine Drehrohrpyrolyseanlage (Hersteller TechTrade/MHI) für Altholzrecycling in Japan in Betrieb. Hergestellt wird ein Koks, der für weitere chemische Prozesse benötigt wird.

### **Bodensanierung**

Zu Beginn der 1980er Jahre im Schatten der großen Tankerunglücke wurde die Pyrolysetechnik von der Firma PLEQ zur Bodensanierung zur Marktreife gebracht und es wurden verschiedene Anlagen für folgende Stoffe gebaut:

- ölverseuchte Böden,
- quecksilberverseuchte Böden,
- dioxinverseuchte Böden.

Organisch belastete Böden werden in einer direkt oder indirekt mit Öl- oder Gasbrennern beheizten Drehtrommel entgast. Die organischen Schadstoffe werden auf diese Weise aus dem Material ausgetrieben und in einer Nachverbrennung zerstört. Falls im Einsatzstoff enthalten, werden leichtflüchtige Schwermetalle (Quecksilber) ebenfalls mobilisiert und dann in einer speziellen Rauchgasreinigung abgeschieden. Dioxine und Furane zerlegen sich ab ca. 500 °C bei Sauerstoffmangel (Hagenmaier-Prozess).

Im Gegensatz zur direkten Befeuerung entstehen bei der indirekten pyrolytischen Bodenreinigung nur geringe Mengen an Pyrolysegas. Dadurch kann die Pyrolysegasreinigung deutlich kleiner und günstiger ausfallen. Dieser Vorteil muss allerdings mit einer aufwendigeren Anlagentechnik für die indirekte Beheizung erkauft werden.

In Deutschland wird eine Anlage von der SITA betrieben. 2007 wurde die Pyrolysetrommel und Heizmuffel durch TechTrade vom Typ MAXI-08 auf Typ MASTER-09 vergrößert.

### **Flash-Pyrolyse von Biomasse**

Flash-Pyrolyse ist ein Mitteltemperaturprozess (ca. 475 °C) zur Verflüssigung, in dem Biomasse unter Sauerstoffausschluss sehr schnell erhitzt wird. Die entstehenden Pyrolyseprodukte werden schnell abgekühlt und kondensieren zu einer rötlich-braunen Flüssigkeit, die etwa die Hälfte des Heizwertes eines konventionellen Heizöles besitzt (*Pyrolyseöl*). Flash-Pyrolyse ist im Gegensatz zur Holzverkohlung ein Verfahren, dessen spezielle Verfahrensparameter hohe Flüssigausbeuten ermöglichen. Die wesentlichen Merkmale der Flash-Pyrolyse sind:

- sehr hohe Aufheiz- und Wärmeübertragungsraten, die eine kleine Partikelgröße (2–5 mm) erfordern;
- Temperaturkontrolle im Bereich von ca. 475 °C, schnelles Abkühlen und Abscheiden der Produkte zur Erzielung hoher Flüssigausbeuten.

Das Hauptprodukt Pyrolyse- oder Bio-Öl wird in Ausbeuten von ca. 75 % (bezogen auf trockenen Rohstoff) gewonnen. Zusätzlich entstehen als wertvolle Nebenprodukte Holzkohle (10–15 %) und Gas (15–20 %), die zur Erzeugung von Prozessenergie eingesetzt werden können, so dass – außer Asche – kein Abfall anfällt. Von den zahlreich entwickelten Reaktorkonfigurationen haben sich stationäre und zirkulierende Sandwirbelbett-Reaktoren durchgesetzt, da sie relativ leicht beherrschbar sind und ihr Up-scaling problemlos ist.

Die Verfahren für Holz können auch für andere organische Stoffe angewendet werden (Energiepflanzen, getrockneter Biomüll) und spielen eine zunehmende Rolle bei der Etablierung nachhaltiger Energieerzeugung.

Flash-Vakuum-Pyrolyse oder Blitz-Vakuum-Pyrolyse

In der Synthesechemie dient die „Flash-Vakuum-Pyrolyse“ oder „Blitz-Vakuum-Pyrolyse“ zur Spaltung von Edukten zu einem gewünschten Endprodukt. Es wird unter niedrigem Druck und hohen Temperaturen in geschlossenen Apparaturen gearbeitet, wobei *statische* und *dynamische Prozesse* unterschieden werden.<sup>[4]</sup>

#### Halo-Clean-Verfahren

Ein von SeaMarconi patentiertes Verfahren, bei dem mit Hilfe von umlaufenden aufgewärmten Kugeln das Produkt aufgeheizt wird. Problematisch ist der Umlauf der vielen 10.000 heißen Kugeln.

## Holz- bzw. Biomassevergasung

*Hauptartikel:* Holzvergasung, Biomassevergasung

Unter Biomassevergasung wird ein Prozess verstanden, bei dem Biomasse in ein Synthese- oder Brenngas umgewandelt wird. Dabei wird die Biomasse über eine Pyrolyse verkohlt. Das entstehende Pyrolysegas stellt ein Gemisch aus Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H<sub>2</sub>), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) sowie einer Reihe von Spurengasen und Verunreinigungen dar. Als Rohstoffe kommen bei der Biomassevergasung vor allem lignocellulosereiche Agrarrohstoffe sowie Forstholz in Betracht, eine Spezialform ist die Holzvergasung, bei der als Rohstoff Holz eingesetzt wird. Bisherige Biomassevergasungsanlagen sind auf die Vergasung von Holz in Form von Forstholz und Waldrestholz ausgelegt, die als Holzhackschnitzel zugeführt werden.



Holzvergaser Güssing (2006)

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 Wasserstoff) unterscheiden. Dabei werden in der Regel drei grundsätzliche Reaktortypen genutzt: Festbettvergaser, Wirbelschichtvergaser und Flugstromvergaser.

## Verfahrensarten für die Pyrolyse von Altreifen

Bei der Altreifenpyrolyse werden verschiedene Verfahrensansätze preferiert. Zum einen sind es Batch-Öfen, die chargenweise arbeiten, zum anderen sind es kontinuierlich arbeitende Öfen. Bei den kontinuierlichen Pyrolyseöfen wird wiederum zwischen Schachtofen und Drehrohröfen unterschieden.

#### Depolyse-Verfahren

Für eine erste Anlage wurde im Dezember 2009 der Spatenstich in Halle (Saale) vorgenommen.

#### Drehrohrpyrolyse-Verfahren (TTi/DGE)

In einem indirekt beheizten Pyrolyse-Drehrohr wird das Altreifengranulat thermisch in Pyrolysegas und Pyrolysekoks zerlegt. Je nach Einsatzfall kann das Pyrolysegas direkt verwendet werden oder es wird kondensiert, um Pyrolyseöl und Permanentgas zu erhalten. Eine erste Anlage (Typ MAXI-08) wurde von DGE im August 2009 in Zypern in Betrieb genommen. Angeboten werden zur Zeit Anlagengrößen mit einer Pyrolyseleistung von 300kg/h (MINI-05) bis 2.000kg/h (MASTER-12). Der Betreiber CBp plant eine 2. Anlage.

#### FORMEX-Verfahren

In einer Zinnbad-Schmelze werden die Reifen bei knapp 500°C thermisch zerlegt. Eine großtechnische Anlage ist im Chemiepark Marl für 2010 angekündigt.

#### Pyrum-Verfahren

In einem vertikalen Schachtreaktor wird das Reifengranulat thermisch in die Bestandteile zerlegt und in einer 2. Kolonne in die gewünschten Ölbestandteile zerlegt.

### Kunststoffrecycling

Zum Kunststoffrecycling wird eine Wirbelschicht-Pyrolyse nach dem sogenannten Hamburger Verfahren eingesetzt.

### Sonstige Pyrolyseverfahren

- Acetyलगewinnung durch das HTP-Verfahren.
- das Cracken als Verfahren der Petrochemie zur Herstellung von aromatenreichem Benzin, das sich durch gute Klopfestigkeit auszeichnet (Pyrolysebenzin).
- Rußherstellung
- Wasserstoffgewinnung aus Wasser unter Verwendung von Plasmabrennern.
- Holzkohle-Herstellung
- Kokerei (Koks-Herstellung aus Braun- oder Steinkohle)
- Torrefizierung als partielle Pyrolyse unter milden Temperaturen zur Erhöhung des Heizwerts von Biomasse

### Explosionssicherheit

Ist die Temperatur der Reaktionskammer zu niedrig oder wird durch fehlerhafte Dichtungen beim Abkühlen Sauerstoff eingesaugt, kann sich ein explosives Gemisch bilden. Ab ca. 450 °C reagiert der freie Sauerstoff jedoch sofort im Sinne einer Teilverbrennung mit dem brennbaren Reaktorinhalt (Gas, Kohlenstoff) und es können sich keine explosiven Gemische mehr bilden.

### Weblinks

- Holzverflüssigung durch Flash-Pyrolyse <sup>[5]</sup>
- Homepage zum Projekt "Pyrum Innovations" <sup>[6]</sup>
- Mögliche Altreifen-Pyrolyse-Verfahren <sup>[7]</sup>
- Flash-Pyrolyse-BioPyrolyseöl-/koks-Stroh-2010 in der ProBas-[[Datenbank <sup>[8]</sup>] des Umweltbundesamts], abgerufen am 02.03.2010

### Referenzen

- [1] Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer (Hrsg.): *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Springer Verlag, Berlin und Heidelberg 2009; S. 378-379. ISBN 978-3-540-85094-6.
- [2] SZ, 15. Januar 1999
- [3] Schwäbische Post, Aalen; Freie Presse Freiberg; Yamanaka AG, Japan; Handelsregister Aalen
- [4] N. Rumpf: *Thiete und Bisthiete in der Heterocyclensynthese*. (pdf) ([http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=972177892&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=972177892.pdf](http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=972177892&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=972177892.pdf)) Dissertation, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 2003.
- [5] <http://www.bfafh.de/inst5/51/index.htm>
- [6] <http://www.pyrum.net>
- [7] <http://dengineering.de/Pyrolyse-Altireifen-Entsorgung.html>
- [8] [http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/themen.php?&prozessid={A65F12DA-D539-44EF-9B09-6E97EBBB9DA2}&id=4864606208&step=4&search=&PHPSESSID=qigtspvxv&show\\_specificum=1&PHPSESSID=qigtspvxv#beschreibung](http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/themen.php?&prozessid={A65F12DA-D539-44EF-9B09-6E97EBBB9DA2}&id=4864606208&step=4&search=&PHPSESSID=qigtspvxv&show_specificum=1&PHPSESSID=qigtspvxv#beschreibung)

# Pyrolysegas

---

**Pyrolysegas** ist ein brennbares Gas, das durch Pyrolyse bei Temperaturen von unter 500 bis zu 1500° Celsius aus den flüchtigen Bestandteilen von Biomasse, aber auch von Abfällen, Altreifen oder Klärschlamm gewonnen wird.

## Prozess

Durch Pyrolyse wird die Biomasse in feste, flüssige und gasförmige Komponenten aufgespalten. Als feste Bestandteile wird unter anderem Pyrolysekoks (Holz- oder Aktivkohle) gewonnen, die flüssige Phase wird kondensiert und kann zum Beispiel als Pyrolyseöl als Brennstoff verwendet werden. Die nicht kondensierbaren Komponenten sind Wasserstoff, Kohlenmonoxid und -dioxid sowie Methan und höhere Kohlenwasserstoffe.

Abhängig von den Prozessbedingungen ergeben sich erhebliche Unterschiede der Anteile fester, flüssiger und gasförmiger Produkte. Beispielsweise ergibt die "Langsamen Pyrolyse" entstehen bei Temperaturen zwischen 150 und 600°C rund 81% Pyrolysegas, etwa 14% Koks und bis zu 5% Pyrolyseöl, bei der "Blitz-Pyrolyse" (auch Schnell- oder Flash-Pyrolyse) wird durch eine sehr schnelle Abkühlung der bei 475°C erzeugten Pyrolysegase die Ausbeute an Pyrolyseöl auf bis zu 75% erhöht, so dass nur 15-20% als Pyrolysegas genutzt werden.<sup>[1]</sup>

## Zusammensetzung

Pyrolysegas besteht aus folgenden typischen Komponenten, wobei die Zusammensetzung je nach Einsatzstoffen und Prozessbedingungen stark schwanken kann. Die angegebenen Werte sind Richtwerte für Pyrolysegas aus Holz. Auch der Heizwert hängt stark von den Prozessbedingungen und den Einsatzstoffen ab, er liegt in einer Größenordnung von 4000 bis 8000 kJ/Nm<sup>3</sup>.

Komponente	Prozentualer Anteil
Stickstoff, Kohlendioxid	bis ca. 60
Wasserstoff	bis ca. 5
Kohlenmonoxid	bis ca. 35
höhere Kohlenwasserstoffe	bis ca. 10

## Herstellung

Bei der Pyrolyse mit dem Ziel der Herstellung flüssiger oder fester Energieträger (z.B. Holzkohleherstellung, Torrefizierung) fällt Pyrolysegas als nutzbares Nebenprodukt an. Bei der Biomassevergasung schließen sich an die Pyrolyse als weitere Umsetzungsschritte die Oxidation und Reduktion an. Es werden energiereiche Produktgase (Synthetic Natural Gas) erzeugt, zu denen neben Pyrolysegas auch gasförmige Produkte der letzteren Prozesse zählen.

## Anwendungen

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Weiterverarbeitung des Pyrolysegas. Neben der energetischen Verwendung zur Strom- und/oder Wärmeerzeugung ist die Nutzung als Rohstoffquelle für chemische Anwendungen möglich. Vor der Weiterverarbeitung wird das Pyrolysegas in der Regel einer Wäsche unterworfen, um saure und schwefelhaltige Bestandteile wie HCl, H<sub>2</sub>S oder COS zu entfernen.<sup>[2]</sup>

## Chemische Weiterverarbeitung

Das Pyrolysegas kann durch Steam-Reforming mit Wasserdampf zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff weiterverarbeitet werden. Dieses Gas kann in verschiedenen technischen Verfahren zu Chemieprodukten umgesetzt werden.

## Energetische Verwendung

Das Pyrolysegas kann direkt in der Pyrolyse als Energielieferant eingesetzt werden und damit fossile Energieträger bei der Bereitstellung der benötigten Prozesswärme ersetzen. Auch der Einsatz als Heizkomponente in Gasturbinen zur Stromerzeugung ist möglich.

## Quellen

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.v., 2006: Analyse und Evaluierung der thermo-chemischen Vergasung von Biomasse. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 29. Landwirtschaftsverlag, Münster. (pdf <sup>[3]</sup>) ISBN 9783784334332

## Weblinks

- *Vergasung von Biomasse*, DGMK -Fachbereichstagung <sup>[4]</sup> (PDF-Datei; 20 kB)
- Kraftstoff, Strom und Wärme aus Stroh und Waldrestholz <sup>[5]</sup> (PDF-Datei; 2,99 MB)

## Referenzen

- [1] Entwicklungs-, Beratungs- und Anwendungszentrum für die verstärkte Nutzung von Biomasse im ländlichen Raum (EBA), Triesdorf: Pyrolyseprinzip. (<http://www.triesdorf.de/EBA/verfahrenstechnikfestbiomasse.htm#Pyrolyseprinzip>:) abgerufen a 29.7.2009
- [2] Beitrag bei gutes-aufarbeiten.de ([http://www.gutes-aufbereiten.de/admin/files/Infoblatt\\_Schlamm\\_NEU07.pdf](http://www.gutes-aufbereiten.de/admin/files/Infoblatt_Schlamm_NEU07.pdf))
- [3] [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_252sr29\\_vergasung.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_252sr29_vergasung.pdf)
- [4] [http://www.dgmk.de/kohle/abstracts\\_velen8/Rumpl.pdf](http://www.dgmk.de/kohle/abstracts_velen8/Rumpl.pdf)
- [5] <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2007/leua07a.pdf>

# Pyrolyseöl

**Pyrolyseöl** (auch „Bio-Öl“ genannt) ist eine dunkelbraune Flüssigkeit, die durch Pyrolyse von Biomasse bei Temperaturen von zirka 500 °C gewonnen wird. Obgleich pflanzlicher Herkunft, besteht Pyrolyseöl im Gegensatz zu den weitgehend aus Fettsäuren zusammengesetzten Pflanzenölen aus einer Vielzahl chemischer Verbindungen. Neben der Verwendung als Biokraftstoff, Heizkomponente oder energiereiches Zwischenprodukt kann Pyrolyseöl als Rohstoffquelle für chemische Anwendungen zum Einsatz kommen.

## Prozess

Durch Pyrolyse wird die Biomasse in feste, flüssige und gasförmige Komponenten aufgespalten. Als feste Bestandteile werden unter anderem Holz- oder Aktivkohle gewonnen, als nicht kondensierbare Komponenten (Pyrolysegas) fallen Wasserstoff, Kohlenmonoxid und -dioxid sowie Methan an. Die flüssige Phase wird bei Raumtemperatur und Umgebungsdruck kondensiert. Der Heizwert beträgt zwischen 15 und 30 MJ/kg und ist damit etwa halb so hoch wie der von Erdgas oder Heizöl. Beim Einsatz von Holz als Pyrolyserohstoff beträgt die Ausbeute an Pyrolyseöl zirka 65 bis 75 %.



Pyrolyseöl aus Getreideabfällen

## Zusammensetzung

Pyrolyseöl einer Vielzahl von Oxo-Komponenten wie Carbonsäuren, Phenolen, Aldehyden und Ketonen, datuner Alkohole, Furane, Aldehyde, Phenole, organische Säuren und oligomere Kohlenhydrat- und Ligninprodukte. Dabei lassen sich mehrere hundert Verbindungen nachweisen, die teils monomer als auch als polymere Ligninkomponenten vorliegen. Bis zu 38 % des Pyrolyseöls bestehen aus Wasser, das aus dem Wassergehalt der Biomasse einerseits, andererseits aus dem beim Aufbrechen der chemischen Bindungen entstehenden Reaktionswasser besteht.

## Typische Eigenschaften

Pyrolyseöl ist eine saure Flüssigkeit mit dunkelroter bis dunelbrauner Farbe. Anders als Mineralöl ist es nicht mit Kohlenwasserstoffen mischbar, in Ethanol ist es unbegrenzt, mit Wasser begrenzt mischbar. Je nach Wassergehalt und Gehalt an leichtflüchtigen Bestandteilen variiert die Viskosität. Der Heizwert von Pyrolyseöl liegt bei etwa 42 % dessen von Heizöl.

Der Pourpoint liegt zwischen  $-12\text{ °C}$  und  $-33\text{ °C}$ , der Cloud Point bei etwa  $-21\text{ °C}$ . Der Flammpunkt liegt zwischen  $40$  und  $100\text{ °C}$ . Im Dieselmotor ist es nicht selbstzündend; die Cetanzahl beträgt nur rund 10. Pyrolyseöl ist nicht über längere Zeit lagerstabil. Durch Polymerisation nimmt die Viskosität zu und erreicht nach etwa 12 Monaten ein Maximum. Das Öl oxidiert an der Luft und entgast mit der Zeit.<sup>[1]</sup> Der Geruch von Pyrolyseöl ist leicht stechend und erinnert an Räucherkerzen.

Typischen Eigenschaften von Pyrolyseöl zeigt die folgende Tabelle:

Eigenschaft	Einheit	Typische Werte
Dichte	kg/m <sup>3</sup>	1200
Wassergehalt	%	15–30
Viskosität	cP	40–100
pH-Wert	Zahl	1,5–3,8
Heizwert	MJ/kg	16–21

## Aufbereitung

Vor der Nutzung muss Pyrolyseöl je nach Verwendungszweck mehr oder weniger umfassend aufbereitet werden. Für die Nutzung in Motoren beispielsweise verlangen Motorenhersteller die Einhaltung von Grenzwerten für Partikelgehalt und -größenzusammensetzung sowie für die Viskosität. Zur Aufbereitung stehen physikalische und chemische Methoden zur Verfügung.

### Physikalische Aufbereitung

Verunreinigungen durch feste Partikel werden mit Multizyklonen oder Heißgasfilter bereits im Strom des heißen Pyrolysegases entfernt, bevor dieses zu Pyrolyseöl kondensiert. Möglich ist auch eine Kaltfiltration des Öls. Dünnerflüssiger wird das Öl durch Zugabe von Wasser oder niedrigwertigen Alkoholen.

### Chemische Aufbereitung

Durch Hydrierung (Sättigung reaktiver Doppelbindungen mit Wasserstoff) kann die (Lager)stabilität von Pyrolyseöl erhöht werden. Ein höherer Wasserstoffanteil wird ebenfalls erreicht durch den Prozess der hydrierenden Spaltung (Hydrocracking oder Hydro-Deoxygenierung). Dies vermindert zudem den Sauerstoffgehalt im Pyrolyseöl. Der hohe Sauerstoffanteil des Ausgangsprodukts bedingt allerdings einen hohen Verbrauch an Wasserstoff und macht das Verfahren daher sehr teuer. Katalysatoren wie Zeolithe oder andere anorganische Materialien können Sauerstoff durch Umwandlung in Kohlendioxid aus dem Öl entfernen, dabei entstehen freie und kondensierte Aromate.

## Anwendungen

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Weiterverarbeitung des Pyrolyseöls. Neben der energetischen Verwendung als Kraftstoff oder Heizkomponente ist die Verwendung als Rohstoffquelle für chemische Anwendungen möglich. Die Verwendung von Pyrolyseöl befindet sich weitgehend noch in Entwicklung.

### Energetische Verwendung

Durch Hydrierung lässt sich Pyrolyseöl in Kraftstoffe umwandeln. In Heizkesseln können sie grundsätzlich ähnlich wie schweres Heizöl verbrannt werden. Stationäre Dieselmotoren müssen vor dem Einsatz von Pyrolyseöl mit herkömmlichem Kraftstoff auf Betriebstemperatur gebracht werden, negativ sind unter anderem die fehlenden Schmiereigenschaften. Mehrere Eigenschaften der Pyrolyseöle wie eine hohe Zündtemperatur, Viskosität, Azidität und Thermolabilität sowie erhöhte Verbrennungsemissionen bei NO<sub>x</sub> und CO erschweren den Einsatz.

Als transportfähiges Zwischenprodukt der Herstellung von BtL-Kraftstoff aus Biomasse spielt Pyrolyseöl eine wichtige Rolle im Konzept einer zweistufigen Herstellung Synthetischer Biokraftstoffe. So soll in dezentralen Schnellpyrolyseanlagen Biomasse aus dem näheren Umkreis zu Pasten oder Slurries aus Pyrolyseöl und Koks verarbeitet werden, die dann zu einer zentralen Anlage zur Herstellung von Biokraftstoffen transportiert werden. Eine Pilot-Schnellpyrolyseanlage im Rahmen dieses Konzepts betreibt das Forschungszentrum Karlsruhe seit 2007<sup>[2]</sup>

Die Verwendung von Pyrolyseölen in Heizkraftwerken wird im Rahmen von industriellen und politisch geförderten Vorhaben untersucht.<sup>[3]</sup>

## Chemische Weiterverarbeitung

Die chemische Weiterverarbeitung ist bislang wenig erforscht. Die einzige kommerzielle Anwendung in größerem Maßstab ist momentan die Verwendung als Raucharoma (Flüssigrauch) vorbehaltlich einer Prüfung durch die EU-Kommission.<sup>[3]</sup> Weitere Optionen bestehen in der Isolierung von Lävoglucosan (die monomeren Einheiten der Cellulose) zur Kontrolle bestimmter chemische Reaktionen sowie der Verwendung als Tenside, biologisch abbaubare Polymere und Harze. Auch die Isolierung von Phenolharzen für Leime ist möglich. Unverändertes Pyrolyseöl kommt als teilweisen Ersatz von Phenol und Formaldehyd in Spanplatten in Frage, außerdem als Reaktionspartner bei der Herstellung von Stickstoffdüngern mit verzögerter Nährstofffreisetzung.

## Quellen

Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann und Hermann Hofbauer (Hrsg.), 2009: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, 2. Auflage, S. 685-690, ISBN 9783540850946

## Weblinks

- *Gelbes Stroh statt Schwarzes Gold* bei Innovationsreport<sup>[4]</sup>
- *Heizöl und Chemie-Rohstoffe aus Holz*<sup>[5]</sup> (PDF; 322 kB)
- COMBIO-Project<sup>[6]</sup> (PDF; 385 kB)

## Referenzen

- [1] *Long-term Stability, Catalytic Upgrading, and Application of Pyrolysis Oils* (<http://www.chemie.uni-hamburg.de/bibliothek/2002/ZusammenfassungScholze.pdf>) (PDF)
- [2] Forschungszentrum Karlsruhe: Die Schnellpyrolyse. (<http://iwrwww1.fzk.de/bioliq/schnell.html>) Abgerufen am 2009-07-31.
- [3] *Flash-Pyrolyse zur Verflüssigung von Biomasse – Stand der Technik* ([http://www.pressebox.de/attachment/7909/Pyrolyse\\_aktuell.pdf](http://www.pressebox.de/attachment/7909/Pyrolyse_aktuell.pdf)), Stand 2001 (PDF)
- [4] [http://www.innovations-report.de/html/berichte/energie\\_elektrotechnik/bericht-11902.html](http://www.innovations-report.de/html/berichte/energie_elektrotechnik/bericht-11902.html)
- [5] <http://www.bmelv-forschung.de/fileadmin/sites/FR-Texte/1999/fr-1999-1-13-Heizoe1.pdf>
- [6] [http://www.combio-project.com/download/PDF/Presentation\\_Chile\\_Nov2004.pdf](http://www.combio-project.com/download/PDF/Presentation_Chile_Nov2004.pdf)

---

# - R -

---

## Raffination

---

Der Begriff **Raffination** (Raffinieren, oder Raffinierung) bezeichnet im allgemeinen Sinne ein technisches Verfahren zur Reinigung, Veredlung, Trennung und/oder Konzentration von Rohstoffen, Nahrungsmitteln und technischen Produkten.<sup>[1]</sup> In einer Raffinerie findet man Anlagen zur Raffination von Zucker, Erdöl oder anderen Stoffen.

### Arten der Raffination geordnet nach Stoffgruppen

#### Erdöl

Kohlenwasserstoffe enthalten nach der fraktionierten (Vakuum-)Destillation von Erdöl noch unerwünschte schwefel-, sauerstoff- und stickstoffhaltige Substanzen sowie andere unerwünschte Stoffe, beispielsweise Alkene. Diese Verunreinigungen können bei Schmierstoffen schon nach kurzem Gebrauch zu Alterungserscheinungen wie Dunkelfärbung, Zunahme der Viskosität, Entstehung von Säuren beziehungsweise Ölschlamm führen. Sie werden bei der Raffination in einer Erdölraffinerie durch Hydrierung entfernt, wodurch eine Qualitätsverbesserung erreicht wird. Es werden auch alternative Reinigungsverfahren (Furfurolextraktion, Oleumraffination) angewandt. Weiterhin wird die Reinigung von Grundölen in der Schmierstoffproduktion, bei der die Grundöle mit Hilfe von verschiedenen Tonerden gefiltert werden, als Raffination bezeichnet.

Bei der Hydrierung entstehen aus den schwefel- und stickstoffhaltigen Verunreinigungen Gase wie Schwefelwasserstoff und Ammoniak, die abgetrennt werden.

#### Pflanzenöle oder -fette

Die Raffination von Pflanzenölen und -fetten ist ein Bearbeitungsschritt bei der Herstellung dieser Produkte nach dem Prinzip der Heißpressung. Bei der Raffination werden unerwünschte Begleitstoffe aus dem vorher produzierten Rohöl (Truböl) entfernt (z.B. Pigmente, Geruchs-, Geschmacks- und Bitterstoffe), die Einfluss auf die Qualität der Produkte haben können. Hierbei geht es im Wesentlichen um Geschmack, Haltbarkeit, technische Weiterverarbeitung, Geruch und Farbe. die Raffination ist mit einem Verlust an nutzbarem Pflanzenöl von etwa vier bis acht Prozent verbunden.

Zwei Verfahren der Raffination kommen alternativ zur Anwendung. Erstens ist dies die "Chemische Raffination" mit den Bearbeitungsschritten:

- Entschleimung
- Neutralisation (Entsäureung)
- Bleichung (Entfärbung)
- Desodorierung (Dämpfung)

Zweitens die "Physikalische Raffination" mit den Bearbeitungsschritten:

- Entschleimung/ Entfärbung/ Bleichung
- Dämpfung/ Desodorierung/ destillative Entsäuerung

Bei der chemischen Raffination entfernt zunächst die Entschleimung Phospholipide, Glycolipide, freie Zucker und Metallionen aus dem Öl. Bei der Neutralisation werden freie Fettsäuren, die mit 0,3 bis 0,6 % im Öl enthalten sind, abgetrennt, die Bleichung entfernt den größten Teil der Farbstoffe sowie Reste von Schleimstoffen, Seifen,

---

Spurenmitteln und Oxidationsprodukten. Bei der Dämpfung erfolgt eine Wasserdampfdestillation, um geruchs- und geschmacksintensive Begleitstoffe zu entfernen.

Die physikalische Raffination trennt die Fettsäuren durch Destillation ab und verbindet daher diesen Behandlungsschritt mit der Dämpfung. Zuvor muss das Öl komplett entschleimt werden. Die Entfärbung erfolgt entweder im Anschluss oder gekoppelt an die Entschleimung. Bisher war vor allem die chemische Raffination verbreitet, bei steigenden Umweltauflagen nimmt die physikalische Raffination jedoch an Bedeutung zu, da hierfür weniger Chemikalien benötigt werden, geringere Raffinationsverluste und Abwassermengen anfallen und die abgetrennten Fettsäuren bei diesem Verfahren gemeinsam mit dem Destillat aus der Desodorierung für die Tierernährung genutzt werden können.<sup>[2]</sup> Nach der Raffination stehen "vollraffinierte Pflanzenöle" zur Verfügung. Wegen der hohen Temperaturen bei der Desodorierung ist der Gehalt bestimmter erwünschter Begleitstoffe sowie der ernährungsphysiologisch positiven Tocopherole im Öl verringert.

Im Gegensatz zum Verfahren der Heißpressung, bei der die Raffination der Rohöle (Trüböle) durchgeführt wird, entfällt dieser Schritt bei der Kaltpressung, die vor allem in dezentralen Ölmühlen genutzt wird. Bei diesem Verfahren wird das Rohöl (Trüböl) lediglich filtriert.

Das Koppelprodukt bei der Herstellung von Pflanzenöl nach dem Heißpressverfahren wird Extraktionsschrot genannt, das Koppelprodukt bei der Kaltpressung dagegen als Presskuchen bezeichnet.

## Zucker

Bei der Raffination des Zuckers wird der Rohzucker durch Waschen mit Sirup und Zentrifugieren vorgereinigt (Affination) und die Affinade durch Lösen in Wasser, Entfärben mit Aktivkohle oder Kieselgur und Aufkonzentration im Vakuum weiterverarbeitet. Der Weißzucker (Raffinade) wird zur Kristallisation gebracht und durch Zentrifugation gewonnen. Höhere Reinheitsgrade können durch die (wiederholte) Abfolge der Verfahrensschritte Auflösen, Entfärben, Filtrieren, Auskristallisieren und Zentrifugieren erzielt werden. Bei dem so gewonnenen Kristallzucker, der Zucker-Raffinade, handelt es sich um chemisch fast reine Saccharose (99,8 Gewichts-%).<sup>[3]</sup>

## Metalle

Die metallurgische Praxis unterscheidet grundsätzlich zwischen Feuerraffination und elektrolytischer Raffination. Bei der Feuerraffination werden unerwünschte Elemente gemäß dem Grad ihrer Sauerstoffaffinität entweder durch Konverterverfahren, oder oxidierendes Schmelzen entfernt. Dies bedingt dann oxidierende Ofenführung, ergänzt durch oxidierende Schmelzezuschläge (Schmelzebehandlungsmittel). Für höhere Reinheitsgrade bedient man sich der elektrolytischen Raffination. Das jeweilige Rohmetall, z. B. Konverterkupfer, wird zur Anode und geht in Lösung, wobei der Elektrolyt aus einer Salzlösung des betreffenden Metalls besteht, und scheidet sich als Reinmetall an der Kathode ab. Bei der Elektrolyse gehen auch unedlere Begleitelemente in Lösung, ohne sich jedoch kathodisch abzuscheiden, edlere Begleiter fallen als Anodenschlamm aus (siehe *Elektrochemische Spannungsreihe*).<sup>[4]</sup> Aus dem Anodenschlamm werden besonders bei der Kupferraffination beträchtliche Mengen an Silber und Gold gewonnen. Die elektrolytische Raffination wird besonders bei Kupfer und Nickel, aber auch für Silber, Blei und Zink eingesetzt. Aluminium wird mit einem verwandten Raffinationsverfahren, der Schmelzflusselektrolyse, gewonnen und fällt in den Elektrolysezellen, die mit Tonerde und einem Kryolithgemisch als Elektrolyt kontinuierlich beschickt werden, ebenso kontinuierlich als Rohaluminium zur Entnahme an. Eine jüngere Raffinationsmethode ist das Zonenschmelzverfahren, das zur Gewinnung von reinstem Silizium oder Silizium-Einkristallen angewendet wird.

## Speisesalz

Die Raffination von Meersalz bezeichnet das Waschen des durch die industrielle Ernte meist verunreinigten „Rohsalzes“ in gesättigter Sole, die erneute Kristallisation, Zentrifugierung, Trocknung und das Versetzen nach dem Vermahlen mit Aufhellern, Rieselhilfsmitteln und die künstliche Iodierung. Nach dieser Behandlung ist das Meersalz weder optisch noch geschmacklich von – ebenfalls raffiniertem – Steinsalz zu unterscheiden. Durch *Liquid Mining* gewonnene Sole wird mit ähnlichen Reinigungsverfahren zu Siedesalz aufgearbeitet.

## Referenzen

- [1] Brockhaus ABC Chemie, VEB F. A. Brockhaus Verlag Leipzig 1965, Seite 1168.
- [2] 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
- [3] Römpps Chemie-Lexikon, 8. Auflage (1987) Seiten 3483–3484, ISBN 3-440-04510-2.
- [4] A. F. Holleman, E. Wiberg: *Lehrbuch der anorganischen Chemie*, Walter de Gruyter & Co. Berlin 2007. ISBN 3-11-017770-6.

# Ramie

Ramie

Ramie ( <i>Boehmeria nivea</i> )
Systematik
<p><i>Unterklasse:</i> Rosenähnliche (Rosidae)</p> <p><i>Ordnung:</i> Rosenartige (Rosales)</p> <p><i>Familie:</i> Brennnesselgewächse (Urticaceae)</p> <p><i>Tribus:</i> Boehmerieae</p> <p><i>Gattung:</i> <i>Boehmeria</i></p> <p><i>Art:</i> Ramie</p>
Wissenschaftlicher Name
<i>Boehmeria nivea</i>
L.

Die **Ramie** (*Boehmeria nivea*), auch **Chinagrass**, ist eine Pflanzenart aus der Familie der Brennnesselgewächse (Urticaceae). Sie ist im tropischen Ostasien beheimatet und wird traditionell in Asien, teils aber auch in Südamerika und vereinzelt in Europa als Faserpflanze angebaut.

## Beschreibung

Die Ramie ist eine nur schwach verzweigte, ausdauernde, krautige Pflanze und kann ein Alter von bis zu 20 Jahren erreichen. Aus dem Wurzelstock aus Rhizomen und Speicherwurzeln wachsen 50 bis 150 Zentimeter (in Kultur bis zu 3 Meter) hohe und 2,3 Zentimeter dicke Stängel. Die oberen Stängel, die Zweige und die 2,5 bis 10 Zentimeter langen Blattstiele sind dicht behaart mit steifen, festen und glatt anliegenden Haaren.

Die wechselständig stehenden Blätter sind 5 bis 15 Zentimeter lang und 3,5 bis 13 Zentimeter breit, breit oval bis elliptisch-eiförmig, spitz zulaufend und mit fein gesägtem Rand. Sie sind auf der Unterseite schneeweiß behaart, gelegentlich hellgrün mit weißer, fester und glatt anliegender Behaarung entlang der Nervatur oder fein weiß behaart, die Oberseite ist leicht rau und nur schwach behaart. Der Blattgrund ist annähernd herzförmig, parallel zur Mittelrippe verlaufen in der Regel je Seite drei Nebenrippen. Die 7 bis 11 Millimeter langen Nebenblätter sind lanzettlich und entweder verwachsen und zwiegespalten oder unverwachsen.

Die Pflanzen sind monözisch, Blütezeit ist von Mai bis August. Die stark verzweigten, rispenähnlichen Blütenstände sind kürzer als die Blattstiele und entspringen aus den Blattachseln ausgewachsener oder bereits abgefallener Blätter, die einzelnen Zweige sind dabei eingeschlechtig. An ihnen stehen die Blüten in Glomeruli, im oberen Teil sitzen dabei die weiblichen Blüten, im unteren Teil die männlichen, letztere können allerdings auch fehlen.

Männliche Glomeruli sind wenigblütig und messen im Durchmesser 2 bis 4 Millimeter, die weiblichen sind reichblütig und messen 2 bis 3 Millimeter im Durchmesser. Die ungestielten männlichen Blüten sind vierzählig, die Kronlappen sind bis zur Hälfte viergelappt, 1,5 Millimeter lang und behaart. Die weiblichen Blüten sind rhombenförmig bis elliptisch und 0,6 bis 0,8 Millimeter lang die Narbe ist rund 1 Millimeter lang. Die fruchtende Krone ist rhombenförmig bis umgekehrt-eiförmig, zusammengedrückt, am Ansatz stängelartig abgeschnürt und rund 1 Millimeter lang, die Spitze ist zwei- bis dreizähnt.

Die Pflanzen werden durch den Wind bestäubt.

Die von September bis November reif werdenden Früchte sind annähernd eiförmige, bis zu 0,6 Millimeter lange Achänen und tragen am Ansatz ein Nebenblatt.



Blühende Ramie

## Verbreitung

Die Pflanze ist eine in Ost- und Südostasien (China, Bhutan, Kambodscha, Indien, Indonesia, Japan, Korea, Laos, Nepal, Thailand, Vietnam) weitverbreitete Wildpflanze. Sie findet sich an Straßenrändern, Waldrändern, zwischen Gesträuch und auf feuchten Standorten an Wasserläufen in Höhenlagen von 200 bis 1700 Meter.

## Systematik

Die Art gilt als sehr variabel und ist systematisch noch nicht ausreichend abgegrenzt. Derzeit werden zwei Varietäten unterschieden:

- *B. nivea* var. *nivea*: mit unterseits weißfilzigen Blättern, ausschließlich in Kultur oder als Kulturflüchtling
- *B. nivea* var. *tenacissima*: ohne filzige Blattunterseite

## Verwendung

Textilien aus Ramiefasern sind erstmals in ägyptischen Mumienbinden aus der Zeit zwischen 5000 und 3300 v.Chr. bezeugt <sup>[1]</sup>, in China wird sie seit etwa 3000 Jahren als Faserpflanze kultiviert. Damit gehört die Ramie zu den ältesten Faserpflanzen der Welt. Im frühen 18. Jahrhundert gelangte die Pflanze erstmals nach Europa, Nord- und Südamerika.

Im Jahr 2000 wurden weltweit über 170.000 Tonnen Fasern aus der Ramie erzeugt, rund doppelt soviel wie aus Hanf. Damit ist sie die siebtwichtigste Naturfaser weltweit <sup>[1]</sup>. Hauptproduktionsländer sind mit gut 75% der Weltproduktion China (hier Gansu, Henan, Hubei, Hunan, Shaanxi und Sichuan) sowie die Philippinen, Indien und Brasilien. Diese Länder sind zugleich die Hauptverbraucher, auf dem Weltmarkt tritt die Faser daher nur bedingt in Erscheinung <sup>[2]</sup>. Die wichtigsten Importländer sind Japan, Deutschland, Frankreich und Großbritannien <sup>[3]</sup>.



Muster von Ramiefaser, -garn und -gewebe im Wülfling-Museum

## Verwendung als Faserpflanze

*Hauptartikel:* Ramiefaser

Die Ramiefasern werden aus dem Bastteil des Stängels gewonnen, sie machen bis zu 15% der Pflanze aus und sind 40 bis 350 Millimeter lang und 40 bis 50 Mikrometer stark. Sie werden nass versponnen und zeichnen sich durch eine mit 393 bis 1050 MPa sehr hohe Zugfähigkeit aus. Dichte und Absorptionsfähigkeit der groben Faser (25 bis 30 Mikrometer) ähneln der von Leinen. Haupteinsatzgebiet ist der Gebrauch als Textilfaser.

Als reine Faser ergibt Ramie leichte, seidige Gewebe, die Leinen ähneln. Wegen seiner geringen Widerstandsfähigkeit und Elastizität wird Ramiefaser jedoch meist als Beimischung zu anderen Textilfasern verwendet. Dabei erhöht es den Glanz und die Stärke von Baumwollfasern und verringert das Schrumpfen der Wollfaser. <sup>[3]</sup>

Obwohl die Ramiefaser als äußerst hochwertig gilt, kann sie aufgrund ihrer relativ aufwändigen Verarbeitung, die nach wie vor nicht vollständig automatisierbar ist, auf dem Textilmarkt bisher nicht preislich mit anderen Naturfasern wie Baumwolle, Wolle oder Leinen konkurrieren <sup>[1]</sup>.

## Andere Verwendungen

Ramiefasern werden auch in der Seilerei und der Papierproduktion verwendet. Insbesondere kurzfasrige Faserreste werden in der Produktion von hochwertigem Spezialpapier verarbeitet (Banknoten, Zigarettenspapier) <sup>[1]</sup>.

Die Blätter und die jungen Enden der Sprossachse werden als Futter für Rinder, Schweine und Geflügel eingesetzt. Bei der Fütterung ist allerdings der hohe Mineralgehalt der Pflanzen zu berücksichtigen, dem durch Kupfersulfatgaben als Zuschlagstoff gegengesteuert werden muss <sup>[1]</sup>. Junge Blätter dienen als Futter für Seidenraupen.

In Asien wird die Pflanze darüber hinaus auch medizinisch gebraucht, sie soll beispielsweise gegen Fieber und bei Infektionen der Harnröhre helfen.

## Anbau

Die Ramie schätzt gut drainierte, sehr nährstoffreiche und luftige, lockere Böden. Gegen Krankheiten und Schädlinge ist sie weitgehend resistent, aufgrund ihrer Wüchsigkeit verdrängt sie Unkräuter. Als ursprünglich subtropische bzw. tropische Pflanze ist sie allerdings frostempfindlich. Ein Anbau in temperierten Zonen ist daher problematisch, da die Rhizome im Winter zu erfrieren drohen.

Anbauversuche in Süddeutschland ergaben zwei, in Mittelitalien drei mögliche Ernten im Jahr. Unter tropischen Bedingungen können bis zu sechs Ernten pro Jahr erzielt werden.

Pro Hektar werden zwischen acht und 20 Tonnen Grünmasse geerntet, der Faserertrag kann ca. 1,5 Tonnen betragen.

## Nachweise

- Jiarui Chen, Qi Lin, Ib Friis, C. Melanie Wilmot-Dear, Alex K. Monro: *Urticaceae*. In: *Flora of China*, Bd. 5, S. 166
- K.U.Heyland, H. Hanus, E.R. Keller: *Ölfrüchte, Faserpflanzen, Arzneipflanzen und Sonderkulturen* In: *Handbuch des Pflanzenbaues*, Bd. 4, S. 308-309

## Einzelnachweise

Die Informationen dieses Artikels entstammen den unter Nachweise angegebenen Quellen, darüber hinaus werden folgende Quellen zitiert:

- [1] R. Koslowski, M. Rawluk, J. Barriga-Bedoya: *Ramie*. In: Robert Franck (Hrsg.): *Bast and other plant fibres*, Cambridge / Boca Raton, 2005, S. 207-227, ISBN 1855736845 / ISBN 0849325978
- [2] 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. 126, Download ([http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_315gf\\_band\\_26\\_komplet\\_100.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_315gf_band_26_komplet_100.pdf))
- [3] Natural Fibres: Ramie. Auf der Internetseite des "International Year of Natural Fibres 2009" der FAO (<http://www.naturalfibres2009.org/en/fibres/ramie.html>)

## Weblinks

- W.B. Granger: *The history, culture, processing and marketing of ramie in Florida*, 1948, Digitalisat online (<http://fulltext10.fcla.edu/cgi/t/text/text-idx?cc=feol;subview=fullcitation;idno=UF00002283>)

# Ramiefaser

Ramiefaser	
Fasertyp	Naturfaser
Farbe	weiß
Eigenschaften	
Faserlänge	60-260 mm <sup>[1]</sup>
Faserdurchmesser	16-125 µm <sup>[2]</sup>
Dichte	1,50 g/cm <sup>3</sup> <sup>[1]</sup>
Zugfestigkeit	500 MPa <sup>[3]</sup>
Spezifische Zugfestigkeit	40-70 cN/tex (trocken) <sup>[1]</sup>
Elastizitätsmodul	44 Gpa (trocken) <sup>[3]</sup>
Bruchdehnung	2 % <sup>[3]</sup>
Wasseraufnahme	12-17 % <sup>[2]</sup>

Die **Ramiefaser** wird aus dem Bastteil des Stängels der Pflanze Ramie (*Boehmeria nivea*) gewonnen. Diese Naturfaser gehört somit zur Gruppe der Bastfasern.<sup>[4]</sup>

## Entwicklung und Aufbau

Die Fasern machen bis zu 15 % der Pflanze aus und sind 40 bis 350 Millimeter lang und 40 bis 50 Mikrometer stark. Faserbündel können eine Länge von bis zu 2 m erreichen. Ramiefasern gehören damit zu den längsten und festesten pflanzlichen Fasern überhaupt.<sup>[5]</sup>

Die Ramiefaser hat einen Kristallinitätsgrad von 44 bis 47 %<sup>[6]</sup>. Cellulose liegt in Naturfasern teilweise in geordneter, „kristalliner“, Struktur vor und teilweise in "ungeordneter" Struktur. Das Verhältnis zwischen kristalliner und nichtkristalliner Cellulose, der Kristallinitätsgrad, hat großen Einfluss auf die Eigenschaften der Faser, z.B. führt ein höherer Kristallinitätsgrad zu einer geringeren Feuchtigkeitsaufnahme der Fasern<sup>[7]</sup>.

Die Faser ist besonders weiß, vergleichbar mit gebleichter Baumwolle, und hat einen seidenartigen Glanz, der den von Leinen übertrifft. Mit Baumwolle und Leinen hat die Ramiefaser jedoch auch die geringe Elastizität und Knitteranfälligkeit gemein.

## Verwendung

Als reine Faser ergibt Ramie leichte, seidige Gewebe, die Leinen ähneln. Haupteinsatzgebiet ist der Gebrauch als Textilfaser. Wegen seiner geringen Widerstandsfähigkeit und Elastizität wird Ramiefaser jedoch meist als Beimischung zu anderen Textilfasern verwendet. Dabei erhöht es den Glanz und die Stärke von Baumwollfasern und verringert das Schrumpfen der Wollfaser.<sup>[8]</sup>

Neben textilen Verwendungen gibt es auch Ansätze, die Ramiefaser in Verbundwerkstoffen einzusetzen. An der Cornell University wurde ein Biokunststoff entwickelt der aus Ramiefasern und Sojaprotein besteht. Aufgrund seiner mechanischen Eigenschaften wie z.B. seine gute Wärme- und Schallisolation könne dieser Verbundwerkstoff in Innenräumen von Autos und Zügen, in Computern und in Verpackungen und anderen Konsumgütern ersetzt werden.<sup>[9]</sup>

## Aufbereitung und Verarbeitung

Für die Aufbereitung von Ramie werden zunächst die Rindenteile, in denen sich die Fasern befinden, von den Holzbestandteilen getrennt (Entrinden oder Dekortieren). Die entrindeten Baststreifen werden getrocknet und werden teilweise als "Chinagrass" vermarktet <sup>[10]</sup> <sup>[2]</sup>. Diese enthalten noch einen recht hohen Anteil von 30 bis 35 % an pektinartigem, gummiähnlichem Belag und Parenchymgewebe. Dieses ist größtenteils wasserunlöslich und muss entfernt werden bevor die Faser zu feinem Garn versponnen werden kann. Dieser gummiähnliche Belag besteht hauptsächlich aus Xylanen und Arabanen, die zu den Hemicellulosen gehören.<sup>[2]</sup>

Das Entfernen dieses Belages, die Degummierung kann daher nicht über eine bakterielle Röste erfolgen sondern erfordert eine Auskochung in einer alkalischen Lauge. Die so gewonnenen Fasern besteht aus fast reiner Cellulose, sind gleichmäßig, glänzend und glatt und zeichnen sich durch starke Hygroskopizität und hohe Nassfestigkeit aus.<sup>[5]</sup> Um zu einer sehr weißen Faser zu gelangen muss die degummierte Faser nochmals gebleicht werden.

Ramiefasern werden nass versponnen und zeichnen sich durch eine mit 393 bis 1050 MPa sehr hohe Zugfähigkeit aus. Dichte und Absorptionsfähigkeit der groben Faser (25 bis 30 Mikrometer) ähneln der von Leinen.

## Wirtschaftliche Bedeutung

Obwohl die Ramiefaser als äußerst hochwertig gilt, kann sie aufgrund ihrer relativ aufwändigen Verarbeitung, die nach wie vor nicht vollständig automatisierbar ist, auf dem Textilmarkt bisher nicht preislich mit anderen Naturfasern wie Baumwolle, Wolle oder Leinen konkurrieren <sup>[11]</sup>. Mitte des 19. Jahrhunderts erlangte die Ramiefaser im Zuge der sich in Europa entwickelnden Fasernesselindustrie gewisse Bedeutung, wurde dann aber schnell von der Baumwolle und synthetischen Fasern verdrängt.<sup>[5]</sup>

## Referenzen

- [1] B. Wulforst: *Textile Fertigungsverfahren: Eine Einführung*, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1998, S. 26, ISBN 3-446-19187-9
- [2] R. R. Franck: *Overview*. In: R. R. Franck (Hrsg.): *Bast and other plant fibres*, Cambridge / Boca Raton, 2005, ISBN 1855736845 / ISBN 0849325978
- [3] W.D. Brouwer: *Natural fibre composites in structural components: Alternative applications for sisal?* (<http://www.fao.org/Docrep/004/Y1873E/y1873e0a.htm>)
- [4] Kim L. Pickering (Hrsg.): „Properties and performance of natural-fibre composites“, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2008, ISBN 978-1-84569-267-4
- [5] G. Holzmann, M. Wangelin: *Natürliche und pflanzliche Baustoffe: Rohstoff - Bauphysik - Konstruktion*, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2009, S. 197-198, ISBN 978-3-8351-0153-1
- [6] H.-P. Fink und S. Fischer: *Celluloseverarbeitung - umweltfreundliche Technologien auf dem Vormarsch*, Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule 54, 2005, Nr. 7, S. 18-25
- [7] S. Kalia, B.S. Kaith, I. Kaur: *Pretreatment of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites: A review*, Polymer Engineering and Science 49(7), S. 1253-1272, ISSN 1548-2634
- [8] Natural Fibres: Ramie. Auf der Internetseite des "International Year of Natural Fibres 2009" der FAO (<http://www.naturalfibres2009.org/en/fibres/ramie.html>)
- [9] A. N. Netravali: *"Green" Composites from Cellulose Fabrics & Soy Protein Resin*, National Textile Center Research Briefs, Juni 2002, pdf (<http://www.human.cornell.edu/che/fsad/research/loader.cfm?csModule=security/getfile&pageid=3724>)
- [10] F. Denninger, E. Giese: *Mode- und Textillexikon, Band 1, A-K*, Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main, 2006, ISBN 3-87150-848-9
- [11] R. Koslowski, M. Rawluk, J. Barriga-Bedoya: *Ramie*. In: Robert Franck (Hrsg.): *Bast and other plant fibres*, Cambridge / Boca Raton, 2005, S. 207-227, ISBN 1855736845 / ISBN 0849325978

# Raps

Raps

Raps ( <i>Brassica napus</i> )
Systematik
<p>Rosiden</p> <p>Eurosiden II</p> <p><i>Ordnung:</i> Kreuzblütlerartige (Brassicales)</p> <p><i>Familie:</i> Kreuzblütengewächse (Brassicaceae)</p> <p><i>Gattung:</i> Kohl (<i>Brassica</i>)</p> <p><i>Art:</i> Raps</p>
Wissenschaftlicher Name
<i>Brassica napus</i>
L.

**Raps** (*Brassica napus*) ist eine wirtschaftlich bedeutende Nutzpflanze aus der Familie der Kreuzblütengewächse (Brassicaceae), zu der auch Senf und Kohl gehören. Genutzt werden die Samen vor allem zur Gewinnung von Rapsöl und dem Koppelprodukt Rapskuchen. Die Steckrübe *Brassica napus* ssp. *rapifera* ist eine Unterart des Rapses.

## Beschreibung

### Vegetative Merkmale

Raps ist eine ein- oder zweijährige, krautige Pflanze mit aufrechter, verzweigter Sprossachse. Sie erreicht eine Wuchshöhe von 30 bis 150 Zentimetern. Die Pflanzen sind gelegentlich an der Nervatur und den Rändern der Blätter sehr schwach gewimpert,<sup>[1]</sup> meist aber vollständig kahl oder am Ansatz schwach behaart. Sie sind von grauer Farbe und können eine fleischige Pfahlwurzel ausbilden.<sup>[2]</sup>

Die zuunterst am Stängel stehenden Blätter haben bis zu 15 Zentimeter lange Blattstiele, die Spreite ist im Umriss eiförmig, länglich-rund bis lanzettlich, fiederblattartig gelappt (manchmal nicht weiter unterteilt) und 5 bis 25 (selten bis zu 40) Zentimeter lang und 2 bis 7 (10) Zentimeter breit. Die äußersten Lappen sind eiförmig, am Rand gezähnt, gewellt oder ganzrandig. Je Seite der Mittelrippe stehen ein bis sechs seitliche Lappen, deutlich kleiner als die Schlußlappen, gelegentlich fehlend und ebenfalls am Rand gezähnt, gewellt oder ganzrandig. Die oben am Stängel stehenden Blätter sind ungestielt, lanzettlich, eiförmig oder länglich-rund, bis zu 8 Zentimeter lang und 3,5 Zentimeter breit, ihr ohrförmiger Ansatz umschließt den Stängel, der Rand ist ganz oder gewellt.<sup>[2]</sup>



Raps (*Brassica napus*)

### Blüte und Frucht

Die Blüten des Rapses sitzen am oberen Ende des Stängels in einer Traube aus 20 bis 60 Einzelblüten.<sup>[1]</sup> Die Blütenstiele sind gerade, weit gespreizt und 1,2 bis 2,3 (1 bis 3) Zentimeter lang. Die Kelchblätter sind länglich-rund, 5 bis 10 Millimeter lang und 1,5 bis 2,5 Millimeter breit, aufwärtsweisend oder selten fast aufrecht. Die Kronblätter sind hell- bis blassgelb, breit umgekehrt-eiförmig mit abgerundeter Spitze, 1 bis 1,6 (0,9 bis 1,8) Zentimeter lang und 6 bis 9 (5 bis 10) Millimeter breit und 5 bis 9 Millimeter langem Nagel.<sup>[2]</sup>

Der Fruchtknoten ist langgestreckt mit kurzem Griffel und kopfförmiger Narbe.<sup>[3]</sup> Die Staubfäden sind 7 bis 10 (selten 5) Millimeter, die länglich-runden Staubbeutel 1,5 bis 2,5 Millimeter lang. Die ungestielte, aufwärtsweisende Schote ist linealisch, zylindrisch bis schwach rechteckig, 5 bis 9,5 (3,5 bis 11) Zentimeter lang und 3,5 bis 5 Millimeter breit. Sie enthält zwölf bis zwanzig, dunkelbraune bis schwärzliche, runde Samen mit fein genetzter Oberfläche, die einen Durchmesser von 1,5 bis 2,5 (1,2 bis 3) Millimeter aufweisen.<sup>[2]</sup> Es kommt sowohl Selbstbefruchtung innerhalb der Blüte als auch Fremdbefruchtung durch Bienen vor.<sup>[3]</sup>

## Genetik

*Brassica napus* ist eine allopolyploide Hybride, die aus einer Bastardisierung von Rübsen (*Brassica rapa*) und Gemüsekohl (*Brassica oleracea*) hervorgegangen ist. Das Genom von Raps besteht aus 38 Chromosomen, davon sind 20 bzw. 18 Chromosomen von den beiden Ausgangsformen.<sup>[3]</sup>

## Geschichte

Raps wird schon seit Jahrhunderten wegen des hohen Ölgehaltes seiner Samenkörner kultiviert. Die Rapspflanze war schon den Römern bekannt. Ursprünglich stammt der Raps aus dem östlichen Mittelmeerraum und wurde zur Gewinnung von Speise- und vor allem Lampenöl verwendet. In Indien gibt es für eine Verwendung Hinweise bereits um 2000 v. Chr., in Europa wird er erst seit dem 14. Jahrhundert angebaut<sup>[4]</sup>. Ab dem 17. Jahrhundert findet der Anbau im größeren Stil statt. Im nordwestlichen Deutschland und in den Niederlanden war Raps im 16. und 17. Jahrhundert die wichtigste Ölfrucht. In der Mitte und im Osten Deutschlands dagegen herrschten die eng verwandten Rübsen vor<sup>[5]</sup>. Zunächst lieferte Raps vorwiegend Brennstoff für Öllampen. Im frühen 19. Jahrhundert stieg der Rapsanbau an, weil sich der Gebrauch des Öls als Beleuchtungs- und Nahrungsmittel zunehmend durchsetzte. Als Speiseöl wurde Rapsöl unter anderem wegen seines bitteren Geschmack, der auf einen hohen Gehalt an Erucasäure zurückzuführen war, nur eingeschränkt verwendet. Allenfalls in Hungerzeiten kam Rapsöl vermehrt auch als Nahrungsmittel auf den Tisch. So brach der Rapsanbau in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts stark ein, als preiswerte Erdölimporte und tropische und subtropische Speiseöle auf den Markt kamen. 1878 wurden noch 188.000 ha Raps im Deutschen Reich angebaut, 36 Jahr später waren es nur noch 87.711 ha<sup>[5]</sup>.

In beiden Weltkriegen wurde in Deutschland der Rapsanbau forciert, um sich aus der Abhängigkeit von Fett- und Öleinfuhren zu lösen. Vor allem Margarine wurde aus heimischem Rapsöl hergestellt. Als Speiseöl nur bedingt tauglich, als Futtermittel ungeeignet, blieb Rapsöl im Wesentlichen auf die Verwertung technischer Öle beschränkt (Brennstoff für Öllampen, Schmiermittel für (Dampf)Maschinen, Grundstoff für die Seifenherstellung)<sup>[3]</sup>. Dies änderte sich ab ca. Mitte der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts. Es kamen Neuzüchtungen mit zwei neuen Merkmalen auf den Markt: Das Öl aus diesem 00-Raps ("Doppel-Null") enthielt nur noch geringe Mengen der bitter schmeckenden Erucasäure und war nahezu frei von Senfölglykosiden. Diese giftigen Stoffe hatten bis dahin eine Verwendung als Lebensmittel bzw. als Tierfutter weitgehend ausgeschlossen.

Nachdem durch die Neuzüchtungen zunächst die Verwertung als ernährungsphysiologisch wertvolles Speiseöls sowie als Rohstoff für Speisefette im Mittelpunkt gestellt wurde, ist Rapssaat in der Folge dann zunehmend auch als nachwachsender Rohstoff genutzt worden. 2007 wurden drei Viertel des in Deutschland erzeugten Rapsöls zur Erzeugung von Biokraftstoffen oder zur Verwertung in der Industrie verwandt.<sup>[6]</sup>



Rapsfelder



Rapsfelder am Wohlenberger Wiek

## Anbau

### Züchtung und Sorten

Bis zu den 1970er - Jahren konnte man Raps kaum als Lebens- und Futtermittel verwenden, denn er enthielt erhebliche Mengen der einfach ungesättigten Erucasäure und an Glucosinolaten. Erucasäure macht mehr als die Hälfte der Fettsäure herkömmlicher Rapssorten aus,<sup>[7]</sup> sie verursacht Organschäden und Herzprobleme bei Menschen und Säugetieren. Wegen der Glucosinolate durften Raps-Pressrückstände nur zu geringen Anteile im Tierfutter sein. Wegen des intensiven Kohlgeruchs fraßen die Tiere weniger, zudem verändern Glucosinolate Schilddrüse. Außerdem entstanden im Pressrückstand Senföle, die beim Tier Verdauungsstörungen hervorrufen, Hühnereier erhalten einen Fischgeschmack.

### Null- , DoppelNull- und PlusNull-Raps

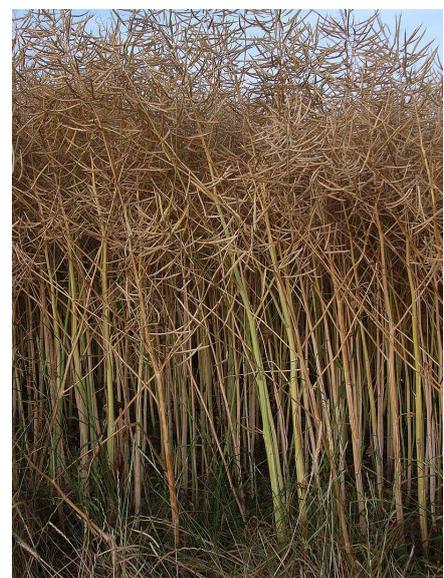
1974 kamen unter der Bezeichnung *Null-Raps* (0-Raps) praktisch erucasäurefreie (weniger als 2 Prozent im Öl) und damit für die menschliche Ernährung geeignete Sorten auf den Markt, deren Saat einen höheren Anteil der besser verträglichen Öl- und Linolensäure enthält. Livio war das erste kommerziell vertriebene Raps-Speiseöl in (West-)Deutschland.

Als *Doppelnull-Raps* (00-Raps) wurden 1985 weiter gezüchtete Sorten vorgestellt, bei denen neben der Erucasäurefreiheit auch der Gehalt an Glucosinolaten sehr stark verringert war (weniger als 25µmol pro Gramm Saat). Die Zusammensetzung der Fettsäuren von 00-Rapsöl ist der von Olivenöl sehr ähnlich. Der Anteil essentieller Fettsäuren, insbesondere der  $\alpha$ -Linolensäure ist um ein Mehrfaches höher als bei Olivenöl.<sup>[8]</sup> Die in Kanada entwickelten und in ganz Nordamerika kultivierten Doppelnull-Rapssorten wurden ursprünglich aus Vermarktungsgründen auch als *Canola* (**Can**adian **oil**, **low acid**) bezeichnet. Mittlerweile wird *Canola* in weiten Teilen Amerikas und Australiens allgemein als Bezeichnung für Raps verwendet, unter anderem wegen der Konnotation des englische Ausdrucks *rape seed* (*rape* bedeutet neben *Raps* auch *Vergewaltigung*).

Heute wird in Deutschland beinahe die gesamte Anbaufläche mit 00-Raps bestellt.<sup>[9]</sup> Daneben wurden für die Produktion von Erucasäure als industrieller Rohstoff erucasäurereiche, aber glucosinolatarme Sorten gezüchtet, der *PlusNull-Raps* (+0-Raps) oder HEAR (engl.: *high erucic acid rapeseed*). Der Pressrückstand kann auch bei diesen Sorten verfüttert werden. Auf Flächen, die einmal mit +0-Raps bepflanzt waren, kann allerdings kein 00-Raps für die menschliche Ernährung mehr angebaut werden, da dieser mit ausgesamtem +0-Raps (Ausfallraps) verunreinigt sein kann.



Winterraps im April



Rapsfeld mit Schoten



Fruchtstand von Raps

Der Verzehr von Raps in größeren Mengen über längere Zeit kann bei Wiederkäuern Blutarmut verursachen<sup>[10]</sup>.

### Holli-Raps

HOLLI-Raps (*High Oleic, Low Linolenic*) ist eine weitere Züchtung mit veränderter Fettsäurezusammensetzung. Das Öl ist sehr hitzestabil, bei der Erhitzung entstehen weniger gesundheitsschädliche "trans-Fettsäuren". Für den Anbau von HOLLI-Raps steht derzeit (Stand: 2008) die neu zugelassene Winterrapssorte „V 140 OL“ zur Verfügung.<sup>[11]</sup>

### Hybridsorten

Im Juli 1994 wurde in Frankreich die weltweit erste Hybridsorte bei Raps in die Sortenliste eingetragen. Bei dieser bleibt die „cytoplasmatisch-männliche Sterilität“ (cms) der Mutterlinie in der Hybride erhalten, die aufwachsende Hybridpflanze bildet also keinen Pollen und ist daher männlich steril. Im Konsumanbau werden "Verbundhybriden" genannte Saatgutmischungen aus der unfruchtbaren Hybridsorte und einer herkömmlichen Sorte als Pollenspender ausgesät. Durch die fehlende Selbstbestäubung steigt jedoch das Ertragsrisiko, so dass dieser Hybridtyp nicht mehr weiterverfolgt wird.

1996 wurden in Deutschland sogenannte "restaurierte Hybriden" zum Anbau zugelassen. Diese blühen wie herkömmliche Liniensorten ab und bieten daher die gleiche Ertragssicherheit wie diese, jedoch verbunden mit höherer Vitalität und höherem Ertragspotenzial. 2002 standen Hybridsorten auf etwa der Hälfte der Rapsanbaufläche in Deutschland.

### Gentechnisch veränderte Sorten

→ Hauptartikel: *transgener Raps*

Raps zählt zu den ersten Nutzpflanzen, bei denen großflächig gentechnisch veränderte Sorten angebaut wurden. Durch Veränderung des Rapserebgenoms wurden Rapspflanzen mit verschiedenen nützlichen Eigenschaften entwickelt. Gentechnisch veränderte Rapssorten werden bisher vor allem in den USA (82% der Rapsanbaufläche im Jahr 2007), Kanada (87% der Rapsanbaufläche im Jahr 2007) und in Australien (seit 2008) angebaut. In der EU gibt es bisher lediglich Zulassungen der Ernte als Lebens- bzw. Futtermittel, jedoch keine für den kommerziellen Anbau.<sup>[12]</sup>

### Standort

Die Ansprüche von Raps an den Boden sind denen des Weizens vergleichbar. Raps benötigt tiefgründigen Boden, der eine ungehinderte Wurzelentwicklung bis unterhalb des Bearbeitungshorizonts ermöglicht. Tiefgründige Lehmböden mit pH-Werten um 6,5 sind für den Anbau besonders geeignet. Ungeeignete Standorte für Raps sind sehr tonige Böden mit starker Neigung zu Staunässe wegen Einschränkungen bei der Bodenbearbeitung sowie extrem leichte oder flachgründige Böden, bei denen Trockenperioden die Ertragssicherheit verringern. Bei Moorböden mit Spätfrostgefahr kann es bei Winterrapsanbau zur Schädigung der Blüte, zum Platzen der Pflanzenstängel oder auch zum Auffrieren des Bestandes mit Totalschäden kommen.



Rapsschote mit Körnern



geöffnete Rapsschote

Raps besitzt nur eine begrenzte Frosthärte bis zu etwa  $-15\text{ °C}$  bis  $-20\text{ °C}$  bei schneefreiem Boden. Verändert sich die Bodenstruktur durch Frosteinwirkung (Auffrieren), so können zudem Wurzeln abreißen. Warme Mittagstemperaturen bei beginnender Atmung der Pflanzen gegen Winterende können zum Vertrocknen führen, da die Wurzeln bei noch gefrorenem Boden nicht genügend Wasser aufnehmen können.

### **Fruchtfolge**

Raps ist nicht selbstverträglich, das heißt, dass man nach dem Anbau das Feld zwei bis drei Jahre nicht mehr mit Raps bepflanzen soll, um ein vermehrtes Auftreten spezifischer Pflanzenkrankheiten und -schädlinge zu vermeiden. Raps kann daher einen Anteil von höchstens 25 bis 33 Prozent in der Fruchtfolge einnehmen, um Mindererträge beziehungsweise verstärkten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu vermeiden. Auch vor dem Anbau verwandter Kulturpflanzen nach Raps sind Anbaupausen nötig, so bei Beta-Rüben wegen Rübennematoden sowie bei Kohl- und Stoppelrüben wegen Kohlhernie.

Raps ist bei der Fruchtfolge mit Getreide wichtig, das es Struktur und biologische Aktivität des Bodens fördert sowie mit dem Verbleib von Pflanzenteilen (Wurzeln, Stroh) auf dem Feld der Humusbildung dient. Vor allem Sommerraps sorgt mit einer guten Durchwurzelung des Bodens für dessen gute Durchlüftung. Winterraps kann von Vorfrüchten freigesetzte Stickstoffmengen noch im Herbst aufnehmen. Bleiben Rapssaat im Boden, ist sie auch nach langer Zeit noch keimfähig und kann bei Auswuchs Nachfrüchte stören.

### **Aussaat**

In Mitteleuropa wird überwiegend Winterraps angebaut. Die Aussaat erfolgt im Herbst, die Ernte im darauf folgenden Frühsommer. In Kanada, dem weltweit größten Raps-Erzeugerland, überwiegt dagegen Sommerraps.

In Deutschland wird bei Winterraps ein Saattermin in der zweiten Augushälfte angestrebt. Eine Aussaat bis in die erste Septemberwoche ist möglich. Angestrebt wird, dass die Pflanzen in einem kräftigen Rosettenstadium in den Winter gehen, jedoch noch keine verlängerte Sprossachse bilden.

Raps erfordert ein optimales Saatbett mit leicht verfestigtem Saatablagehorizont (die Bodentiefe, in der das Saatgut abgelegt wird) und flacher, lockerer Oberfläche. 35–70 Körner Winterraps pro Quadratmeter werden mit zwei bis drei Zentimetern Ablagetiefe flach gesät. Bei Hybriden liegt die Aussaatmenge etwas niedriger als bei Liniensorten. Üblich sind Reihenabstände von etwa 13 bis 26 cm. Zur Anwendung kommt sowohl die Drillsaat als auch die exaktere, aber aufwändigere Einzelkornsaat.

### **Düngung**

Die Rapspflanze stellt hohe Ansprüche an die Nährstoffversorgung. Verglichen mit Getreide ist bei Raps unter den Hauptnährstoffen vor allem der Bedarf an Stickstoff, Kalium und Schwefel hoch. Unter den Mikronährstoffversorgung benötigt Raps besonders viel Bor, Mangan und Molybdän.<sup>[13]</sup>

### **Unkrautregulierung und Pflanzenschutz**

Bis in die 1970er Jahre wurde Raps als Hackfrucht angebaut - im ökologischen Landbau erfolgt die Unkrautregulierung auch heute per Maschinenhacke. Im konventionellen und integrierten Anbau wird das Unkraut neben allgemeinen ackerbaulichen Maßnahmen fast ausschließlich durch Herbizide bekämpft. Gentechnisch veränderte herbizidtolerante Rapssaat ermöglicht den Einsatz nichtselektiver Herbizide, ist jedoch in Europa nicht zum Anbau zugelassen. Pflanzenschutzmittel (Insektizide, Fungizide und Wachstumsregler) werden in Deutschland während der Kulturdauer im Durchschnitt rund dreimal ausgebracht.

### Krankheiten

- Weißstängeligkeit, auch Rapskrebs genannt, (*Sclerotinia sclerotiorum*)
- Wurzelhals- und Stengelfäule (*Phoma lingam*)
- Rapsschwärze (*Alternaria brassicae*)
- Kohlhernie (*Plasmodiophora brassicae*)
- Verticilliumwelke (*Verticillium dahliae*)
- Cylindrosporium-Blattflecken

### Schädlinge

- Großer Rapserrdfloh (*Psylliodes chrysocephala*)
- Großer Rapsstängelrüssler (*Ceutorrhynchus napi*)
- Gefleckter Kohltriebrüssler (*Ceuthorrhynchus quadridens*)
- Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*)
- Kohlschotenrüssler (*Ceuthorrhynchus assimilis*)
- Kohlschotenmücke (*Dasyneura brassicae*)
- Kohlrüben-Blattwespe (*Athalia rosae*)

### Begleitvegetation

Bei dem verbreiteten Anbau nach Getreide tritt regelmäßig Ausfallgetreide (Aufwuchs aus Samen, die bei der Getreideernte auf dem Acker verblieben sind) auf. Zu den häufigsten Ungräsern zählt der Acker-Fuchsschwanz. An Unkräutern treten häufig Klettenlabkraut und Vogelmiere auf sowie, vor allem auf schlecht durchlüfteten Böden, Kamillen. Einseitiger Herbizideinsatz fördert zudem dem Raps verwandte kreuzblütige Unkräuter sowie Ackerstiefmütterchen und Storchenschnabel.

### Ernte und Ertrag

Geerntet wird der stehende Bestand meist in einem Arbeitsgang (Direktdrusch), möglich ist auch der Schwaddrusch mit mehreren Arbeitsschritten. Beim Direktdrusch geerntet, wenn die Körner schwarz geworden sind und beim Schütteln in der Schote rascheln. Das Stroh kann zu diesem Zeitpunkt noch teilweise grün sein. In Deutschland ist dies in der Regel in der zweiten Julihälfte der Fall. Beim Schwaddrusch werden die Pflanzen bereits gemäht und auf den Schwad gelegt, wenn sich die Körner beidseitig zu bräunen beginnen. Nach der Feldtrocknung werden die Körner beim Schwaddrusch im Pickup-Verfahren ausgedroschen.

Als Erntemaschinen dienen beim Direktdrusch herkömmliche Mährescher, häufig mit Zusatzeinrichtungen wie einer Verlängerung des Tisches hinter dem Schneidwerk wegen des langen Rapsstrohs sowie Seitenmessern am Schneidwerk sowie mit für Raps optimierten Sieben und Blechen für den Drusch. Wo Schwaddrusch praktiziert wird, kommen spezielle Schwadmäher zum Einsatz.

Die Hektarerträge für Winterraps in Deutschland betragen 1992 durchschnittlich 2,6 Tonnen pro Hektar, zur Ernte 2009 dagegen die bisherige Rekordmenge von 4,2 Tonnen pro Hektar. Der mittlere Ölgehalt der Rapssaat beträgt 45 bis 50 Prozent, der Proteingehalt reicht von 17 bis 25 Prozent.



## Anbauumfang und -entwicklung

Seit den 1990er Jahren ist Raps nach Soja weltweit die Ölsaat mit dem zweithöchsten Anteil am Weltmarkt. 2007 betrug der Anteil von Raps an der weltweiten Ölsaatenproduktion 12,9 %. Weltweit wurden 2008/09 rund 54,1 Mio. t Rapssaat erzeugt, das ist mehr als das Vierfache der jährlichen Produktion Anfang der 1980er-Jahre (12,7 Mio. Tonnen im Durchschnitt der Jahre 1980-1982). Auch die Rapsölproduktion steigt stark an, der Anteil an der gesamten Pflanzenölproduktion für das Wirtschaftsjahr 2008/09 wird auf 14,5 Prozent geschätzt.<sup>[15]</sup>

### Anbau nach Sorten

In Europa wird fast ausschließlich 00-Rapssorten als Winterraps angebaut. Der Anbau als Sommerung hat an Bedeutung verloren (372.000 Hektar im Jahr 2007). Knapp 60 Prozent der Sommerrapsflächen in der EU liegen in den baltischen Staaten. In Deutschland ist der Sommerrapsanbau seit Mitte der 1990er Jahre um fast 90 Prozent auf 12.800 Hektar zurückgegangen.<sup>[16]</sup>

### Anbau nach Verwendungsarten

Die in Deutschland meist angebauten 00-Rapssorten eignen sich für die Verwendung im Lebensmittelsektor ebenso wie für die Verwendung als nachwachsender Rohstoff. Auf Flächen, die als Stilllegungsflächen ausgewiesen sind, dürfen keine Lebens- und Futtermittel angebaut werden. Auf diesen Flächen kultivierter Raps wird also ausschließlich als nachwachsender Rohstoff verwendet. Da die obligatorische Flächenstilllegung 2008 abgeschafft wurde und die Energiepflanzenprämie der EU für Raps auf Nicht-Stilllegungsflächen 2009 letztmalig ausgezahlt wird, konkurrieren die verschiedenen Verwendungsarten für Rapsprodukte nun ohne Einfluss der Agrarförderung.<sup>[15]</sup>

Raps als nachwachsender Rohstoff wurde 2008 in Deutschland auf rund 1,0 Mio. Hektar angebaut, das sind erstmals nach jahrelangen Zuwächsen fast 20 Prozent weniger als im Vorjahr. Fast 64 Prozent der bundesweiten Anbaufläche in 2007 lag in Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen-Anhalt.<sup>[15] [17]</sup>

### Anbau und Verwendung nach Ländern und Regionen

91 % der Welt-Rapsproduktion erfolgt in der Europäischen Union, China, Kanada und Indien. Kanada führt die Liste der Exportländer an, bis 2006 gefolgt von Australien. Dürrebedingte Ernteausfälle in Australien und ein steigendes Rapsangebot aus den GUS-Staaten, insbesondere der Ukraine, erhöhen die Bedeutung Osteuropas für den internationalen Rapsmarkt.<sup>[15]</sup>

Innerhalb der Europäischen Union dominiert die Rapserzeugung in Deutschland mit 5,2 Millionen Tonnen und Frankreich mit 5,0 Millionen Tonnen (Ernte 2008/09). Großbritannien und Polen sind weitere wichtige Erzeugerländer in der EU. Die Anbauflächen wurden in den vergangenen Jahren deutlich ausgeweitet, vor allem von einigen Ländern der neuen EU-Staaten (Rumänien, Polen, Tschechien).<sup>[15]</sup>

Die Anbaufläche in Deutschland ist in den vergangenen Jahrzehnten stark gestiegen: Von weniger als 20.000 Hektar zu Beginn der 80er Jahre über eine Million Hektar im Jahr 1992 bis zu 1,5 Millionen Hektar zur Ernte 2009.<sup>[18]</sup>

## Nutzung

*Hauptartikel: Rapsöl, Rapsstroh, Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen*

### Ernährung, Futtermittel und stoffliche Nutzung

Aus der Rapssaat, dem wirtschaftlich genutzten Pflanzenteil, wird in erster Linie Rapsöl gewonnen, das als Speiseöl und Futtermittel, aber auch als Biokraftstoff genutzt wird. Weiter wird Rapsöl in der chemischen und pharmazeutischen Industrie verwendet und dient als Grundstoff für Materialien wie Farben, Bio-Kunststoffe, Kaltschaum, Weichmacher, Tenside und biologische Schmierstoffe.<sup>[19]</sup>

Als Koppelprodukte der Rapsölgewinnung in Ölmöhlen fallen je nach Verarbeitungsmethode rund zwei Drittel der Rapssaatmasse in Form von Rapskuchen, Rapsexpeller oder Rapsextraktionsschrot an. Diese Produkte finden vor allem als eiweißreiches Tierfutter Verwendung und können Importe von Soja teilweise ersetzen. Glycerin, das als Nebenprodukt der Weiterverarbeitung von Rapsöl zu Biodiesel anfällt, findet ebenfalls Verwendung in der Futtermittelindustrie, zunehmend aber auch in der chemischen Industrie sowie als Bioenergieträger.

Das bei der Ernte anfallende Rapsstroh verbleibt in der Regel als Humus- und Nährstofflieferant auf dem Acker, kann aber auch energetisch genutzt werden. Für die Imkerei haben Rapskulturen große Bedeutung. Rapsblüten sind unter anderem in Deutschland eine der wichtigsten Nektarquellen für Honigbienen.

## Bioenergieträger

*Hauptartikel: Rapsmethylester, Biodiesel*

Rapssaat hat sich etwa seit dem Jahrtausendwechsel zu einem wichtigen Bioenergieträger entwickelt. Rapsöl wird dabei vor allem für die Biokraftstoffe Pflanzenöl-Kraftstoff und Biodiesel (Rapsölmethylester) verwendet. Daneben dient das Öl als Treibstoff in Pflanzenöl-Blockheizkraftwerken (BHKW) und als Brennstoff - pur oder in Beimischung - in Ölheizungen, die für den Pflanzenölbetrieb angepasst sind (Pflanzenölbrenner). Rapskuchen wird derzeit fast ausschließlich in der Tierfütterung genutzt, möglich ist jedoch auch die Verbrennung oder die Nutzung als Substrat in Biogasanlagen zur Wärme- und Stromerzeugung.

Neben den allgemeinen Vorteilen der Bioenergieträger wie Erneuerbarkeit, weitgehende CO<sub>2</sub>-Neutralität und der Fähigkeit, Sonnenenergie zu speichern spricht für die energetische Nutzung von Pflanzenölen, dass sie in großen Mengen verfügbar sind und die Nutzung mit relativ geringem technischem Aufwand möglich ist. Ein wichtiger Faktor aus Sicht der Ressourceverfügbarkeit ist bei weltweit steigendem Proteinbedarf die Nutzung der Koppelprodukte als proteinreiche Futtermittel<sup>[20]</sup>. In Deutschland ist Rapsöl derzeit das einzige einheimische Pflanzenöl, das in großen Mengen für eine energetische Nutzung zur Verfügung steht.

Kritisiert werden an der Nutzung von Raps als Bioenergieträger der Flächenbedarf bei zunehmender Flächenkonkurrenz zu Nahrungs- und Futtermitteln. Teilweise in Zusammenhang damit werden die Auswirkungen der Biokraftstoffproduktion auf die Weltmarktpreise von Nahrungsmitteln diskutiert.<sup>[21]</sup> Zudem ist der Ressourcenverbrauchs von Raps als Bioenergieträger zu berücksichtigen: Die Düngung der Pflanze und, in geringerem Maße, die Verarbeitung der Rapssaat zu Pflanzenöl und Biodiesel verbrauchen Energie und Rohstoffe, der Wasserverbrauch der Rapspflanze beim Aufwuchs ist ebenfalls erheblich.

Diskutiert wird, wie sich die Stickstoffdüngung auf die Klimabilanz von Raps auswirkt. Ein Teil des Stickstoffs kann zu Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O, „Lachgas“) umgesetzt werden, ein bis zu 320-fach stärker wirkendes Treibhausgas als Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>). Die tatsächlich freigesetzte Menge hängt unter anderem von dem Anteil des Stickstoff im Dünger ab, der tatsächlich zu Lachgas umgesetzt wird und in die Atmosphäre gelangt. Für die Berechnung sind auch Faktoren wichtig, wie z. B. die von der Pflanze aufgenommene Stickstoffmenge, die tatsächlich eingesetzte Menge an Dünger und die Einbeziehung von Nebenprodukten (Rapsschrot) in die Bilanzierung.<sup>[22]</sup> Verschiedene Studien nennen eine positive Klimabilanz. Große Presseresonanz fand in 2008 eine Studie, die eine negative Klimabilanz für Treibstoff aus Raps berechnete, deren Einschätzung der oben genannten Faktoren von vielen Seiten jedoch als veraltet und wissenschaftlich nicht haltbar kritisiert wurde.<sup>[23] [24] [25] [26]</sup>

## Literatur

- Klaus-Ulrich Heyland, Herbert Hanus, Ernst Robert Keller: *Ölfrüchte, Faserpflanzen, Arzneipflanzen und Sonderkulturen*, Handbuch des Pflanzenbaus Band 4, Eugen Ulmer KG, Stuttgart 2006, S. 41-148. ISBN 978-3-8001-3203-4
- Olaf Christen, Wolfgang Friedt: *"Winterraps - Das Handbuch für Profis"*, DLG-Verlag 2007; 323 Seiten, ISBN 978-3-7690-0680-3
- W. Schuster: *"Ölpflanzen in Europa"*, DLG-Verlag, ISBN 3-7690-0501-5

## Weblinks

- Merkblätter und Informationen zum Rapsanbau (Anbauempfehlungen, Krankheiten, Schädlinge) <sup>[27]</sup>, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
- Informationen zu Raps als Kulturpflanze <sup>[28]</sup> [proplanta.de](http://proplanta.de)
- Fotogalerie Raps <sup>[29]</sup>, mit Fotos und Erläuterung von Schadbildern, Schädlingen und Krankheiten
- [raps.info](http://raps.info) <sup>[30]</sup>
- Rapsöl: Aufstieg zum hochwertigen Speiseöl <sup>[31]</sup> auf [biosicherheit.de](http://biosicherheit.de)

## Referenzen

- [1] C. Gómez Campo: *Brassica*. In: *Flora Iberica*, Bd. 4, S. 367-368.
- [2] Tai-yien Cheo, Lianli Lu, Guang Yang, Ihsan Al-Shehbaz, Vladimir Dorofeev: *Brassicaceae*. In: *Flora Of China*, Bd. 8, S. 21, Online ([http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=2&taxon\\_id=200009263](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=200009263)).
- [3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.): *Pflanzen für die Industrie* ([http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_197industriepfl2005.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_197industriepfl2005.pdf)). Gülzow, 2005. S. 7.
- [4] Frank Kempken, Renate Kempken: *Gentechnik bei Pflanzen*, S. 2, 3. Auflage, 2006, ISBN 3-540-33661-3
- [5] K.U.Heyland, H. Hanus, E.R. Keller: *Ölfrüchte, Faserpflanzen, Arzneipflanzen und Sonderkulturen* In: *Handbuch des Pflanzenbaues*, Bd. 4, S. 43-44, ISBN 3800132036
- [6] Agrarmärkte 2007: Ölsaaten (<http://www.lfl.bayern.de/iem/agrarmarktpolitik/28943/>), Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, abgerufen am 29. Februar 2008
- [7] Geisler, Gerhard: Raps. In: Geisler, Gerhard: *Pflanzenbau*. Paul Parey Verlag, 2. Aufl., 1988, S. 333. ISBN 3-489-61510-7
- [8] Becker, H. (1993): *Pflanzenzüchtung*. Ulmer, Stuttgart, ISBN 978-3-8252-1744-0.
- [9] Rapsanbau in Deutschland: Schub durch Doppel-Null-Raps (<http://www.biosicherheit.de/de/raps/landwirtschaft/47.doku.html>), abgerufen am 12. März 2008
- [10] Institut für Veterinärpharmakologie und -toxikologie: *Brassica oleracea ssp.* - Veterinärtoxikologie ([http://www.vetpharm.uzh.ch/reloader.htm?giftodb/pflanzen/0087\\_vet.htm?inhalt\\_c.htm](http://www.vetpharm.uzh.ch/reloader.htm?giftodb/pflanzen/0087_vet.htm?inhalt_c.htm)), abgerufen am 3. September 2009
- [11] Fachinformation Pflanzliche Produktion RWZ Rhein-Main eG
- [12] Transgen.de: Raps (<http://www.transgen.de/datenbank/pflanzen/63.raps.html>)
- [13] Dr. Ralf-Rainer Schulz: *Anbautelegramm Winterraps*. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, 2006. (<http://www.agrarnet-mv.de/index.php?content/view/full/1757>).
- [14] BMELV: *Besondere Ernteermittlung* (<http://www.bmelv-statistik.de/de/besondere-ernteermittlung/winterraps/>) und *Ernte 2009: Mengen und Preise* (<http://www.nova-institut.de/news-images/20090902-04/Ernte2009MengenPreise-1.pdf>), abgerufen am 7. September 2009
- [15] Herbert Goldhofer, Werner Schmid: *Ölsaaten und Eiweißpflanzen*. In: Bayerischer Landesanstalt für Landwirtschaft: *Agrarmärkte Jahresheft 2008* ([http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe/p\\_29525.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe/p_29525.pdf)), März 2009, ISSN 1411-4159, Seiten 45-60
- [16] ZMP: *Weniger Sommerölfrüchte in der EU angebaut* ([http://www.zmp.de/agrarmarkt/ackerbau/2008\\_03\\_18\\_EU\\_Sommersoelfruechte.asp](http://www.zmp.de/agrarmarkt/ackerbau/2008_03_18_EU_Sommersoelfruechte.asp)), 18. März 2008 und *ZMP: Sommerrapsfläche erreicht neuen Tiefpunkt* ([http://www.zmp.de/agrarmarkt/ackerbau/2008\\_03\\_18\\_Sommerraps\\_D.asp](http://www.zmp.de/agrarmarkt/ackerbau/2008_03_18_Sommerraps_D.asp)), 18. März 2008
- [17] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe: *Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland*. ([http://www.nachwachsenderohstoffe.de/index.php?eID=tx\\_cms\\_showpic&file=uploads/pics/Anbau2008\\_01.jpg&width=800m&height=600m&bodyTag=<body style='margin:0; background:#fff;'>&wrap=<a href='\"javascript:close\(\);\"> | </a>&md5=5bf0e44cb44a27834f642e175aec12d5](http://www.nachwachsenderohstoffe.de/index.php?eID=tx_cms_showpic&file=uploads/pics/Anbau2008_01.jpg&width=800m&height=600m&bodyTag=<body style='margin:0; background:#fff;'>&wrap=<a href='\)) Abgerufen am 7. September 2009
- [18] *Ernte 2009: Mengen und Preise* (<http://www.nova-institut.de/news-images/20090902-04/Ernte2009MengenPreise-1.pdf>), abgerufen am 7. September 2009
- [19] Agrarmärkte 2007: Ölsaaten (<http://www.lfl.bayern.de/iem/agrarmarktpolitik/28943/>) (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, abgerufen am 29. Februar 2008

- [20] BBK Biokraftstoff-Experteninfo Juni 2007 ([http://www.biodiesel-splinter.de/doc/BBK\\_Experteninfo180607.pdf?hashID=1319b1daad9cec6844a30401dae37a65](http://www.biodiesel-splinter.de/doc/BBK_Experteninfo180607.pdf?hashID=1319b1daad9cec6844a30401dae37a65))
- [21] BBC News: Biofuels 'crime against humanity' (<http://news.bbc.co.uk/2/hi/americas/7065061.stm>)
- [22] Raiffeisen Klimaschutz-Initiative: *Schultes kritisiert völlig einseitige Biotreibstoff-Debatte* ([http://www.raiffeisen-klimaschutz.at/eBusiness/rzb\\_template/430016439953223678-430016439953223679\\_537645786821825876\\_431418809874601187-475199983655011392-NA-NA-DE.html](http://www.raiffeisen-klimaschutz.at/eBusiness/rzb_template/430016439953223678-430016439953223679_537645786821825876_431418809874601187-475199983655011392-NA-NA-DE.html)), vom 22. April 2008, abgerufen am 07. März 2010
- [23] P. J. Crutzen, A. R. Mosier, K. A. Smith, W. Winiwarter: *N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels* (<http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/7/11191/2007/acpd-7-11191-2007-print.pdf>), 2007
- [24] *Ernüchternde Klimabilanz* (<http://www.zeit.de/online/2007/39/Biosprit?page=all>), Bericht auf *Zeit online* am 2. November 2007, abgerufen am 14. Januar 2010
- [25] *Biofuels could boost global warming, finds study* (<http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2007/September/21090701.asp>), Bericht über die Studie und die ausgelöste Diskussion über die Methodik, Internetpräsenz der *Royal Society of Chemistry*, abgerufen am 14. Januar 2010
- [26] Kommentar von Prof. Dr. Dr. h.c. Wolfgang Friedt, Interdisziplinäres Forschungszentrum für biowissenschaftliche Grundlagen der Umweltsicherung (IFZ), Justus-Liebig-Universität Giessen zur Studie "N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels" von Crutzen P.J. et al. (<http://www.ufop.de/2605.php>), abgerufen am 27. Juli 2009
- [27] <http://www.lfl.bayern.de/ipz/oelfruechte/16507/index.php>
- [28] [http://www.proplanta.de/web/themen.php?MOF1=1200149696&MRID=1202570037&MLF1=1140269007&MLID=1200331219&MHID=6&MUID=5&MOID=1&\\_\\_utmb=77131348&\\_\\_utmc=77131348&Fu1GrI=1142936052&Fu1=1140269007&con=&lasu=&&T=1203056873&&SITEID=1140269007&\\_404=](http://www.proplanta.de/web/themen.php?MOF1=1200149696&MRID=1202570037&MLF1=1140269007&MLID=1200331219&MHID=6&MUID=5&MOID=1&__utmb=77131348&__utmc=77131348&Fu1GrI=1142936052&Fu1=1140269007&con=&lasu=&&T=1203056873&&SITEID=1140269007&_404=)
- [29] <http://www.agrarfotodesign.de/raps/index.html>
- [30] <http://raps.info>
- [31] <http://www.biosicherheit.de/de/raps/landwirtschaft/48.doku.html>

## Rapsasphalt

---

Als **Rapsasphalt** bzw. unter dem Merckennamen **RapsAsphalt** wird ein Asphalt bezeichnet, der eine nennenswerte Menge Rapsöl im Bitumenanteil enthält (Raps-Bitumenemulsion)<sup>[1]</sup>. Entwickelt wurde dieser Asphalt, um das ansonsten im Bitumen enthaltene Erdöl zu substituieren und so eine umweltfreundlichere und zugleich kostensparendere Asphaltform zu erhalten. RapsAsphalt wurde von der österreichischen Firma Vialit Asphalt Ges.m.b.H. & Co. KG (Lizenzgeber) entwickelt und 1994 patentiert. In Deutschland liegen die Herstellung und der Vertrieb in Händen des ARGE RapsAsphalt e.V.

### Herstellung

Rapsasphalt wird wie normaler Asphalt als eine Mischung aus dem Bindemittel Bitumen und Gesteinskörnungen hergestellt und zur Oberflächenbehandlung im Straßenbau eingesetzt. Er unterscheidet sich von Asphalt also nur in der Zusammensetzung des Bindemittels.

Dabei wird an Stelle der herkömmlich verwendeten weichen Bitumenlösungen hartes Bitumen eingesetzt, das durch die Zugabe von Rapsöl auf eine verarbeitungsfähige Konsistenz eingestellt wird. Dieses rapsöhlhaltige Bitumen wird zu Fluxbitumen (für die Verwendung im Heißverfahren) oder Bitumenemulsionen (Kaltverfahren) weiterverarbeitet. Der Anteil an Rapsöl im Rapsasphalt beträgt je nach Einsatzgebiet und Sorte gemäß Patentangabe zwei bis 20 Prozent.

### Eigenschaften

Rapsasphalt besitzt einige Eigenschaften, die sich positiv auf die Eigenschaften des Bitumen auswirke. Die Zugabe von 5% Rapsöl zum Asphalt verringert die Viskosität und verbessert damit die Benetzung des Rollsplitts.<sup>[2]</sup> Die Aushärtung und die Verkehrsfestigkeit ausgebesserter Oberflächen wird mit Rapsasphalt schneller erreicht, das Alterungsverhalten soll gegenüber Vergleichsprodukten verbessert sein. Zudem ist das biologisch abbaubare Rapsöl bei Auswaschungen durch Regenwasser umweltschonender als wassergefährdende Öle auf mineralischer Basis. Im

Unterschied zu herkömmlichen Bitumenmischungen enthält Rapsasphalt keine Weichmacher, die ein Gesundheitsrisiko bei der Verarbeitung darstellen können.<sup>[3]</sup>

Eine von der Technischen Universität München durchgeführte Untersuchung des Asphalts im Praxistest bestätigte die guten Gebrauchseigenschaften des Materials und bescheinigt:

*Nach mehrjähriger Liegezeit und visueller Einschätzung befinden sich die vier untersuchten Oberflächenbehandlungen insgesamt in einem guten bis sehr guten Zustand. Kornausbrüche traten im Wesentlichen nur dort auf, wo extreme Belastungen durch lenkenden land- und forstwirtschaftlichen Verkehr vorhanden sind.*<sup>[4]</sup>

Aufgrund des markenrechtlichen Schutzes des Namens „Rapsasphalt“ ist eine Analytik des Anteils an Rapsöl und die Unterscheidung anderen Ölen und Fetten erforderlich, die aufgrund der Zusammensetzung des Asphalts als Stoffgemisch nur sehr schwer möglich ist. Durch ein Lösungsverfahren mit Schwefelkohlenstoff wurde es ermöglicht, eine Untersuchung im Gaschromatographen durchzuführen und die Beimischung aufgrund des Fettsäuremusters auf 0,5% Genauigkeit zu analysieren.<sup>[2]</sup> Mit der Alterung des Rapsasphalts verändert sich das Fettsäuremuster, da Fettsäuren ohne Doppelbindungen mit dem Bitumen reagieren und entsprechend seine Eigenschaften verändern,<sup>[2]</sup> der Alterungsprozeß und die damit verbundene Verschlechterung der Bindeeigenschaften wird verzögert.<sup>[5]</sup>

## Klimaziele

Neben den direkten technischen Eigenschaften werden vom Lizenzgeber Eigenschaften zur dauerhaften Reduzierung der Treibhausgasbelastung angegeben. Rapsöl ist im Unterschied zu Erdölderivaten nicht fossilen Ursprungs. Laut Auskunft einer anerkannten Bundesanstalt für Landtechnik werden beim Wachstum von Raps rund 6.000 kg CO<sub>2</sub> je Hektar Anbaufläche absorbiert, allein in Österreich könnte im ländlichen Wegenetz eine jährliche Anbaufläche von 6.000 ha für den Straßenbau genutzt und damit jährlich 36 Mio. kg CO<sub>2</sub> gebunden werden. Da Raps im Rahmen der Asphaltherstellung nicht verbrannt wird, kann durch seinen Einsatz als Straßenbaubindemittel eine echte Herabsetzung des Treibhausgases Kohlendioxid durch die Einbettung in Asphalt erreicht werden.<sup>[6]</sup>

## Marktsituation

Die erste aus Rapsasphalt hergestellte Oberfläche war eine Bundesstraße mit Autobahnzubringerfunktion im Jahr 1992.<sup>[5]</sup> Die Markteinführung in Deutschland erfolgte im Jahr 2001 im Rahmen eines Pilotprojekts in Bayern. Zwei Jahre später wurden deutschlandweit 1.900 Tonnen Raps-Bitumenemulsion verarbeitet, im Jahr 2005 bereits 2.100 Tonnen. Für 2006 wird mit einer rückläufigen Menge gerechnet. Gründe für die rückläufige Entwicklung werden in Einsparungen der Kommunen bei Maßnahmen des Straßenunterhalts sowie in den gegenüber herkömmlichem Asphalt um ca. zehn Prozent höheren Kosten gesehen.<sup>[7]</sup>

Rapsasphalt wird bis heute vor allem in der Straßeninstandsetzung eingesetzt, obwohl es nach Ergebnissen auf einer Versuchsbaustelle auch für dickere Asphaltsschichten verwendbar ist. Prognosen gehen davon aus, dass entsprechend etwa drei Prozent des Bitumen durch Rapsöl ersetzt werden könnten, das entspricht einer Menge von etwa 15.000 Tonnen Rapsöl in Österreich und 100.000 Tonnen in Deutschland pro Jahr.<sup>[5]</sup>

## Vegecol

Rapsasphalt ersetzt nur einen Teil des Erdöls im Bitumen durch Rapsöl. Aufbauend darauf hat die Firma Colas Bauchemie GmbH ein Bitumen entwickelt, das vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt wird. Eingesetzt wurde das als Vegecol bezeichnete Bitumen bzw. der daraus hergestellte Asphalt bislang allerdings erst beispielhaft bei der Bundesgartenschau 2007 in Gera sowie bei Parkwegen in der Nähe des Schlosses Nymphenburg als Oberflächenmaterial.<sup>[8]</sup>

## Referenzen

- [1] Thomas Oligschläger: *Raps: Komposition in CO<sub>2</sub> Dur. Neue Wege zur Straßensanierung*. In: C.A.R.M.E.N. e.V. (2009): Jahrbuch 2008/2009 Nachwachsende Rohstoffe. S. 365f., ISBN 978-3-937441-20-7.
- [2] Klaus Tröster: *Analytik von Rapsasphalt*. Pflanzenöl 1/2009; S. 16-17.
- [3] Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH: Nawaro-Kommunal - Rapsasphalt (<http://www.nawaro-kommunal.de/produkte/rapsasphalt.html>)
- [4] Th. Wörner: *Pilotprojekt Raps - Bitumenemulsion im Straßenbau*. Forschungsbericht im Auftrag des Ingenieurbüros Klaus Geuder, Neusitz, Juni 2005
- [5] Johann Bleier: *Rapsöl im Straßenbau - seit 17 Jahren in Österreich bewährt*. Pflanzenöl 1/2009; S. 17-19.
- [6] Internetveröffentlichung aus <http://www.vialit.at/produkteanwendungen/rapsasphalt/co2-reduktion>
- [7] Bettina Schmidt: *RapsAsphalt - Marktsituation*. In: C.A.R.M.E.N. e.V. (2007): Jahrbuch 2006/2007 Nachwachsende Rohstoffe. S. 365f., ISBN 978-3-937441-15-3
- [8] Pressemitteilung der Colas Bauchemie GmbH (<http://www.colas.de/pdf/pr-vegecol.pdf>)

## Rapsextraktionsschrot

**Rapsextraktionsschrot (RES)** wird in Ölmühlen durch die Extraktion des Rapsöls aus der Rapssaat mit Hilfe von Lösungsmitteln als Koppelprodukt gewonnen. Als Lösungsmittel wird zum Beispiel Hexan verwendet, welches anschließend durch eine Feucht-Warm-Behandlung dem Extraktionsschrot wieder entzogen werden muss. Das Entfernen des Lösungsmittels aus dem Extraktionsschrot durch Zuführen von Wasserdampf wird auch als Toasten bezeichnet. Druck und Temperatur dieses Vorganges beeinflussen die Eiweißqualität des Endprodukts. Im Gegensatz zum Extraktionsschrot entsteht Rapskuchen bei der Kaltpressung von Rapsöl. Extraktionsschrote anderer Ölsaaten, v.a. Sojaextraktionsschrot, stehen in ihrer Verwendung als Futtermittel in Konkurrenz zum RES.<sup>[1]</sup>

## Eigenschaften

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Inhaltsstoffe von RES als Futtermittel.<sup>[2]</sup> Generell nimmt der Fettgehalt von der Rapssaat (etwa 40%), über Rapskuchen (15%) bis zum RES (3%) ab, während die Gehalte an Rohprotein und Rohfaser zunehmen. Gegenüber Sojaextraktionsschrot weist RES aufgrund seines relativ hohen Schalenanteils einen doppelt so hohen Rohfasergehalt auf. Sein Rohproteingehalt ist dagegen um ein Viertel geringer. Die absoluten Gehalte an Aminosäuren unterscheiden sich erheblich zwischen RES und Sojaextraktionsschrot, welches reicher an Lysin, Threonin und Tryptophan ist während RES mehr Methionin und Cystein je 1000 g Futtermittel enthält. Die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren im RES liegt jedoch durchgehend unter der des Sojaextraktionsschrots.<sup>[3]</sup>

1000 g Futtermittel enthalten:	
Trockenmasse	890 g
Rohprotein	349 g
Rohfett	31 g
Rohfaser	127 g
Lysin	19,9 g
Methionin und Cystein	13,4 g
Threonin	15,9 g
Tryptophan	4,9 g
Nutzbare Rohprotein (nXP)	206 g
Ruminale Stickstoffbilanz (RNB)	23 g
Netto-Energie-Laktation (NEL)	6,4 g

Umsetzbare Energie (ME), Aufzucht- und Mastrinder und Schafe	10,5 g
Umsetzbare Energie (ME), Schweine	8,89 g
Calcium	6,6 g
Phosphor	10,8 g

## Verwertung

Die Verwendungsmöglichkeiten von RES entsprechen im Wesentlichen dem des Rapskuchens, d.h. es wird hauptsächlich in der Viehfütterung eingesetzt. Es eignet sich besonders als Proteinkomponente im Milchleistungsfutter und wird auch zunehmend in der Schweine- und Geflügelfütterung eingesetzt, wo der Glucosinolatgehalt allerdings den Einsatz noch begrenzt.

Daneben kann RES auch in Biogasanlagen zur Energiegewinnung genutzt werden. Als Standard-Biogasertrag von RES werden  $1038 \text{ kW}_{\text{el}}$  pro Tonne Frischmasse angegeben, der damit etwas unter dem Ertrag von Rapskuchen liegt ( $1160 \text{ kW}_{\text{el}}$  pro Tonne Frischmasse).<sup>[4]</sup>

## Wirtschaft

Der Verbrauch von RES in Deutschland betrug in 2007/08 3 Mio. t gegenüber etwa 2,2 Mio. t im Jahr 2000, was zum Teil auf die verstärkte Erzeugung von Biodiesel aus Raps zurückzuführen ist. Der Anteil von RES an den Ölschroten in der Nutztierfütterung lag in 2007/08 mit 35% deutlich über dem Durchschnitt von 17% in der EU-27.<sup>[5]</sup>

Erst seit der Züchtung von 00-Raps sind Rapskuchen und RES wirtschaftlich interessant geworden. Der hohe Gehalt an Glucosinolaten, der sich negativ auf Gesundheit der Tiere auswirken kann, hatte zuvor die Verwendung als Futtermittel verhindert. Der durchschnittliche Glucosinolatgehalt von RES lag nach einer Untersuchung der UFOP im Zeitraum 2000 bis 2003 bei  $8,3 \text{ mmol/kg}$  in der Trockenmasse. Derzeit wird eine Absenkung des allgemein akzeptierten, maximalen Glucosinolatgehaltes der Rapssaat von 25 auf  $18 \text{ mmol/kg}$  Trockenmasse bei 00-Winterraps gefordert.<sup>[5]</sup>

Der Glucosinolatgehalt wird zum einen durch die verwendeten Rapsorten und zum anderen durch den Prozess des Toastens bestimmt. Durch verstärktes Toasten kann der Glucosinolatgehalt von RES zwar weiter gesenkt werden, allerdings verringert dies auch die Proteinverdaulichkeit.<sup>[6]</sup>

## Referenzen

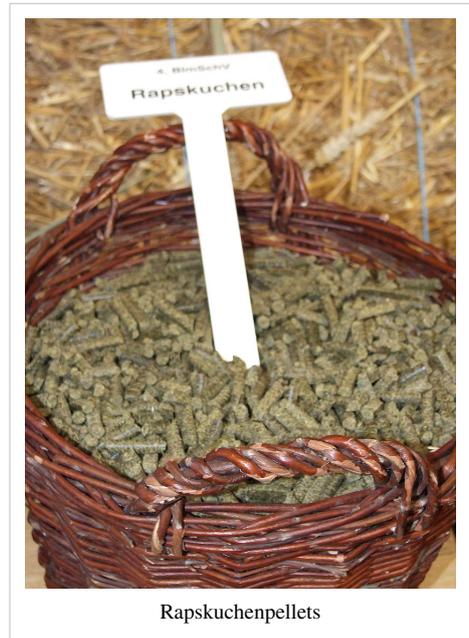
- [1] Schöne, F.: Rapskuchen an Schweine - Ja, aber in Maßen!, Online. (<http://www.ufop.de/1936.php>)
- [2] Weiß, J., Pabst, W., Strack, K.-E., Granz, S. (2005): Tierproduktion. Georg Thieme, Stuttgart. ISBN 3-830-44140-1
- [3] Weiß, J., Schöne, F.: UFOP-Praxisinformation: Rapsextraktionsschrot in der Schweinefütterung ([http://www.ufop.de/downloads/Praxisinfo\\_RES\\_131108.pdf](http://www.ufop.de/downloads/Praxisinfo_RES_131108.pdf)), 2008.
- [4] <http://www.bgblportal.de/BGBL/bgbl1f/bgbl108s2074.pdf> Volltext des EEG 2009 im Bundesanzeiger.
- [5] UFOP und OVID: Hintergrundpapier zur Steigerung der Qualität von Rapsextraktionsschrot im Hinblick auf den Glucosinolatgehalt ([http://www.ovid-verband.de/fileadmin/user\\_upload/ovid-verband.de/downloads/Hintergrundpapier\\_OVID\\_UFOP\\_Glucosinolatgehalte\\_12112008.pdf](http://www.ovid-verband.de/fileadmin/user_upload/ovid-verband.de/downloads/Hintergrundpapier_OVID_UFOP_Glucosinolatgehalte_12112008.pdf)).
- [6] Schöne, F., Schumann, W., Schubert, R., Steingaß, H., Kinaast, C. (2006): Stärkeres Toasten bei der Rapsextraktionsschrotherstellung inaktiviert Glucosinolate und verändert die Proteinqualität, VDLUFA-Schriftenreihe, Band 62, S. 297-300.

# Rapskuchen

**Rapskuchen**, auch **Rapsexpeller** genannt, ist der bei der Kaltpressung von Rapsöl als Nebenprodukt anfallende feste Pressrückstand. Je nach angewandter Presstechnik und Aufbereitung fällt Rapskuchen in Form von Pellets oder Flocken (Flakes) an. Die Ausbeute der Kaltpressung für Rapskuchen beträgt rund 70 Prozent. Derzeit wird Rapskuchen überwiegend als fett- und eiweißreiches Futtermittel genutzt.

## Abgrenzung

Presskuchen anderer Ölsaaten entstehen ebenso wie Rapskuchen, unterscheiden sich jedoch in Hinblick auf ihre Eigenschaften, Verwendungsmöglichkeiten und Marktbedeutung. Bei der Ölextraktion mit Hilfe von Lösungsmitteln - das in der Regel in industriellen Ölmühlen genutzte Verfahren - fällt als fettarmes und eiweißreiches Nebenprodukt Rapsextraktionsschrot (RES) an.



## Erzeugung

Die mechanische Kaltpressung von Rapssaat ohne Einsatz von Lösungsmitteln oder Erhitzung ist ein technologisch relativ einfaches Verfahren und wird in der Regel von kleineren, dezentralen Ölmühlen angewandt. Ein erheblicher Anteil des Öls verbleibt im Presskuchen als festem Pressrückstand.

Bei den heute üblichen Schneckenpressen tritt der Pressrückstand am Ende der Schnecke aus. Während bei Lochseih-Schneckenpressen, die vor allem für kleinere Produktionsanlagen bis 75 kg Rapssaat pro Stunde ausgelegt sind, eine Pressdüse am Presskopf die zylindrische Form des Rapskuchens vorgibt, wird der Pressrückstand bei den größeren Seihstabs-Schneckenpressen (bis 3.000 kg/h) in Form kleiner Plättchen (Flocken oder Flakes) ausgetragen, sofern keine Pelletierungseinrichtung vorhanden ist.

## Inhaltsstoffe und Eigenschaften

Rapskuchen enthält rund elf Prozent Fett, mit einer je nach Stärke der Pressung erheblichen Spannweite von bis über zwanzig Prozent. Die Proteingehalte liegen bei 30 bis 36 Prozent, daneben liegen 7,8-13,7 Prozent als Rohfaser vor. Die Inhaltsstoffe, vor allem der Fettgehalt, schwanken deutlich je nach Verfahren (verwendete Technik, Temperatur, Auspressgrad, etc.). Der untere Heizwert von Rapspresskuchen liegt bei ca. 22 MJ, der Aschegehalt kann bis zu acht Prozent betragen und liegt damit relativ hoch.

## Verwendung

Zum Futtermittel in der Leistungsfütterung für Rinder, Schweine und Masthähnchen macht den Rapsexpeller neben dem Fettgehalt vor allem das zu rund 28 Prozent enthaltene Protein. Der Futtermittelmarkt nimmt den Hauptteil des energie- und eiweißreichen Nebenprodukts auf. Weitere Verwendungsmöglichkeiten sind Energiegewinnung aus Rapskuchen durch Vergären in Biogasanlagen oder durch Verbrennen. Rapskuchen kann auch als organisches Düngemittel verwendet werden sowie zu technischen Zwecken verarbeitet werden, z.B. zur Proteinextraktion, für Verpackungen oder für Dämmmaterial.

## Nutztierfütterung

Ähnlich wie Rapsextraktionsschrot ist auch Rapskuchen ein eiweißreiches Futtermittel, allerdings bei wesentlich höherem Fettgehalt. Den Einsatz als Leistungsfutter begrenzen vor allem die Gehalte an Glucosinolaten, die zu einer verminderten Futteraufnahme und ggf. zu gesundheitlichen Störungen führen können. Die Verbreitung der Glucosinolat-armen sogenannten 00-Rapssorten ermöglicht heute höhere Anteile an Rapskuchen in der Fütterung als noch vor wenigen Jahrzehnten. Da Wiederkäuer wie Rinder weniger empfindlich auf Glucosinolate im Futter reagieren als Monogastrier wie Schweine und Geflügel, geht der Großteil des Rapskuchens in die Rinderfütterung.

Für die menschliche Ernährung notwendige Omega-3-Fettsäuren im Rapskuchen erhöhen die Konzentration dieser Fettsäuren in Fleisch und Milch der damit ernährten Tiere. Tierische Produkte mit erhöhten Omega 3-Fettsäuren aufgrund der Verfütterung von Rapskuchen werden vereinzelt gezielt als gesundheitsfördernde Lebensmittel vermarktet.

## Wirtschaft

Rund ein Viertel des Umsatzes einer Ölmühle wird durch den Verkaufserlös für Rapskuchen erwirtschaftet.

Die Produktionskapazität der rund 575 dem Technologie- und Förderzentrum (TFZ) bekannten dezentralen Ölmühlen in Deutschland schätzte das TFZ im März 2007 auf 700.000 Tonnen Rapskuchen.<sup>[1]</sup> Die Produktion in Holland wird auf rund 40.000 Tonnen geschätzt. In Frankreich findet die Produktion kaltgepressten Rapsöls und damit auch die Rapskuchenerzeugung meist in Kleinbetrieben statt, die wenige Kilogramm Rapssaat pro Stunde verarbeiten. Die Verarbeitungskapazitäten der Ölmühlen in Deutschland und damit der Ausstoß an Rapskuchen sind in den letzten Jahren stark angestiegen, im Gegensatz zum Hauptprodukt Rapsöl hat sich der Absatz von Rapskuchen positiv entwickelt..

Unter derzeitigen Marktbedingungen übersteigt der Marktpreis von Rapskuchen als Futtermittel deutlich die bei allen anderen mengenrelevanten Verwendungswegen erzielbaren Preise. Daher wird Rapskuchen heute fast ausschließlich in der Viehfütterung eingesetzt.

## Literatur

Die Informationen dieses Artikels entstammen zum größten Teil den folgenden Quellen:

- Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann und Hermann Hofbauer (Hrsg.), 2009: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, 2. Auflage, S.727-728 und 764-766, ISBN 9783540850946
- Florian Gerlach: *Rape cake, more than just a by-product*, in: New Energy, April 2007, pp.25-27.

## Weblinks

- Rapskuchen - ein hochwertiges Futtermittel <sup>[2]</sup> (Landwirtschaftskammer NRW)
- Informationen zu Rapskuchen als Brennstoff <sup>[3]</sup> (TFZ Straubing)

## Referenzen

[1] Florian Gerlach: *Neue Vielfalt für Rapskuchen*, in: Forum New Power 3/2007, S. 31

[2] <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/schweinehaltung/fuetterung/rapskuchenfutter.htm>

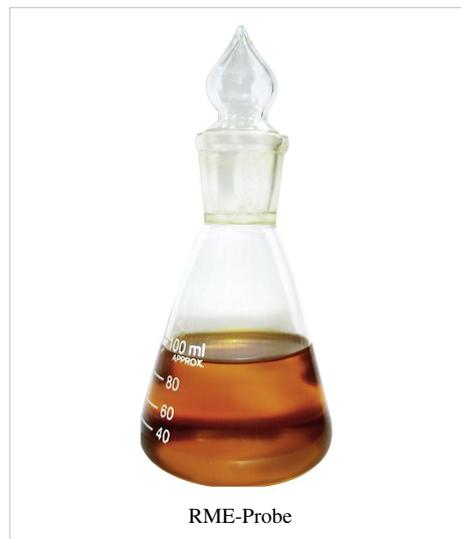
[3] <http://www.tfz.bayern.de/festbrennstoffe/17482/>

# Rapsmethylester

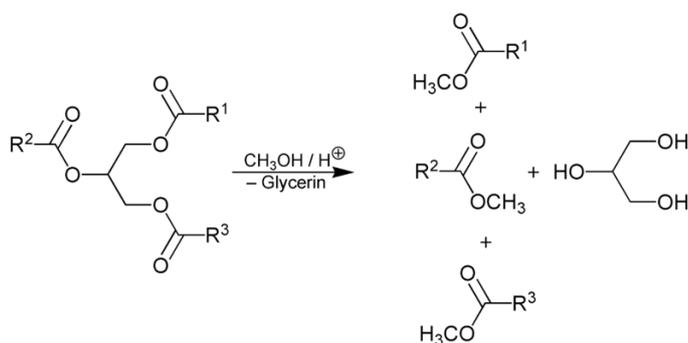
**Rapsmethylester** (RME; auch **Rapsöl-Methylester** oder umgangssprachlich *Rapsdiesel*) ist ein Gemisch von Methylestern, das aus gesättigten und ungesättigten Fettsäuren mit 16 bis 22 Kohlenstoff besteht. Durch die chemische Umsetzung von raffiniertem Rapsöl mit Methanol wird Rapsmethylester als klare, dünnflüssige, brennbare und in Wasser unlösliche Flüssigkeit gewonnen. In Europa stellt der aus Raps gewonnene RME den größten Anteil des Biodiesels. RME auf Basis von Vollraffinaten wird auch als Lösungsmittel in der industriellen Produktion verwendet.

## Herstellung

Siehe auch Hauptartikel *Umesterungsanlage*



Unter Zugabe von Methanol zum Rapsöl in Umesterungsanlagen entsteht durch eine katalytische Reaktion der Rapsmethylester; als Nebenprodukt fällt Rohglycerin an, welches durch weitere Reinigung und Destillation zu Pharmaglycerin verarbeitet wird. Die RME-Bildung erfolgt nach folgender Reaktionsgleichung:



## Vorbehandlung des Rapsöls

Nach der Anlieferung der Ausgangs- und Hilfsprodukte wird das eingesetzte Rapsöl gereinigt. Zunächst wird das Rohöl durch Zugabe von Phosphorsäure unter Abspaltung von Phosphatiden entsäuert. Dabei entstehen Schleimstoffe, die sogenannte Rapsseife, die mit Hilfe einer Zentrifuge vom Öl getrennt wird. In der nächsten Prozessstufe wird die restliche Seife aus dem neutralisierten Öl ausgewaschen und anschließend in einem Vakuumtrockner getrocknet. Bevor das Rohöl in eine Waschzentrifuge gegeben wird, wird Natronlauge zugegeben. Auf diese Weise werden die zuvor zugegebene Phosphorsäure und die restlichen Fettsäuren vollständig neutralisiert. Im Anschluss an das Zentrifugieren werden in einem Separator die Schleimstoffe abgetrennt.

## Umesterungsprozess

Der Hauptprozess der RME-Herstellung, die Umesterung, beruht auf der chemischen Reaktion von Triglyceriden mit Methanol zu Methylester und Glycerin, die in Gegenwart eines alkalischen Katalysators beschleunigt verläuft. Die Umesterung findet in zwei hintereinandergeschalteten Reaktoren statt, die jeweils mit verschiedenen Reaktionskammern versehen sind, um eine möglichst hohe Umsetzung zu dem Methylester zu erzielen. Den Reaktoren wird parallel sowohl Methanol als auch der Katalysator Natriummethylat zugeführt. Bei Normaldruck und Temperaturen um 60 °C im 1. Reaktor und etwa 50 °C im 2. Reaktor werden die Esterbindungen der Triglyceride vom Rapsöl aufgetrennt. Mit Hilfe von Phasentrennern lassen sich RME und Glycerin aufgrund der unterschiedlichen Dichte voneinander trennen.

## Reinigung des Produktes

Die Phase mit dem Ester enthält weiterhin Methanol, Glycerin, Katalysatoren, Seifen und weitere Komponenten. Die wasserlöslichen Stoffe werden durch einen Waschvorgang unter Zugabe von Katalysatoren wie Schwefel oder Salzsäure entfernt, bevor der RME dann in Vakuumtrocknern getrocknet wird und schließlich zur wirtschaftlichen Verwertung zur Verfügung steht. Das verbleibende freie Methanol wird aufgearbeitet und dem Prozess erneut zugeführt, das abgetrennte Glycerin als Koppelprodukt wird für die ebenfalls aufbereitet.

## Einsatzgebiete

RME weist eine deutlich geringere Viskosität als unbehandeltes Rapsöl auf; daher kann es als Biodiesel anstelle mineralischen Dieselkraftstoffs verwendet werden, ohne dass der Motor angepasst werden muss. Allerdings müssen die mit Kraftstoff in Kontakt kommenden Kunststoffteile beständig gegenüber Biodiesel sein. Der in Deutschland hergestellte Biodiesel wird zu rund 80% aus Rapsöl hergestellt, zu 20% aus Sojaöl (Sojamethylester)<sup>[1]</sup>.

Bei der Herstellung von Motor- und Getriebegehäusen im Automobilbau werden Gussformen verwendet, die aus Formsand und Harzen gebildet werden. Für dieses sog. Cold-Box-System kann RME in größerem Maßstab als Bindemittel der Harzkomponente verwendet werden. Dadurch lassen sich Emissionen problematischer Lösemittel der BTX-Fraktion (Benzol, Toluol und Xylol) verringern; weiterhin soll der RME-Einsatz auch zu technischen Vorteilen gegenüber den klassischen Cold-Box-Systemen führen.

RME könnte in Zukunft bei Durchschreibepapieren als Ersatz für andere Lösemittel für die nötige Farbreaktion sorgen, aber auch als Verbindungsmaterial im Straßenbau eingesetzt werden.

## Quellen

- Einsatzgebiete von RME <sup>[2]</sup>
- Biodiesel, ein zukunftssträchtiger Kraftstoff (Verfahrensbeschreibung) <sup>[3]</sup> (pdf; 126 kB)
- Schulversuch: Herstellung von RME <sup>[4]</sup>
- Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann und Hermann Hofbauer (Hrsg.), 2009: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, 2. Auflage, S. 736-745, ISBN 9783540850946

## Referenzen

- [1] (Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V.: Deutsche Produzenten verwenden nur nachhaltig hergestelltes Soja. Pressemitteilung vom 2.4.2008. pdf (<http://www.biokraftstoffverband.de/downloads/413/Soja.pdf>))
- [2] [http://www.ufop.de/biodiesel\\_strassenbau.php](http://www.ufop.de/biodiesel_strassenbau.php)
- [3] [http://www.stahl.de/fileadmin/Dateien/ex-zeitschrift06/06deutschlands\\_biodiesel.pdf](http://www.stahl.de/fileadmin/Dateien/ex-zeitschrift06/06deutschlands_biodiesel.pdf)
- [4] <http://www.chemieunterricht.de/dc2/nachwroh/v-biodiesel.htm>

## Rapsöl

Rapsöl	
Rohstoffpflanze(n)	Raps ( <i>Brassica napus</i> ), Ölrübsen ( <i>Brassica rapa</i> subsp. <i>oleifera</i> )
Farbe	hellgelb bis grünlich
Inhaltsstoffe	
Ölsäure	51-70% <sup>[1]</sup>
Linolsäure	15-30% <sup>[1]</sup>
Linolensäure	5-14% <sup>[1]</sup>
Σ gesättigte Fettsäuren	6%
Σ einfach ungesättigte Fettsäuren	66%
Σ mehrfach ungesättigte Fettsäuren	27%
Eigenschaften	
Dichte	0,92 kg/l bei 15°C <sup>[2]</sup>
Viskosität	72,3 mm <sup>2</sup> /s <sup>[2]</sup>
Oxidationsstabilität	3,0 - 5,5 h kalt gepresst 7,0 - 8,5 h raffiniert <sup>[3]</sup>
Rauchpunkt	130 - 190°C kalt gepresst <sup>[3]</sup> 220°C raffiniert <sup>[4]</sup>
Flammpunkt	317 °C <sup>[2]</sup>
Iodzahl	94 - 113 <sup>[2]</sup>
Brennwert	37,6 MJ/kg <sup>[2]</sup>
Cetanzahl	40 <sup>[2]</sup>
Herstellung & Verbrauch	
Produktion weltweit	18,4 Mio. t (2007/08) <sup>[5]</sup>
Wichtigste Produktionsländer	EU, China, Kanada, Indien
Verbrauch weltweit	18,9 Mio. t (2007/08) <sup>[5]</sup>
Verwendung	Ernährung, Futtermittel, Biokraftstoffe, Oleochemie

**Rapsöl** (auch Rüböl, Rübsenöl, Kolzaöl, Kohlsaotöl) ist ein pflanzliches Öl und wird aus den Samen von Raps (*Brassica napus*) oder seltener auch aus den Samen der nah verwandten Ölrübsen (*Brassica rapa* subsp. *oleifera*) gewonnen.<sup>[6]</sup>

Ursprünglich hatte Rapsöl einen hohen Anteil an Bitterstoffen und der ernährungsphysiologisch bedenklichen Erucasäure und wurde daher kaum in der Ernährung eingesetzt, sondern vor allem als Lampenöl, Schmiermittel und Grundstoff für die Seifenherstellung.<sup>[6]</sup> Seit der Züchtung von Sorten mit geringeren Anteilen an Erucasäure und Bitterstoffen in den 1970ern und 1980ern hat sich Raps weltweit zu einer der wichtigsten bzw. in Deutschland zu der mit Abstand dominierenden Ölpflanze entwickelt.<sup>[7]</sup> Der Rapsanbau und die Rapsölproduktion hat sich vervielfacht. Genutzt wurde es zunächst überwiegend als Nahrungsmittel und für verschiedene stoffliche Anwendungen. Seit Ende der 1990er wurde der Anbau und die Nutzung für bzw. als Biokraftstoffe (Pflanzenöl-Kraftstoff, Biodiesel (Rapsmethylester)) deutlich ausgeweitet und ist in Deutschland heute der Hauptverwendungszweck.<sup>[8]</sup>

## Rapsölgewinnung

(siehe Artikel Raps und Ölmühle)

Rapsöl wird in Ölmühlen durch Pressung oder Extraktion der Rapssaat gewonnen. Hierbei kommen folgende Verfahren zur Anwendung:

- Heißpressung/ Raffination in Ölmühlen
- Kaltpressung in dezentralen Ölmühlen

Die Ölgehalt beträgt etwa 40 bis 50 %, die Ausbeute etwa ein Drittel der Saat. Die verbleibende protein- und energiereiche Rapssaatmasse (Rapskuchen, Rapsexpeller oder Rapsextraktionsschrot) ist ein wichtiges Koppelprodukt und wird meist als Futtermittel genutzt.<sup>[9]</sup>

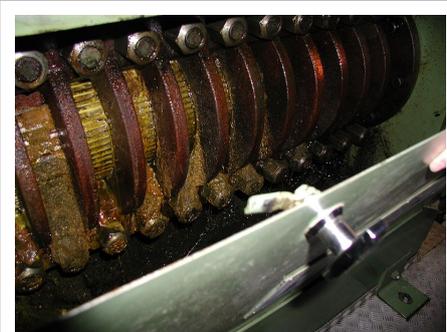
Bei der Herstellung von Rapskernöl wird vor der Pressung die schwarzen Schalen der Rapssaat entfernt und so ausschließlich die gelben Kerne verarbeitet. So wird verhindert, dass Bitteraromen aus der Schale der Saat in das Öl gelangen.



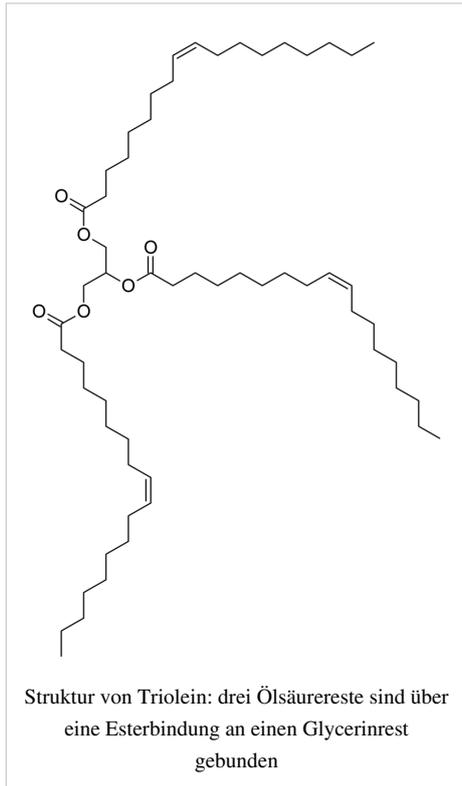
Raps ist in Deutschland eine bedeutende Kulturpflanze



Rapsschote mit Körnern



Blick in eine geöffnete Ölpresse. Das gepresste Rapsöl tritt zwischen den Seihstäben aus



## Zusammensetzung

(siehe Artikel Pflanzenöl)

Pflanzenöle bestehen aus Triacylglyceriden, in denen drei Fettsäurereste gemeinsam über Esterbindungen an einen Glycerinrest gebunden sind (siehe Abbildung von Triolein: Triacylglycerid mit drei Ölsäureresten). Die unterschiedlichen Pflanzenöle unterscheiden sich durch die Art und die Anteile der Fettsäuren. Rapsöle der 0-Qualität bzw. der heute überwiegend angebauten 00-Qualität haben reduzierte (0,5 bis 1,5%) bzw. fast keine (<0,1%) Gehalte an der Fettsäure Erucasäure. Weiterhin besteht 00-Rapsöl aus hohen Anteilen an einfach ungesättigten Fettsäuren, wie insbesondere der Ölsäure. In 100 Gramm Rapsöl sind 7 Gramm gesättigte Fettsäuren, 62 Gramm einfach ungesättigte Fettsäuren (überwiegend Ölsäure) und 29 Gramm mehrfach ungesättigte Fettsäuren enthalten. Der Anteil der mehrfach ungesättigten Fettsäuren setzt sich u.a. aus 18 Gramm Omega-6-Fettsäure (Linolsäure) und 9 Gramm Omega-3-Fettsäure (Linolensäure) zusammen. Der Anteil an essentiellen Fettsäuren, insbesondere der Alpha-Linolensäure, ist um ein Mehrfaches höher als z. B. beim Olivenöl.<sup>[10]</sup> Daneben enthält Rapsöl viel Vitamin E und Karotinoide, die beide vor Krebs schützen sollen.

Kaltgepresstes Rapsöl weist einen weitaus höheren Anteil an Vitaminen und Karotinoiden auf als raffiniertes Rapsöl. Kaltgepresstes Rapsöl ist jedoch nicht hochoerhitzbar, da ansonsten Stoffe entstehen, die im Verdacht stehen krebserregend zu sein. Raffinierte Öle, die von vielen als geschmacklich weniger ansprechend empfunden werden, können dagegen gefahrlos sehr hoch erhitzt werden.

Neben dem Doppelnul-Raps mit verringerten Anteilen an Erucasäure wurden und werden auch andere Sorten mit veränderten Fettsäureanteilen gezüchtet. Durch höhere Anteile an Ölsäure kann z. B. die Eignung als Fritierfett verbessert werden. Bei Erucaraps ist der Anteil an Erucasäure auf 55 % erhöht, um so den Bedarf an dieser Fettsäure in der Oleochemie oder für die kosmetische Industrie decken zu können.<sup>[6]</sup>

## Verwendung

### Technische Verwendung

(siehe Artikel Biokraftstoff, Biodiesel, Hydriertes Pflanzenöl)

Rapsöl wird heute insbesondere in Europa vor allem für die Produktion von Biokraftstoffen eingesetzt. Ein kleinerer Teil wird als Pflanzenöl-Kraftstoff verwendet, während der größere Anteil durch Umesterung in Biodiesel (Fettsäuremethylester (FAME), bzw. genauer Rapsmethylester (RME)) umgewandelt wird.<sup>[2]</sup> Dabei fallen als Nebenprodukt große Mengen an Glycerin an. Zukünftig wird auch eine Verwendung in Kraftstoffen als Hydriertes Pflanzenöl erwartet.<sup>[11]</sup>

Als Rohstoff (Nachwachsender Rohstoff) für die stoffliche Verwendung in der Industrie wird Rapsöl vielseitig verwendet. Der größte Teil wird für technische Zwecke verwendet. In der pharmazeutischen und kosmetischen Industrie dient es zur Herstellung medizinischer Salben und kosmetischer Formulierungen. Stoffliche Anwendungen für Rapsöl sind unter anderen:<sup>[6]</sup>

- Hydraulik-, Getriebe- und Sägekettenöl

- Schmieröl
- Motoröl
- Schalöl
- Lacke und Farben,
- Lösungsmittel,
- Tenside und Weichmacher,
- Futtermittel
- Pflanzenschutzmittel
- RapsAsphalt

## Ernährung

Eine ebenfalls sehr große Menge des Rapsöls wird in der Ernährung als Speiseöl und zur Herstellung von Speisefetten (Margarine) verwandt. Zur Beurteilung der sensorischen Qualität von kaltgepressten ("nativen") Rapsölen hat die Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaft (DGF) das DGF-Rapsölpanel eingerichtet und vergibt seit 2006 jährlich DGF-Rapsölmedaillen für ausgezeichneten Geschmack nativer Rapsspeiseöle.

## Marktbedeutung

Im Wirtschaftsjahr 2008/09 betrug die gesamte Ernte der sieben wichtigsten Ölsaaten (unverarbeitet) über 420 Mio. t. Mit einem Anteil von 57 % (fast 240 Mio. t) dominierte Soja. Raps folgte mit einem Anteil von 12,2 % (über 54,1 Mio. t), gefolgt von Baumwolle, Erdnuss, Sonnenblume. Der bedeutendste Anbauer war die EU-27 mit einem Anteil von rund 35 % (18,9 Mio. t), gefolgt von China, Kanada und Indien. Die bedeutendste Ölpflanze ist jedoch die Ölpalme, die nicht den Ölsaaten zugeordnet wird. In 2008/09 wurden aus ihr 43,2 Mio. t Palmöl gewonnen, was über 32 % der Weltproduktion an Pflanzenöl von 133,7 Mio. t (Summe der 9 wichtigsten Pflanzenöle) entspricht. Es wurden 38,1 Mio. t (28,5 %) Sojaöl und 19,4 Mio. t (14,5 %) Rapsöl hergestellt.<sup>[12]</sup>

## Rapsanbau in Deutschland

(siehe Artikel Raps)

Zu Anfang der 1970er hatte der Rapsanbau mit unter 100.000 ha (<1% der Ackerfläche) eine geringe Bedeutung. Von 1974 bis 1976 wurde der sogenannte Nullraps (*0-Qualität*) eingeführt, bei dem der hohe Anteil an Erucasäure züchterisch auf nun 0,5 bis 1,5 % verringert worden war. In den Jahren 1986/87 wurde der Doppelnulldraps (*00-Qualität*) mit nun unter 0,1 % Erucasäureanteil und verringertem Bitterstoffgehalt (Glucosinolate) eingeführt. Die Anbaufläche stieg seit 1986 von etwa 400.000 ha auf 1,47 Mio. ha (rund 12 % der Ackerfläche) in 2009.<sup>[7] [13]</sup> In den Jahren 2002 bis 2007 lagen die durchschnittlichen Hektarerträge zwischen 2,9 und 4,3 t Rapssaat. In 2009 wurde eine Gesamternte von 6,21 Mio. t erzielt.<sup>[13]</sup> In Deutschland wird fast ausschließlich *Winterraps* angebaut.

## Verwendung in Deutschland

In 2006/07 wurden in Deutschland 6,5 Mio. t Rapssaat verarbeitet.<sup>[8]</sup> Die Verarbeitungskapazitäten bzw. die tatsächlich verarbeitete Menge liegt deutlich über der im Inland produzierten Menge, so dass ein bedeutender Anteil durch Importe gedeckt wird.<sup>[7]</sup> 2,67 Mio. t Rapsöl wurden produziert und machten damit 77 % der gesamten Produktion an pflanzlichen Ölen und Fetten aus. 90 % des Öls wurden weiterverarbeitet. Das meiste Rapsöl wurde für technische Anwendungen, wie vor allem für Biokraftstoffe verwendet (1,58 Mio. t).<sup>[8]</sup> Mit 21,8 % wurde ein kleinerer Anteil des Rapsöls zu Nahrungsmitteln verarbeitet. (>1/3 Speiseöl, >1/4 Nahrungsmittel, etwa 1/4 Margarine, etwa 1/10 zu sonstigem).<sup>[8]</sup>

In Deutschland lag der Anteil von deklariertem Rapsöl am Speiseölmarkt im Jahr 2007 bei 11,2 %. Noch im Jahr 2003 lag er bei lediglich 4,8%.<sup>[7] [14]</sup> Durch nicht offen deklariertes Rapsöl, das unter der Bezeichnung *Pflanzenöl* verkauft wird, ergibt sich insgesamt ein Marktanteil, der mit dem von Sonnenblumenöl vergleichbar ist. Da Rapsöl

durch seinen hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren als wertvoll für die Ernährung angesehen wird, wird mit weiterhin steigender Bedeutung gerechnet.

## Perspektive

(siehe Artikel *Biokraftstoff*)

Der Bedarf an Pflanzenöl nimmt weltweit stark zu. Von 2001/02 bis 2008/09 stieg die Produktion um über 47 % von 90,5 auf 133,7 Mio. t. Die Produktion von Rapsöl stieg in dem Zeitraum von 13,3 auf 19,4 Mio. t (+ 46 %). Auch in Deutschland fand ein starker Ausbau statt (siehe oben: *Rapsanbau in Deutschland*). Da Rapsöl vor allem für Biokraftstoffe verwendet wird, hängt dessen zukünftige Bedeutung stark von der weiteren Förderung dieser Kraftstoffe ab. In Deutschland wurden sie zunächst durch eine Steuerbefreiung unterstützt. In 2006 wurde eine sukzessive Aufhebung festgelegt und statt dessen mit dem Biokraftstoffquotengesetz eine Beimischungspflicht von Biokraftstoffen zu den fossilen Kraftstoffen (Biokraftstoffquote) eingeführt. Diese Umstellung führte zunächst zu einem Einbruch des Biokraftstoffabsatzes und damit des Rapsölabsatzes. Die Beimischungsquote sollte in 2009 zunächst 6,25 % betragen, wurde aber am 18. Juni 2009 rückwirkend auf 5,25 % gesenkt. 2010 bis 2014 soll sie 6,25 % betragen und ab 2015 steigen und 2020 10 % betragen.<sup>[15]</sup> Daher ist zukünftig eine zunehmende Bedeutung von Rapsöl zu erwarten.<sup>[2] [7] [16]</sup>

In Deutschland steht Rapsöl in der Verarbeitung an erster Stelle. 2008 wurden rund 3,2 Mio. t Rapsöl produziert, das sind 80% der gesamten Pflanzenölerzeugung. Zudem wurden 0,5 Mio. t importiert, der Export belief sich ebenfalls auf 0,5 Mio. t.<sup>[17]</sup>

## Bewertung der Rapsölnutzung

(siehe Artikel *Bioenergie*)

Rapsöl wird hauptsächlich als Kraftstoff bzw. zur Kraftstoffherstellung verwendet. Diese Nutzung bzw. die davon erhofften Vorteile und Nachteile werden diskutiert. Zum einen erhofft man sich durch die Nutzung von Biokraftstoffen eine Substitution von Kraftstoffen fossiler Herkunft. Damit dies in nennenswertem Umfang geschehen kann, müssen nachwachsende Rohstoffe, wie in Deutschland derzeit vor allem Raps, in großem Umfang angebaut werden. Dies führt zu vermehrter Nutzungs- und Flächenkonkurrenz zur Lebensmittelerzeugung, zum Umweltschutz (Erhaltung der Biodiversität) und anderem. (siehe Artikel *Nutzungskonkurrenz bzw. Flächenkonkurrenz*)

Der Ertrag pro Fläche ist, verglichen mit anderen Rohstoffen zur Biokraftstoffherstellung, teilweise deutlich geringer. Allerdings sind Faktoren wie Wirtschaftlichkeit, Energiebilanz des Gesamtprozesses (z. B. inklusive Herstellung), Umwelt- und Klimaverträglichkeit etc. zu berücksichtigen, so dass ein direkter Vergleich schwierig ist. (siehe Artikel *Biokraftstoff*)

Bei der Klimaverträglichkeit der Rapsölnutzung wird insbesondere über die Emissionen des starken Klimagases Lachgas (300-fach stärker als Kohlendioxid) während des Rapsanbaus diskutiert. Der Anbau von Raps erfordert einen relativ hohen Aufwand an Düngung und Pflanzenschutz, weshalb der vermehrte Anbau in den letzten Jahrzehnten umstritten ist. Diesen Nachteilen stehen Vorteile gegenüber, wie Ressourcenschonung, verringerte Abhängigkeit von Rohstoffimporten, Stärkung der regionalen Wirtschaft, etc., die ebenfalls schwierig zu gewichten sind und eine Gesamtbewertung der Rapsölnutzung erschweren.

## Weblinks

- *Ölsaaten und Biokraftstoffe* <sup>[18]</sup>, monatliche, umfassende Marktinformation der Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP), abgerufen am 25.01.2010
- Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland (OVID): *Daten und Fakten* <sup>[19]</sup>, statistische Informationen zur Branche 2008, abgerufen am 25.01.2010
- Chemische Zusammensetzung (Fettsäuren) <sup>[20]</sup>
- DGF-Rapsöl-Panel <sup>[21]</sup>
- DGF-Rapsölmedaille <sup>[22]</sup>

## Referenzen

- [1] Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaft: *Fettsäurezusammensetzung wichtiger pflanzlicher und tierischer Speisefette und -öle*. (<http://www.dgfett.de/material/fszus.htm>)
- [2] *Biokraftstoffe Basisdaten Deutschland*. ([http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_174-basisdaten\\_biokraftstoff-freigabe.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_174-basisdaten_biokraftstoff-freigabe.pdf)) In: *fnr-server.de*. Oktober 2008. (PDF)
- [3] Bertrand Matthäus: *Welches Fett und Öl zu welchem Zweck? Merkmale und Spezifikationen von Ölen und Fetten*. ([http://www.dgfett.de/material/welches\\_fett.pdf](http://www.dgfett.de/material/welches_fett.pdf)) (PDF).
- [4] Bratfette (<http://www.adepts.de/html/bratfette.html>).
- [5] Siegfried Graser, N. Jack, S. Pantoulier (Hrsg.): *Agrarmärkte 2007*. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Bd 4. Freising-Weihenstephan 2008, S. 83-85, ISSN 1611-4159 (<http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=1611-4159>).
- [6] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR): *Pflanzen für die Industrie* ([http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_197industriepfl2005.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_197industriepfl2005.pdf)), Gülzow 2005, 4. überarbeitete Auflage, 47-seitige Broschüre, als pdf
- [7] *Erzeugung und Verwendung von Raps in Deutschland* ([http://www.ufop.de/downloads/10\\_Rapsverwendung.pdf](http://www.ufop.de/downloads/10_Rapsverwendung.pdf)), Information der Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP) (2007), 8-seitiges pdf-Dokument, abgerufen am 20. Januar 2010.
- [8] *Agrarmärkte 2007: Ölsaaten* (<http://www.lfl.bayern.de/iem/agrarmarktpolitik/28943/>) Information der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), abgerufen am 21. Januar 2010.
- [9] [www.mr.or.at](http://www.mr.or.at) (<http://www.mr.or.at/geschaeftsstellen/mining/01973d93b21096501>).
- [10] Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP): *Rapsmagazin 2009* ([http://www.ufop.de/downloads/Rapsmagazin\\_2009.pdf](http://www.ufop.de/downloads/Rapsmagazin_2009.pdf)), 30-seitige Broschüre
- [11] *Roadmap Biokraftstoffe* ([http://www.ufop.de/downloads/Roadmap\\_Biokraftstoff.PDF](http://www.ufop.de/downloads/Roadmap_Biokraftstoff.PDF)), Strategiepapier verschiedener Institutionen und Unternehmen zur weiteren Förderung von Biokraftstoffen, 4-seitig, 21. November 2007, abgerufen am 25. Januar 2010
- [12] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): *Ölsaaten 2008/09* (<http://www.lfl.bayern.de/iem/agrarmarktpolitik/34600/>), jährliche Informationen und Statistiken zum Anbau von Ölsaaten und Ölpflanzen sowie zur Produktionsmengen und Importen und Exporten von Pflanzenölen, abgerufen am 25. Januar 2010
- [13] *Ernte 2009: Mengen und Preise* (<http://www.nova-institut.de/news-images/20090902-04/Ernte2009MengenPreise-1.pdf>), Publikation des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 26. August 2009, 26-seitig, als pdf, abgerufen am 20. Januar 2010.
- [14] Siegfried Graser, N. Jack, S. Pantoulier (Hrsg.): *Agrarmärkte 2007*. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Bd 4. Freising-Weihenstephan 2008, S. 78-96, ISSN 1611-4159 (<http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=1611-4159>)
- [15] UFOP: *Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen* ([http://www.ufop.de/downloads/RZ\\_Steuerinfo\\_190609.pdf](http://www.ufop.de/downloads/RZ_Steuerinfo_190609.pdf)), 4-seitige Information, Juni 2009, abgerufen am 27. Januar 2010
- [16] UFOP: *Ölsaaten und Biokraftstoffe* ([http://www.ufop.de/publikationen\\_marktinformationen.php](http://www.ufop.de/publikationen_marktinformationen.php)), monatliche, umfassende Marktinformation, abgerufen am 25.01.2010
- [17] *Daten und Fakten*. (<http://www.ovid-verband.de/unsere-branche/daten-und-fakten/>) In: *ovid-verband.de*. Abgerufen am 25. Januar 2010.
- [18] [http://www.ufop.de/publikationen\\_marktinformationen.php](http://www.ufop.de/publikationen_marktinformationen.php)
- [19] <http://www.ovid-verband.de/unsere-branche/daten-und-fakten/>
- [20] [http://www.elbmarsch-oelmuehle.de/Spezifikationen/Spez\\_\\_Raps/Bio-Rapskuchen/Rapsol\\_\\_konventionell\\_\\_Raffina/Bio\\_Rapsol\\_\\_kaltgepresst/bio\\_rapsol\\_\\_kaltgepresst.html](http://www.elbmarsch-oelmuehle.de/Spezifikationen/Spez__Raps/Bio-Rapskuchen/Rapsol__konventionell__Raffina/Bio_Rapsol__kaltgepresst/bio_rapsol__kaltgepresst.html)
- [21] [http://www.dgfett.de/fginfo/dgf\\_rapsoelpanel.htm](http://www.dgfett.de/fginfo/dgf_rapsoelpanel.htm)
- [22] <http://www.dgfett.de/rapsoelmedaille/index.htm>

# Rapsstroh

**Rapsstroh** werden die nach Ernte der Rapssamen auf dem Feld verbleibenden Pflanzenreste bezeichnet, die als organische Aufkommen in der Landwirtschaft als Nebenprodukte bzw. Erntereste als halmgutartige Biomasse anfallen. Das Stroh besteht hauptsächlich aus den getrockneten Stängel- und Schotenresten. Es wird in der Regel nach der Ernte in den Boden eingearbeitet und dient damit der Nährstoff- und Humusrückführung.

## Aufkommen und Bergung

Das Korn-Stroh-Verhältnis von Rapssaat beträgt etwa 1:2,9, sodass bei einem mittleren Kornertrag von etwa 3,5 t pro ha und Jahr theoretisch 10 t Ernterückstände in Form von Rapsstroh an dem Feld zurückbleiben. Wie bei anderen Strohfraktionen, vor allem dem Mais- und Getreidestroh verbleibt auch beim Raps ein großer Teil der anfallenden Strohmenge geheckelt auf dem Acker als humusbildendes Substrat. Die maximale Bergequote liegt bei etwa 50 bis 80% der Gesamtpflanzenreste, also bei etwa 5 bis 8 t/ha Rapsstroh im Jahr. In Deutschland wird Raps auf etwa 1,4 Mio. ha pro Jahr angebaut, daraus resultiert allein für Deutschland ein nutzbares Aufkommen von etwa 7 Mio. t Rapsstroh.

Eine stoffliche oder energetische Nutzung von Rapsstroh erfolgt selten. Es kann jedoch auch als Dämmstoff oder als Einstreu in Stallungen verwendet werden sowie zur Gewinnung von Bioenergie verbrannt werden. Rapsstroh besitzt zu seinem Erntezeitpunkt einen Wasseranteil von 45-60 Prozent, wodurch er auf dem Feld nachgetrocknet werden muss.

## Literatur

- *Halmgutartige Biomasse: Ölsaatenstroh* In: Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann, Hermann Hofbauer (Hrsg.): *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Springer Verlag, Berlin und Heidelberg 2009; S. 153. ISBN 978-3-540-85094-6.



Ausgereiftes Rapsfeld mit Schoten

# Raufen

---

Das **Raufen** ist ein Prozessschritt bei der Herstellung von Naturfasern aus Gemeinem Lein (auch Flachs genannt) und bezeichnet hier das Herausreißen der Flachsstengel mit den Wurzeln. Die Leinpflanze wird mit den Wurzeln in kleinen Bündeln aus der Erde "gerauft", um möglichst lange Stängelfasern für den Faseraufschluss zu erhalten. Nach dem Raufen wird der Lein in Reihen parallel auf den Boden geordnet.

Raufmaschinen trennen gleichzeitig die Kapseln der Leinpflanze vom Stroh ab. Nach dem Raufen folgt die Röste als erster Schritt des technischen Faseraufschlusses.

## Literatur

- Anton Schenek: *Naturfaserlexikon*. Deutscher Fachverlag, Frankfurt/Main 2001; S. 160. ISBN 3-87150-638-9

# Reet

---

**Reet** (auch: Reeth, Reth, Reith, Ried, Riet, Rohr und ähnliches) bezeichnet das an Ufern oder auf sumpfigem Gelände wachsende Schilfrohr, das vielerorts in getrocknetem Zustand zur Dacheindeckung verwendet wird. Der Name *Reetdach* findet vorrangig an der deutschen Nordseeküste Verwendung, in Mecklenburg-Vorpommern spricht man dagegen von *Rohrdach*.<sup>[1]</sup>

## Geschichte

Reet bzw. Schilf war eines der ersten Bedachungsmaterialien der sesshaft gewordenen Menschen; dies ist vor allem auf seine Eigenschaften als Wasserpflanze und seine lokale Verfügbarkeit zurückzuführen. Die ersten Reetdächer waren einfache Eindach-Häuser.

Im Mittelalter wurde aufgrund der Brandgefahr in dicht bebauten Gebieten das Reetdach in den Städten durch Hartdächer ersetzt. Auf dem Lande behielt das Reet jedoch bis in die heutige Zeit eine gewisse Bedeutung. Die ersten nachgewiesenen Reetdächer (Pfahlbauten am Bodensee) gab es bereits um 4000 v.Chr. Es war leicht aufgebundenes Reet, das mit Haselnussstöcken als Schachtstange und eingeweichten Weidenstöcken auf den Dachstuhl gepresst wurde.



Reetdach auf einem Nachbau eines eisenzeitlichen Hauses in Hampshire, England

## Verbreitung

In vielen Landschaften Europas, Asiens und Afrikas kennt man Reetdächer. Vielfach werden diese jedoch besonders mit dem Nord- und Ostseeküstenraum in Verbindung gebracht, wo man zum Beispiel in Nordfriesland vollständig reetgedeckte Gebäude oder auch die Reeteindeckung ostfriesischer Gulfhöfe findet. Auch das für Nordfriesland typische Uthlandfriesische Haus ist traditionell mit einem Reetdach versehen. In einigen Orten, wie etwa Kampen auf Sylt gibt es Satzungen, die die ausschließliche Verwendung von Reet, also die so genannte „Weichbedachung“ vorschreiben. In den Nachbarorten Keitum und Wenningstedt gibt es Ortsteile oder Bereiche, in denen ebenfalls ausschließlich Reetdächer gebaut werden dürfen. Auf der Halbinsel Eiderstedt werden die markanten großen Bauernhäuser, die Haubarge, traditionell mit Reet gedeckt. Die Reet- oder Rohrdachdeckerei ist ein eigener Geschäftszweig, so dass es im norddeutschen Raum spezielle Reetdachdecker gibt, die ausschließlich diese Dächer erstellen und reparieren.

In den Midlands von England und in Cornwall sind Reetdächer ebenfalls weit verbreitet. Tradition sind besonders kunstvoll verbaute Firstabdeckungen. Eine Variante ist das auf der dänischen Insel Læsø traditionelle Dach aus Seetang.



Kunstvolle Firste in Devon



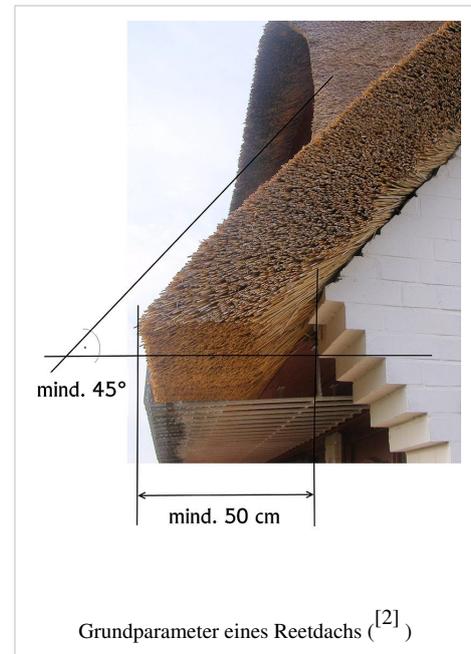
Reetdach wird erneuert

## Aufbau

Ein Reetdach kann traditionell als Kaltdach (mit Hinterlüftung) ausgeführt werden, früher wurde das Reet- oder Strohdach ohne Hinterlüftung als Warmdach konstruiert. Dabei kam die hervorragende Isolationswirkung des Baustoffes Schilf zum tragen: Aufgrund der geringen Rohdichte von Schilf sorgt Reet für guten sommerlichen Wärmeschutz und gute Wärmedämmung im Winter. Im Zuge moderner Bautechniken, haben sich die Reetdächer allerdings ihrem Unterbau angepasst und werden heutzutage mit Hinterlüftung (gemäß DIN 4108) als Kaltdach gebaut. Die Hinterlüftung führt entstehende Feuchtigkeit ab und sorgt so für eine höhere Lebensdauer des Reetdaches.

Die korrekte Ausführung muss einige Anforderungen und Parameter einhalten<sup>[3]</sup>. Reetdächer sollten eine Dachneigung von über 45° haben. Die hohe Dachneigung ist erforderlich, damit die einzelnen Wassertropfen von Halm zu Halm gleiten können. Bei einem funktionierenden Reetdach wird so nur die oberste Schicht der Dachdeckung durchfeuchtet. Reetdächer haben als konstruktiven

Bautenschutz einen großen Dachüberstand (Traufüberstand) von mindestens 50 cm, da keine Regenrinne das Wasser abführt, tropft es in ausreichendem Abstand zum Mauerwerk ab und versickert in einem Kiesbett oder wird durch eine Rinne abgeführt. Der Schornsteinaustritt muss laut Feuerungsverordnung (FeuVO) mindestens 0,8 m über dem



First liegen.

Der First des Reetdaches ist von Region zu Region unterschiedlich gefertigt. In Regionen in der Heidekraut wächst, wird dieser mit Heidekraut gedeckt. In den Niederlanden, Flandern und Frankreich sind Tonkappenfirste (in naturrot gebrannt oder taubengrau gedämpft) üblich. In Nordfriesland ist der Grassodenfirst zu finden und in den skandinavischen Ländern sowie der Region Kappeln/Flensburg Hängeholzer (Eichenholzreiter), die auf einer Seegrassschicht hängen.

## Verarbeitung

Ein Reetdach kann auf drei verschiedene Arten hergestellt werden: als geschraubtes, genähtes oder gebundenes Dach. Das Reet wird in geschnürten Bündeln geliefert, auf den Dachlatten verteilt und dann so verschoben, dass die unteren Reethalmen eine schräge einheitliche, durchgehende Fläche bilden. Die Wurzelenden des Schilfs zeigen zum Boden. Die erste Schicht, die sog. Traufschicht wird unter Spannung durch die Bindung am Dach gehalten. Die Spannung erhält die Deckung dadurch, dass die Auflagekante an der Traufe (Kniep) 5–7 cm höher liegt als die Dachlattenebene. Bei den gebundenen und den geschraubten Dächern wird ein Haltedraht (Schacht) auf die zirka 1 m breiten und 10–20 cm starken Lagen gelegt und mit durch einen geschraubten oder gebundenen Draht auf die Lage gedrückt. Mit dem Klopfbrett werden die Lagen hochgeklopft und in Form gebracht. Dies wird Lage für Lage bis zum Erreichen des Dachfirsts fortgeführt, durch das Überdecken der einzelnen Lagen liegt die Bindung in der Mitte der Deckschicht. Das genähte Reetdach kommt ohne Haltedraht aus und ist aufwändiger zu verarbeiten.



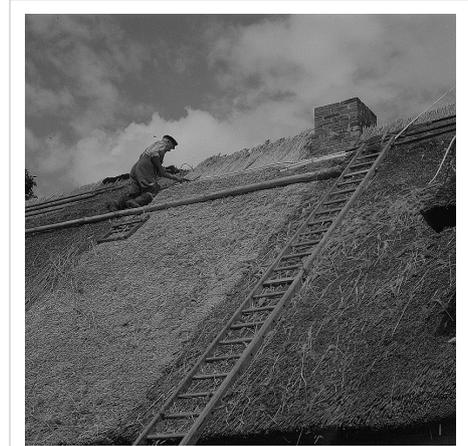
Dachdeckerarbeit mit Reet

## Lebensdauer eines Reetdaches

Ein Reetdach hält im Durchschnitt 30 bis 50 Jahre, es sind aber auch Dächer dokumentiert, die über 100 Jahre alt wurden. Die Lebensdauer eines Reetdaches ist von unterschiedlichen Kriterien abhängig:

- Form und Ausführungsdetails (zum Beispiel Dachneigung, Anzahl der Gauben, Halmneigung)
- Belüftung des Reetdaches (Lüftungsgewohnheiten der Bewohner)
- Konstruktion des Daches (traditionell hinterlüftet, oder nicht hinterlüftet)
- Garantie und Qualität des verwendeten Dachreets (Einbaufeuchte)
- Lage des Reetdaches (Lage des Reetdaches im Gelände, in der Region)
- Pflege und Wartung des Reetdaches (Regelmäßige Pflege und Reparatur)

Unter den Fachleuten herrscht derzeit eine rege Diskussion darüber, ob Kupferprodukte, zum Beispiel Bindedrahte aus Kupfer oder quaternäre Ammoniumverbindungen zur Pflege eines Reetdaches eingesetzt werden können, um die Haltbarkeit somit die Lebensdauer eines Reetdaches zu verlängern.



Dachdecker auf einem Reetdach 1963

## Reetproblematik heute

Gegenwärtig wird Reet nach Deutschland auch importiert, weil die Nachfrage über dem inländischen Angebot liegt. Angaben der ZEIT zufolge<sup>[4]</sup> wird rund die Hälfte des Reets heutzutage aus Rumänien importiert, ferner aus der Ukraine und Ungarn; etwa 10 Prozent stammen aus der Türkei und China (mit anderen Erntezeiten verbunden). In diesem Zusammenhang wurden Befürchtungen laut, durch den Import könnten Schädlinge eingeschleppt werden, die keine natürlichen Feinde haben und die Haltbarkeit bzw. Lebensdauer der Dachdeckung reduzieren würden.

Viel Aufmerksamkeit gewannen Berichte über geheimnisvolle Pilzarten<sup>[5]</sup>, die in den Medien zu „Killer-Pilzen“ stilisiert wurden.<sup>[6]</sup> Solche neuartigen Pilze, angeblich eingeschleppt durch Importe aus Südosteuropa, und ihre Wirkung wurden jedoch durch keine Untersuchungen nachgewiesen, und einigen Hinweisen zufolge sei die Quelle einiger dieser Theorien<sup>[7]</sup> der Hersteller eines angeblichen Mittels gegen die Pilze.<sup>[4]</sup>

Mangels Untersuchungen ist die Ursache für den festgestellten schlechten Zustand der Reetdächer in den letzten Jahren nicht geklärt, und die Verwendung von mit Schädlingen durchsetztem Reet somit nicht ausgeschlossen. Allerdings vermerkt die deutsche Dachdeckerinnung auch, dass für die Verrottung Feuchtigkeit in der Reetschicht ursächlich sei.<sup>[8]</sup>

Die niederländische Innung Vakfederatie Rietdekkers vermutet ähnlich<sup>[4]</sup>, die Ursache für das Verfaulen vieler Reetdächer liegt eher in der Nichteinhaltung der Grundprinzipien des Dachaufbaus (zum Beispiel wie Dachneigung), und in der Verwendung von minderwertigem Reet, was zur erhöhten Feuchtigkeit führt; das minderwertige Reet kommt allerdings nicht unbedingt aus Südosteuropa allein nach Deutschland – auch Reetreste, die in den Niederlanden mangels Qualität keine Verwendung finden, werden nach Deutschland importiert.<sup>[4]</sup>



Die linke Seite zeigt das Pilzmycel von angegriffenen nicht behandeltem Reet, die rechte Seite das gleiche Reet Biodecont behandelt. Inkubationszeit 30 Tagen.

## Brandgefahr

Reetdächer sind, vor allem im Hochsommer, feuergefährdet, wenn sie von der Sonnenbestrahlung ausgetrocknet sind. Aber auch das Silvesterfeuerwerk stellt eine Gefahr dar, so dass auf den nordfriesischen Inseln das Abbrennen von Feuerwerkskörpern grundsätzlich verboten wurde. Ein Brand breitet sich in der Regel binnen einer halber Stunde großflächig aus; die geschnürten Reetbündel lösen sich und rutschen brennend von der Dachfläche, so dass es schwierig sein kann, aus dem Gebäude zu entkommen. Die Feuerwehren raten zumeist dazu, bei einem Brand das Gebäude sofort zu verlassen. Diese Problematik ist seit Jahrhunderten bekannt, so dass sich ab dem späten 18. Jahrhundert, örtlich auch früher, sogenannte Brandtüren verbreitet haben. (Siehe auch Foto „Uthlandfriesisches Haus“) Diese befinden sich an den Längsseiten des Hauses und verfügen über einen eigenen Spitzgiebel, so dass sie beim Verlassen des Gebäudes vor den brennenden Reetbündeln schützen. Aufgrund der gegenüber einem Hartdach erheblich höheren Brandgefahr sind die Prämien für Feuerversicherungen bei traditionell reetgedeckten Häusern höher.



Reetdachhaus auf Fünen



Uthlandfriesisches Haus Amrum

Roter Haubarg Eiderstedt,  
NordfrieslandReetgedecktes Haus in der  
Kampener Heide auf Sylt

## Quellen

- [1] Bundesamt für Naturschutz: Bilder und Erläuterung zum Bau eines Rohrdaches ([http://www.bfn.de/0602\\_2005.html](http://www.bfn.de/0602_2005.html)) von 2005
- [2] Siehe auch die Seiten der Reetdachdeckerinnung [Reetdachdeckung.de](http://www.reetdachdeckung.de) (<http://www.reetdachdeckung.de/index.php?id=30>)
- [3] Siehe die Seiten der Reetdachdeckerinnung [reetdachdeckung.de](http://www.reetdachdeckung.de) (<http://www.reetdachdeckung.de/index.php?id=30>)
- [4] Dachschaden, Dirk Asendorf, in DIE ZEIT 32/2007, 2. August 2007, S. 27f.
- [5] Reetdach–Fehlinformationen (<http://www.reetdach-sterben.de/html/fehlinformation.html>)
- [6] „Killer-Pilz lässt die Reetdächer verrotten – Bauphysikalische Ursachen sind unfug“, in: *Stader Tageblatt* vom 18. Januar 2007, zit. nach [reetdach-sterben.de/Presse](http://www.reetdach-sterben.de/Presse) (<http://www.reetdach-sterben.de/html/presse.html>)
- [7] Fehlinformationen (<http://www.reetdach-sterben.de>)
- [8] reetdachdeckung FAQ (<http://www.reetdachdeckung.de/index.php?id=37>)

- Unterm Reetdach, Brigitta Seidel, ISBN 978-3-89876-327-1
- Das Reetdach, Walter Schattke, ISBN 3-7672-1140-8
- Reet & Stroh als historisches Baumaterial, Mila Scgrader, ISBN 3-931824-09-8

## Weblinks

- <http://www.reetdachdeckung.de/>
- <http://www.zeit.de/2007/32/T-Reetdach>
- <http://www.dradio.de/dlf/sendungen/umwelt/623477>
- <http://www.cultclip.tv/video/118141/verlegung-des-reet-lufterfirstes-bei-bestehenden-daechern>

# Regeneratfaser

**Regeneratfasern** sind Fasern, die aus natürlich vorkommenden, nachwachsenden Rohstoffen über chemische Prozesse hergestellt werden. Dabei handelt es sich vor allem um Zellulosederivate aus Holz. Gemeinsam mit den synthetischen Chemiefasern zählen sie zu den Chemiefasern und sind keine Naturfasern.

## Typen und Eigenschaften

Die wichtigsten Regeneratfasern sind:

- Viskose (CV) wird nach dem Viscoseverfahren aus reiner Zellulose, hauptsächlich aus Eukalyptus, Buchen- und Pinienholz oder zunehmend aus Bambus gewonnen.
- Modal (CMD) wird nach dem modifizierten Viscoseverfahren hergestellt und hat deshalb eine höhere Festigkeit als Viskose im trockenen und nassen Zustand.
- Lyocell (CLY) wird in einem Nassspinnverfahren hergestellt. Als Lösungsmittel dient *N*-Methylmorpholin-*N*-oxid Monohydrat. Die Faser zeichnet sich durch sehr hohe Trocken- und Nassfestigkeit aus.
- Cupro (CUP) wird nach dem Kupferoxid-Ammoniak-Verfahren hergestellt.
- Acetat (CA) wird im Trockenspinnverfahren aus in Aceton gelöstem Zelluloseacetat gesponnen (siehe Acetat-Fasern)
- Triacetat (CTA) wird ebenfalls aus Zelluloseacetat hergestellt, hier wird jedoch in Dichlormethan gelöst.

Viskose weist eine typische Faserfeinheit von etwa 10 bis 15 µm Durchmesser und eine Faserlänge von etwa 40 mm auf. Für die Textilindustrie wird Viskose zu einem Endlosfaden versponnen. Feine Microfasern werden bereits ab 0,9 Fdtx (0,9 g pro 10.000 m Fadenlänge) angeboten. Bei den neueren Verfahren (Modal, Lyocell) erreicht man höhere Faserfestigkeiten, eine bessere Feuchtigkeitsaufnahme und schnelles Trocknen. Daraus hergestellte Textilien weisen einen glatten und kühlen Griff mit fließendem Fall auf, haben eine geringe Knitterneigung und können gewaschen und chemisch gereinigt werden. Dafür bedarf es jedoch weiterer Verfahrensschritte, um das ausgeprägte Nass-Fibrillierverhalten zu unterdrücken.

## Herstellung

Die in Form von Zellstoff gewonnene Cellulose wird zuerst gelöst, versponnen und dann regeneriert. Die Anforderungen an die Cellulose zur Herstellung von Regeneratfasern sind i.d.R. höher als die an Papier (höhere Reinheit und bessere Reaktivität). Da Cellulose nicht schmelzbar ist, ist das Auffinden von geeigneten Lösemitteln von großer Bedeutung für die Cellulosechemie und -verarbeitung. Lösungen von Cellulose lassen sich nicht in üblichen organischen Lösemitteln herstellen. Zur Auflösung werden spezielle Lösesysteme verwendet, die oftmals Mehrkomponentensysteme darstellen. Gegenwärtig besitzen die Systeme Natronlauge und Schwefelkohlenstoff (NaOH/CS<sub>2</sub>) sowie *N*-Methylmorpholin-*N*-oxid-Monohydrat (NMMO\*MH) als Direktlöseverfahren technische Bedeutung. Darüber hinaus werden die Spinnverfahren danach unterschieden, ob die Faserbildung in einem Fällbad (Nassspinnverfahren) oder durch Verdampfen des Lösungsmittels (Trockenspinnverfahren) erfolgt. Es gibt jedoch auch Mischformen, wie das Lyocellverfahren, das einen Trocken-Nass-Spinnprozess darstellt. <sup>[1]</sup>



Textilie aus Cupro

## Verwendung

Regeneratfasern werden im textilen und nichttextilen Bereich als sogenannte Non-wovens (nicht gewebte Textilien) eingesetzt. Sie finden Einsatz in Funktionstextilien im Sportbereich, für Arbeitsbekleidung, Unterwäsche und Bettartikel sowie als Vliesstoff für Hygiene- und Kosmetikartikel (z.B. Watte). Außerdem wird die Faser für Textilien im medizinischen Bereich und für Industrieprodukte verwendet. Im technischen Bereich werden Regeneratfasern als Verstärkungsfaser für Reifen und zur Substitution von Glasfasern in Faserverbunden eingesetzt.

## Wirtschaftliche Bedeutung

Regeneratfasern sind im Segment Bekleidung und als Vliesstoff ein etabliertes Material. In Deutschland existiert eine international erfolgreiche und exportstarke Cellulosefaser-Industrie. So werden jährlich rund 200.000 t Celluloseregenerate produziert. Obwohl sich die Qualität des heimischen Holzes für die Herstellung von Regeneratfasern eignet, wird der Rohstoff Cellulose derzeit vollständig durch Importe aus Südafrika und USA/Kanada gedeckt, da in Deutschland die Herstellungskapazitäten für Chemiezellulose fehlen.<sup>[2]</sup> Neben Chemiezellulose werden auch bereits aufbereitete Regeneratfasern nach Deutschland importiert, um den aktuellen Bedarf zu decken.

## Nachhaltigkeit

Traditionelle Verfahren wie das Viskoseverfahren sind technologisch sehr aufwändig und umweltbelastend (starke Säuren und Laugen, Schwefelwasserstoff (CS<sub>2</sub>) und Schwermetalle). Vor dem Hintergrund der hervorragenden Eigenschaften des Cellulosemoleküls und seinem Potential als nachwachsender Rohstoff gab es in den letzten Jahrzehnten große Anstrengungen, umweltfreundliche und gleichzeitig technologisch einfachere Verfahren zu entwickeln. So wurde u.a. das Carbamatverfahren entwickelt, das unbedenklichen Harnstoff anstelle des toxischen Schwefelwasserstoffs verwendet, oder das Lyocellverfahren, das infolge der nahezu vollständigen Rückgewinnung des Lösungsmittels im Verfahrenskreislauf praktisch emissionsfrei abläuft und deshalb den Umweltpreis der Europäischen Union gewonnen hat.

## Literatur

H.-P. Fink und S. Fischer: Celluloseverarbeitung – umweltfreundliche Technologien auf dem Vormarsch. Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung.

## Weblinks

[http://naturtextil.com/medien/ivn\\_pm\\_bambusviskose.pdf](http://naturtextil.com/medien/ivn_pm_bambusviskose.pdf) Internationaler Verband der Naturtextilwirtschaft: Pressemitteilung zu Bambusviskose

## Referenzen

- [1] H.-P. Fink und S. Fischer: Celluloseverarbeitung – umweltfreundliche Technologien auf dem Vormarsch. Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung.
- [2] FNR [Fachagentur nachwachsende Rohstoffe] (2006): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe; Gülzow

# Reinbiokraftstoff

---

Als **Reinbiokraftstoff** oder **Reinkraftstoff** werden Biokraftstoffe bezeichnet, die unvermischt (ohne Zusatz fossiler Kraftstoffe) in dafür geeigneten Motoren verbrannt werden.

Für Biodiesel und Rapsöl-Kraftstoff als Reinbiokraftstoffe gilt in Deutschland ein ermäßigter Energiesteuersatz, der jedoch schrittweise erhöht wird, so dass die Besteuerung bis zum Jahr 2012 weitgehend an den Steuersatz fossiler Treibstoffe angeglichen wird. Im Gegensatz dazu unterliegt Biodiesel bereits heute dem vollen Steuersatz von 47,04 Cent/l, wenn er im Rahmen der laut Biokraftstoffquotengesetz verpflichtenden Beimischung fossilem Diesel zugesetzt wird.

Für Biodiesel, der als Reinbiokraftstoff verwendet wird, ist die Bezeichnung B100 üblich, in Abgrenzung zur Beimischung von Biodiesel zu fossilem Diesel, bei dem die entsprechende Prozentzahl Biodiesel im Kraftstoffgemisch angegeben wird (zum Beispiel B7 bei 5%iger Beimischung).

## Literatur

Biokraftstoff-portal.de: Onlinelexikon, Stichwörter Steuerrecht – (FAME/Biodiesel) <sup>[1]</sup> und Steuerrecht – (Rapsölkraftstoff) <sup>[2]</sup>

## Referenzen

[1] <http://www.biokraftstoff-portal.de/nds-hb/index.php?tpl=basic&id=138&kr=&bk=&bs=&hl=Reinkraftstoff&sr=1>

[2] <http://www.biokraftstoff-portal.de/nds-hb/index.php?tpl=basic&id=38&kr=&bk=&bs=&hl=Reinkraftstoff&sr=1>

# Reinigungsmittel

---

**Reinigungsmittel** sind Verbrauchsstoffe, die zur Reinigung von verschiedensten Gegenständen und Objekten dienen. Die Reinigungsmittel bewirken oder unterstützen die Entfernung von Schmutz als Folge der Benutzung oder von Rückständen und Anhaftungen aus dem Herstellungsprozess des Objekts.

Die einzelnen Reinigungsmittelsorten werden meist für bestimmte Anwendungsbereiche, wie z. B. für Wäsche (Waschmittel), Geschirr (Spülmittel), Boden usw., hergestellt. Häufig sind in ihnen verschiedene Verbindungen und Komponenten (*waschaktive Substanzen*), wie z. B. Tenside, Säuren, Basen, Enzyme, etc., enthalten, die helfen, unterschiedliche Arten von Verunreinigungen zu entfernen.

Meist werden Reinigungsmittel in Kombination mit Wasser eingesetzt, das als polares Lösungsmittel selbst einen wesentlichen Teil der Reinigungsleistung beitragen kann. Zugleich wird mit dem Wasser der Schmutz weggetragen. Bei der chemischen Reinigung von Textilien dagegen wird die Reinigung in nichtwässrigen Lösungsmitteln durchgeführt.

**Putzmittel** sind ebenfalls Reinigungsmittel, schließen jedoch z. B. Waschmittel nicht mit ein.

Auch Mittel zur Körperpflege, wie Seife, Shampoo, Duschgel etc., können den Reinigungsmitteln zugeordnet werden.



## Arten

Reinigungsmittel können nach dem vorgesehenen Anwendungsbereich oder den enthaltenen aktiven Komponenten unterschieden werden.

## Nach Anwendungsbereich

Unterschiedliche Anwendungsbereiche erfordern unterschiedliche Reinigungsmittel. Oft bestehen sie aus einer Kombination von waschaktiven Substanzen und weiteren Anteilen, wie Hilfs- und Duftstoffen:

- Körperhygiene: Seife, Duschgel, Shampoo, Flüssigseife, Handwaschpaste
- Wäsche und Textilien: Waschmittel (Vollwaschmittel, Colorwaschmittel, etc.), Gallseife
- Geschirr (Koch- und Essgeschirr, Besteck): Spülmittel, Spülmaschinenreiniger, Klarspüler
- Oberflächen in Wohn- und Arbeitsräumen: Neutralreiniger, Scheuermittel (Scheuersand)
- Kalkentferner: Entkalker, Kalkreiniger
- Anderes: Rohrreiniger, Bremsenreiniger, Alkoholreiniger, Allzweckreiniger, Glasreiniger, Sanitärreiniger, WC-Reiniger, etc.

## Nach Komponenten

### Aktive Komponente

Zum Entfernen unterschiedlicher Arten von Verunreinigungen eignen sich unterschiedliche Komponenten, die in Reinigungsmitteln oft in Kombination vorkommen:

- Tenside: Lösen, z. B. von hydrophoben Verschmutzungen wie Fett und Öl, in wässriger Waschlauge, z. B. durch Seife, verschiedene petrochemisch oder oleochemisch hergestellte Tenside, Biotenside
- Scheuermittel: Entfernen fester Verunreinigungen durch Scheuern
- Säure: Entfernen säurelöslicher Verschmutzungen, wie z. B. Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ), z. B. durch Zitronen- und Essigsäure; durch Zersetzung in Kohlensäure und gelöstes Calcium
- Base: Entfernen von Fett und Öl (*alkalische Reiniger*)
- Bleichmittel: zum Entfärben von Verschmutzungen und zur Desinfektion; z. B. sauerstoffreiche Chlorverbindungen wie Hypochlorite in *Chlorreinigern*; Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) enthaltende oder freisetzende Verbindungen, wie Percarbonat und Natriumperborat, in *Sauerstoffreinigern*
- Enzyme: Zersetzen von Verschmutzungen in kleinere, lösliche Anteile, z. B. durch Amylasen (Stärke), Lipasen (Fette), Proteasen (Eiweiß), etc.



### Weitere Komponenten

Es können weitere Anteile enthalten sein, die die Wirkung der aktiven Komponenten verstärken oder optisch oder durch Düfte eine subjektiv wahrgenommene Reinheit bewirken:

- Hilfsstoffe, wie Builder zur Wasserenthärtung
- Duftstoffe
- Aufheller
- Anteile, die helfen, eine erneute Verschmutzung zu verhindern oder zu verringern
- etc.

## Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit

(siehe auch Artikel *Wasch- und Reinigungsmittelgesetz*)

Die Zusammensetzung von Reinigungsmitteln wird unter anderem durch das Wasch- und Reinigungsmittelgesetz (WRMG) geregelt, um den Eintrag umweltgefährdender Stoffe in Gewässer zu unterbinden. Insbesondere die biologische Abbaubarkeit der enthaltenen Tenside wird geregelt.<sup>[1]</sup> Z. B. war bis etwa zur Mitte des 20. Jahrhunderts Seife (ein Tensid) das wichtigste Waschmittel. Dieses vor allem auf nachwachsenden Rohstoffen basierende Produkt wurde zunehmend von petrochemisch hergestellten Tensiden verdrängt. Diese waren meist jedoch nur schlecht biologisch abbaubar und führten zu ökologischen Problemen. Durch Forderungen zur biologischen Abbaubarkeit u. a. im WRMG gewannen Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Zuckertenside aus Zucker und Pflanzenöl) wieder an Bedeutung und machen heute rund 50 % der hergestellten Tenside aus.<sup>[2]</sup> Das WRMG forderte zudem eine Verringerung des Einsatzes von Phosphat, der als Wasserenthärter in Reinigungsmitteln verwendet wurde. Das Phosphat führte durch Eintrag in Gewässer ebenfalls zu ökologischen Problemen (Eutrophierung).<sup>[1]</sup> Die Rezepturen von Wasch- und Reinigungsmitteln sind dem Bundesinstitut für Risikobewertung zu melden, um den Verbraucher vor gesundheitlichen Risiken zu schützen.<sup>[3]</sup>

## Literatur

- Hermann G. Hauthal (Hrsg.): *Reinigungs- und Pflegemittel im Haushalt. Chemie, Anwendung, Ökologie und Verbrauchersicherheit*. Verlag Ziolkowsky, Augsburg 2007, ISBN 978-3-87846-265-1.
- Klaus Henning: *Wasch- und Reinigungsmittel. Inhaltsstoffe, Eigenschaften und Formulierungen*. Verlag Ziolkowsky, Augsburg 2006, ISBN 3-87846-252-2.

## Weblinks

- Hintergrundinformationen zum Wasch- und Reinigungsmittelgesetz <sup>[4]</sup> beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), einschließlich dem *Wasch- und Reinigungsmittelgesetz im Volltext* (pdf) <sup>[5]</sup>

## Siehe auch

- Gebäudereiniger
- Reinigungskraft

## Referenzen

- [1] [www.bmu.de: Gesetz über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/wrmg_gesamt.pdf) ([http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/wrmg\\_gesamt.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/wrmg_gesamt.pdf)), WRMG im Volltext, abgerufen am 8. April 2010
- [2] [www.innovations-report.de: Molekulare Enzymtechnologie: umweltfreundliche Biotenside](http://www.innovations-report.de/html/berichte/biowissenschaften_chemie/molekulare_enzymtechnologie_umweltfreundliche_150598.html) ([http://www.innovations-report.de/html/berichte/biowissenschaften\\_chemie/molekulare\\_enzymtechnologie\\_umweltfreundliche\\_150598.html](http://www.innovations-report.de/html/berichte/biowissenschaften_chemie/molekulare_enzymtechnologie_umweltfreundliche_150598.html)), vom 11. März 2010, abgerufen am 8. April 2010
- [3] Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR): *Wasch- und Reinigungsmittelrezepturen müssen an das Bundesinstitut für Risikobewertung gemeldet werden* (<http://www.bfr.bund.de/cd/9351>), Pressemitteilung der BfR zu Änderungen durch die Novellierung des Wasch- und Reinigungsmittelgesetzes (WRMG), vom 5. Juni 2007, abgerufen am 8. April 2010
- [4] <http://www.bmu.de/chemikalien/downloads/doc/35500.php>
- [5] [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/wrmg\\_gesamt.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/wrmg_gesamt.pdf)

## Restholz

Als **Restholz** bezeichnet man die Holzanteile, die beim Einschlag im Wald, sowie bei der Be- und Verarbeitung von Holz in der Industrie als Neben- bzw. Koppelprodukt anfallen.

Im ersten Fall spricht man von Waldrestholz, das aus dem Schlagabraum ausschließlich der nichtholzigen Anteile, wie Blätter und Nadeln, besteht. Dies sind die Baumkrone, Äste und minderwertige Stammanteile. Das Waldrestholz kann z. T. als Rohstoff für die Herstellung von Holzwerkstoffen oder auch energetisch, z. B. in Form von Holzhackschnitzeln oder Scheitholz, sowie zur Herstellung z. B. von Rindenmulch genutzt werden.

Im zweiten Fall spricht man von Industrierestholz, das als Verschnitt, Schwarten, Rindenteile, Späne und Holzstäube anfällt. Diese Anteile können teilweise für die Holzwerkstoffherstellung (Spanplatten, MDF-Platten) oder energetisch, z. B. als Hackschnitzel oder Holzpellets, verwendet werden.

Der Begriff *Restholz* ist von dem Begriff Altholz (auch Gebrauchtholz) zu unterscheiden, da es sich hierbei um Holz handelt, das in irgendeiner Weise bereits verwendet wurde.



Waldrestholz fällt beim Holzeinschlag an.



Industrierestholz, wie diese Schwarten, fallen bei der Holzbearbeitung an.

## 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

# Riesen-Chinaschilf

Riesen-Chinaschilf

Riesen-Chinaschilf ( <i>Miscanthus × giganteus</i> )
Systematik
<p><i>Unterklasse:</i> Commelinaähnliche (Commelinidae)</p> <p><i>Ordnung:</i> Süßgrasartige (Poales)</p> <p><i>Familie:</i> Süßgräser (Poaceae)</p> <p><i>Unterfamilie:</i> Panicoideae</p> <p><i>Gattung:</i> <i>Miscanthus</i></p> <p><i>Art:</i> Riesen-Chinaschilf</p>
Wissenschaftlicher Name
<i>Miscanthus × giganteus</i>
J.M.Greef & Deuter

**Riesen-Chinaschilf** (*Miscanthus × giganteus*) ist eine natürliche Kreuzung aus dem Chinaschilf (*Miscanthus sinensis*) und *Miscanthus sacchariflorus*. Es stammt ursprünglich aus Japan. Um 1935 wurde *Miscanthus × giganteus* von Japan über Dänemark nach Mitteleuropa eingeführt.

Riesen-Chinaschilf 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. Sie kann auch im europäischen Raum Wuchshöhen von bis zu vier Metern erreichen und wird deshalb vermehrt als nachwachsender Rohstoff zur energetischen und stofflichen Nutzung angebaut.

## Merkmale

Beim Riesen-Chinaschilf handelt es sich um einen triploiden Hybriden mit 57 Chromosomen, der durch eine Hybridisierung einer tetraploiden Form von *Miscanthus sacchariflorus* mit 76 und einer diploiden Form des Chinaschilfs (*Miscanthus sinensis*) mit 36 Chromosomen entstanden ist. Die Pflanze vereint entsprechend Merkmale beider Ursprungsarten.

Wie alle *Miscanthus*-Arten ist sie mehrjährig und bildet ein sprossbürtiges Rhizom, aus dem die Pflanzen austreiben. Der Spross erreicht eine Höhe von drei bis vier Metern mit lanzenförmigen, teilweise erektophilen Blattspreiten, wodurch eine optimale Lichtnutzung erreicht wird. Wie andere C4-Pflanzen, etwa Mais und Zuckerrohr, zeichnet sich *Miscanthus* durch eine sehr effektive Photosynthese aus, die zu einer starken Biomasseproduktion führt. Dabei werden pro Megajoule absorbierter Strahlung etwa 2,5 Gramm Biomasse gebildet.<sup>[1]</sup>

## Verbreitung und Habitat

Riesen-Chinaschilf ist als Naturhybride in Japan zu finden, wobei ein genauer Entstehungsort für die Kreuzung nicht bekannt ist. Angenommen wird eine Entstehung in einer subtropischen Region Zentraljapans.

Die als nachwachsender Rohstoff angebaute Sorte kann in warmen Sommern auch in Mitteleuropa blühen, jedoch keine keimfähigen Samen ausbilden. Eine unkontrollierte Ausbreitung über Rhizom- oder Wurzelstücke gilt als unwahrscheinlich, da *Miscanthus* als C4-Pflanze im Frühjahr nur eine sehr langsame Wuchsentwicklung verzeichnet und somit sehr konkurrenzschwach gegenüber heimischen Pflanzen ist.

In Mitteleuropa wird Riesen-Chinaschilf von einer großen Artenzahl von Kleinlebewesen wie Spinnen und Käfern als "Überwinterungsquartier" genutzt. In den über den Winter aufgeräumten Agrarlandschaften nutzen Rehe und Wildschweine die *Miscanthus*bestände als Zufluchtsort.

## Verwendung

### Nutzungsgeschichte

In den Ursprungsgebieten als Rohstoff für Matten und Flechtwerk zum Sicht- und Windschutz sowie als Futterpflanze bekannt und in Mitteleuropa lange Zeit nur als Zierpflanze in Gärten eingesetzt, rückte Riesen-Chinaschilf Ende der 1970er Jahre bei der Suche nach alternativen Energiequellen in das Blickfeld von Forschung und Entwicklung. Die Pflanze wurde nicht nur als potenzieller Biomasselieferant, sondern auch als Faserpflanze untersucht. Wegen des möglichen hohen Trockenmasseertrages (15 bis ca. 25 Tonnen je Hektar nach Versuchen des baden-württembergischen Landwirtschaftsministeriums<sup>[2]</sup>) spielte sie von nun an eine gewisse Rolle als nachwachsender Rohstoff.

Ende der 1980er Jahre wurden große Hoffnungen auf die Pflanze gesetzt. In den Jahren 1991 bis 1994 fand von Seiten der deutschen Bundesregierung und der VEBA OEL AG eine intensive Forschungsförderung zur Biomassebereitstellung sowie zur energetischen und stofflichen Nutzung von *Miscanthus × giganteus* statt. Die Rohstoffpflanze konnte damals die hohen an sie gesetzten Erwartungen nicht erfüllen. Hohe Auswinterungsverluste im Pflanzjahr, hohe Pflanzgutkosten, Lagerungsprobleme aufgrund der geringen Schüttdichte, fehlende Verwendungsmöglichkeiten des gewonnenen Rohstoffes sowie eine fehlende Wirtschaftlichkeit standen nach Projektbeendigung noch als Kernprobleme einem großflächigen Anbau entgegen.

Einige der ursprünglich vorhandenen Probleme konnten mittlerweile durch Forschungsförderung und durch Pioniergeist innerhalb der Landwirtschaft gelöst werden. So konnte durch die Entwicklung der Rhizomvermehrung das Problem der Auswinterungsverluste minimiert und die Pflanzgutkosten auf weniger als die Hälfte reduziert werden. Mittlerweile haben sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Verwendungsformen von Riesen-Chinaschilf etabliert, die von der stofflichen Nutzung in Leichtbetonbausteinen<sup>[3]</sup>, über Tiereinstreu, bis hin zur energetischen Nutzung in Biomassefeuerungsanlagen reichen. Aufgrund stark angestiegener Heizölpreise (seit 1994 um mehr als

den Faktor 5) stellt sich mittlerweile die Wirtschaftlichkeit auch in Hinblick auf andere Konversionsprozesse (z.B. Verflüssigung, Pyrolyse) weit positiver dar.

## Inhaltsstoffe

### Qualitätsparameter von *Miscanthus × giganteus*

<b>Heizwert</b>	18,1 - 18,5 MJ/kg <sup>[4]</sup>
<b>Aschengehalt</b>	2,7 – 3,1 % <sup>[4]</sup>
<b>Chlor</b>	0,2 % <sup>[4]</sup>
<b>Stickstoff</b>	0,4 % <sup>[4]</sup>
<b>Kalium</b>	0,5 % <sup>[4]</sup>
<b>Schwefel</b>	0,06 % <sup>[4]</sup>
<b>Lignin</b>	21-24 % <sup>[5]</sup>
<b>Holocellulose</b>	75-81 Gew.% b.a. tm <sup>[5]</sup>

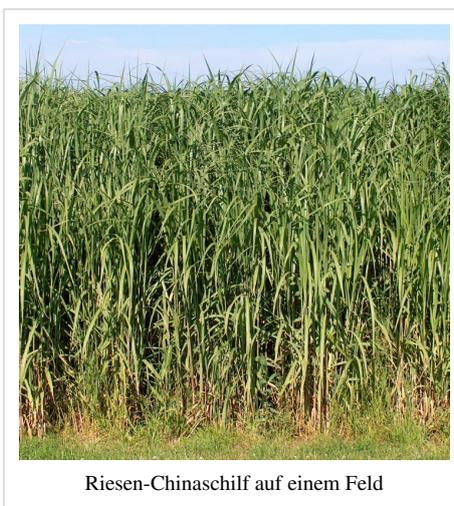
Die Inhaltsstoffkonzentrationen der oberirdischen Biomasse variieren sehr stark je nach Erntezeitpunkt, der Witterung während der Wintermonate und den Bodeneigenschaften. Generell gilt, je später der Erntezeitpunkt gewählt wird, desto geringer ist der Gehalt an Mineralien. Dies gilt in besonders starkem Maße für Chlor, Kalium und Schwefel.<sup>[6]</sup> Dies ist zum einen durch den Nährstoff-Rücklagerungsprozess und zum anderen durch die Ausspülung der Nährstoffe durch Niederschlagswasser zu erklären. Für die Produktion von Biomasse für die energetische Verwertung sollte zudem auf Standorte zurückgegriffen werden, auf denen zuvor nicht mit Chlor-haltigen Düngemitteln gedüngt wurde. Die nebenstehende Tabelle gibt Richtwerte für qualitätsbestimmende Biomasse-Parameter und Inhaltsstoffkonzentrationen der Sorte *Miscanthus × giganteus*.

## Energetische Nutzung

Inzwischen findet das schnellwüchsige Chinaschilf wegen seines hohen Brennwertes und seiner günstigen Kohlendioxidbilanz in gewissem Umfang Verwendung als Brennstoff zur Energiegewinnung in Biomasseheizkraftwerken. Pilotprojekte existieren in Österreich und Deutschland. In Österreich sind Förderungen des Anbaus über den Umweg der Stilllegungsprämie der Landwirtschaftskammer möglich.

Ein wesentlicher Vorteil von Riesen-Chinaschilf ist der relativ hohe Trockenmasseertrag pro Hektar in Verbindung mit einem sehr geringen Wasserbedarf pro Einheit produzierter Trockenmasse.<sup>[2]</sup> Vorteilhaft ist auch die Verlagerung der Nährstoffe aus den Blättern in das Rhizom gegen Ende der Vegetationsperiode. Dadurch ist der Düngungsbedarf dieser Pflanze gegenüber anderen Nutzpflanzen reduziert. Durch die mehrjährige Ernte ohne jährliches Ansäen

entfallen auch die jährlichen energieintensiven Bodenaufbereitungsarbeiten, was die Energiebilanz deutlich gegenüber anderen nachwachsenden Rohstoffen, wie z. B. Raps als pflanzlicher Kraftstoff verbessert.<sup>[7]</sup>



Riesen-Chinaschilf auf einem Feld

Von Nachteil für den Produzenten sind die geringen Anbauerfahrungen, die hohen Investitionen für das Pflanzgut und die bei mehrjährigen Kulturarten dauerhafte Flächenbindung, die einer flexiblen Reaktion auf Änderungen der EU-Agrarpolitik entgegenstehen.

Durch die relativ geringe Schüttdichte ist, abgesehen von den oben genannten Anbauproblemen, ein Transport über längere Wegstrecken unrentabel. Bei einer räumlich nahen Verwendung zur Förderung einer regionalen Energieautonomie ist dieser Umstand allerdings wegen der kurzen Wege nicht mehr als Nachteil zu betrachten. Abhilfe kann außerdem ein Pelletieren des Rohstoffes schaffen; die ersten Pelletierversuche befinden sich aber noch im Anfangsstadium. Erprobt hingegen ist bereits die Brikettierung: mit hydraulischen Brikettierpressen lassen sich Briketts mit einem Durchmesser von 5 bis ca. 7 cm wesentlich kostengünstiger herstellen als Pellets mit einer Pelletiermaschine.

Problematisch ist immer noch die Schlackenbildung bei der Verbrennung des Häckselgutes, das – ähnlich wie Stroh – einen hohen Siliziumanteil aufweist und daher nicht in allen Hackschnitzelfeuerungen verbrannt werden kann. Durch das wachsende Interesse, nicht zuletzt wegen der steigenden Rohölpreise, ist aber eine verstärkte Entwicklung seitens der Heizkesselhersteller zu beobachten.

### Stoffliche Nutzung

Auch im Bereich der Stofflichen Nutzung findet das Riesen-Chinaschilf zahlreiche Verwendungsmöglichkeiten. Als Zuschlagstoff zu Leichtbetonbausteinen bietet es den Vorteil, die Dämmeigenschaften des Betonkörpers zu verbessern. In Deutschland findet es bislang nur Verwendung als Füllmaterial für Spanplatten, die Anbaufläche für diese Nutzung entspricht maximal 50 ha (Heyer 2008) und damit einer potenziellen Gesamtmasse von maximal 1.500 t TM. Darüber hinaus könnte es zukünftig gemeinsam mit Kurzumtriebsholz als lignocellulosereicher Rohstoff für die Versorgung der Bioraffinerietechnologie von Bedeutung sein.

## Anbau

### Züchtung, Sorten

Bislang gelten eine hohe Biomasseleistung und eine ausreichende Winterhärte als die wichtigsten Kriterien für die Sortenwahl. Anbauerfahrungen aus dem großflächigen Anbau liegen für *Miscanthus × giganteus* und die früher reifende Mehrklonsorte 'Amuri' vor. *Miscanthus × giganteus* ist die mit Abstand am meisten angebaute Sorte. In den neunziger Jahren fanden Anbauversuche auch mit den *Miscanthus sinensis*-Sorten 'Goliath', 'Poseidon' und weiteren statt, die sich aufgrund geringer Ertragsleistungen jedoch nicht durchsetzen konnten.<sup>[8]</sup> Zunehmend werden verschiedene Sorten bzw. Genotypen auch auf ihre Eignung für verschiedene spezifische Verwendungszwecke untersucht. Für die Verwendung als Zuschlagstoff zu Leichtbetonbausteinen konnten bereits Pflanzen mit besonders guten Bindeeigenschaften identifiziert werden.<sup>[9]</sup> Langfristiges Ziel ist die Selektion von ertragsstarken Sorten, die sich aufgrund positiver chemisch-physikalischer Eigenschaften besonders gut z.B. für die Verbrennung, Pyrolyse oder Verflüssigung eignen.



*Miscanthus sinensis* als Zierpflanze

## Standortansprüche

Miscanthus stellt an den Standort ähnliche Ansprüche wie Mais. Als wärmeliebende C4-Pflanze benötigt er Standorte mit einer mittleren Temperatur von mindestens 8°C. Spätfröste können zu einer Schädigung junger Triebe führen.

Standorte mit tiefgründigen, humosen und sandig-lehmigen Böden mit einer guten Bodenstruktur und Wasserführung sowie einem hohen Nährstoffspeichervermögen eignen sich besonders für den Anbau von Miscanthus. Kalte und zu Staunässe neigende Böden mit mangelnder Durchlüftung sind nicht geeignet. Auf sehr sandigen Böden mit einem niedrigen Grundwasserstand entscheiden die Niederschlagsmenge und die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge das Ertragsniveau.<sup>[8]</sup>

## Bodenbearbeitung, Pflanzung

Die Pflanzung von Rhizomen kann bereits ab Mitte April stattfinden. Vorgezogene Jungpflanzen dagegen sollten erst nach den letzten Spätfrösten gepflanzt werden, da die Jungpflanzen sehr frostempfindlich sind. Im Herbst vor der Pflanzung sollte je nach Vorfrucht und Bodenzustand tief gepflügt und/oder im Frühjahr 10-15 cm tief gegrubbert werden. Für die Pflanzbettbereitung eignet sich z.B. eine Kreiselegge. Eine vorbeugende Unkrautbehandlung wird empfohlen. Gepflanzt wird in einer Tiefe von 3-6 cm mit 1 Pflanze/m<sup>2</sup>. Der Reihenabstand sollte 0,75 bis 1 Meter betragen. Gemüsepflanzmaschinen können für die Pflanzung vorgezogener Jungpflanzen und Kartoffellegemaschinen für die Pflanzung der Rhizomstücke verwendet werden.<sup>[8]</sup>

## Pflanzenschutz

Riesen-Chinaschilf bedarf besonders im ersten aber häufig auch im zweiten Standjahr der Unkrautbekämpfung, da die Pflanze vor der Bestandsschließung extrem konkurrenzschwach ist. Ab dem dritten Standjahr sind die Bestände dicht und geschlossen, Unkräuter und Ungräser werden somit vollständig unterdrückt. In Deutschland sind für Riesen-Chinaschilf keine Pflanzenschutzmittel zugelassen, jedoch besteht die Möglichkeit einer Genehmigung für den Einzelfall (§ 18b PflSchG.). Zur mechanischen Unkrautbekämpfung empfiehlt sich der Einsatz eines Hackstriegels oder gegen Problemunkräuter der Einsatz von üblichen Mais-Reihenhackgeräten. Während der Anfangsphase muss bei starkem Unkrautdruck in der Reihe manuell gehackt werden.<sup>[8]</sup>

## Ernte

Riesen-Chinaschilf verlagert über die Wintermonate einen Großteil der im Spross vorhandenen Nährstoffe in das unterirdische Speicherorgan (Rhizom). Dieser Verlagerungsvorgang geht einher mit einer Abnahme des Feuchtegehaltes der oberirdischen Sprossmasse. Aus zwei Gründen sollte deshalb erst in der Zeitspanne von Januar bis März geerntet werden:

1. die in das Rhizom verlagerten Nährstoffe stehen der Pflanze im Frühjahr für einen kräftigen Wiederaustrieb zur Verfügung.
2. die zu erntende oberirdische Sprossmasse ist bereits auf zirka 18–20 % Feuchtegehalt abgetrocknet und kann meist ohne eine technische Nachtrocknung einer energetischen Nutzung (etwa durch Verbrennung) zugeführt werden.

Ideal als Erntezeitpunkt hat sich die Phase unmittelbar nach einer trockenen Frostperiode gezeigt. Auch sollte darauf geachtet werden, dass die Blätter bereits größtenteils abgefallen sind. Die nährstoffreichen, sich auf dem Boden zersetzenden Blätter, geben die Mineralien dem Pflanzenbestand wieder und helfen somit den Nährstoffkreislauf zu schließen. Ein hoher (aschereicher) Blattanteil kann zudem in Biomassefeuerungsanlagen zu technischen Störungen führen. Je nach anschließendem Verwertungszweck kann mit einem Feldhäcksler mit reihenunabhängigem Schneidwerk (Häckselkette) oder mit einem Mäh-Knick-Zetter (Ballenlinie) geerntet werden. Für die Ballenlinie wird das Erntegut anschließend auf Schwad gelegt und zu Ballen gepresst. Auch gibt es bereits Kombinationen, in denen das gehäckselte Erntegut über den Schlepper in eine angehängte Presse überführt wird.<sup>[10]</sup> Dies bietet den

Vorteil, dass das Erntegut keinen Bodenkontakt erfährt und somit weniger Fremdstoffe (Erde, Sand, nasse Blätter etc.) enthält und damit bessere Verbrennungseigenschaften besitzt. Je nach Standortbedingungen sind Erträge von 10–20 t TM/ha\*Jahr möglich. Bei optimaler Wasserversorgung (zum Beispiel durch Beregnung) kann auch mit weit höheren Erträgen gerechnet werden, die bis zu 25–30 t TM/ha reichen können.

## Literatur

- Werner Kuhn, Steffen Jodl: *Vom Ziergras zur Rohstoffpflanze: 10 Jahre Miscanthus-Forschung*. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG)
- D. Wolters: *Bioenergie aus ökologischem Landbau: Möglichkeiten und Potentiale*. Wuppertal Paper Nr. 91, 1999
- Christine Rösch: *Nachhaltige Nutzung von Biomasse als Energieträger*. Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Forschungszentrum Karlsruhe, TA Datenbank-Nachrichten, Nr. 3, 10. Jahrgang, Sept. 2001, S. 27–34
- Wolfgang Ständer: *Energieprobleme in Zukunft gelöst*. Broschüre der Gesellschaft für Gesundheitsberatung GGB e.V., 1990
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL): *Energiepflanzen*. KTBL-Datensammlung., 2006, S. 151–163
- Ralf Pude: *Bedeutung morphologischer, chemischer und physikalischer Parameter sowie ihrer Interaktionen zur Beurteilung der Baustoffeignung unterschiedlicher Miscanthus-Herkünfte*. Beiträge zu Agrarwissenschaften Bd. 30. Verl. Wehle, Bad Neuenahr 2005.
- Ralf Pude: *Chinaschilf, Miscanthus*. In: Klaus-Ulrich Heyland, Herbert Hanus, Ernst Robert Keller: *Ölfrüchte, Faserpflanzen, Arzneipflanzen und Sonderkulturen*. Handbuch des Pflanzenbaus Band 4, Eugen Ulmer KG, Stuttgart 2006; Seiten 582–587. ISBN 978-3-8001-3203-4
- I. Lewandowski: *Einflussmöglichkeiten der Pflanzenproduktion auf die Brennstoffeigenschaften am Beispiel von Gräsern*. In: „Eigenschaften fester Bioenergieträger“ - Internationale Tagung in Stuttgart im Mai 1996. Schriftenreihe *Nachwachsende Rohstoffe* (6), Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.), Landwirtschaftsverlag Münster, S. 32–48
- S. Kiesewalter, C. Röhrich: *Erfahrungen aus verbrennungstechnischen Untersuchungen zum Einsatz von gemischten Brennstoffen*, Fachgespräch „Mischpellets- und Alternativbrennstoffe für KFA- Potentiale und Handlungsbedarf. Fachveranstaltung der FNR am 1. März 2007
- *Symposium Miscanthus; Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung*. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ FNR, Band 4, 1995

## Weblinks

- [www.miscanthus.de](http://www.miscanthus.de) <sup>[11]</sup> - Informationen der Lehr- und Forschungsstation der Universität Bonn zu *Miscanthus sinensis*
- *Biomasse – was ist das?* <sup>[12]</sup> Planet-Wissen WDR/SWR/BR-alpha, 2006
- *Biomasse als Energieträger* <sup>[13]</sup>. In: Faktor Vier. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie GmbH
- *Miscanthus als Heizstoff* <sup>[14]</sup> - Ökowärme Falzberger KEG: Auspflanzung, Pflanzenschutz
- <http://www.miscanthus.lu>

## Referenzen

- [1] Pude 2006
- [2] Produktionsaspekte Weiden und Miscanthus ([http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1199667\\_11/lap\\_Produktionsaspekte\\_Weiden\\_und\\_Miscanthus.pdf](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1199667_11/lap_Produktionsaspekte_Weiden_und_Miscanthus.pdf))
- [3] Planet Wissen: Werkstoffe aus Pflanzen (<http://www.planet-wissen.de/pw/Artikel,,,,,,,,,CC7A389C12F83A46E030DB95FBC36D43,,,,,,,,,,,,,html>)
- [4] HARTMANN, H., 2007: Normung von Mischbrennstoffen für KFA und Handlungsbedarf, Technologie- und Förderzentrum (TFZ) Straubing, Fachgespräch „Mischpellets- und Alternativbrennstoffe für KFA- Potentiale und Handlungsbedarf“, Fachveranstaltung der FNR am 1.März 2007
- [5] Symposium Miscanthus; Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ FNR, Band 4, 1995
- [6] LEWANDOWSKI, I., 1996: Einflussmöglichkeiten der Pflanzenproduktion auf die Brennstoffeigenschaften am Beispiel von Gräsern. In: "Eigenschaften fester Bioenergeträger" - Internationale Tagung in Stuttgart im Mai 1996. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" (6), Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.), Landwirtschaftsverlag Münster, S.32-48
- [7] Miscanthus.at von Hubert Falzberger ([http://www.miscanthus.at/content.php?url=/sites/site\\_landw\\_allg.php](http://www.miscanthus.at/content.php?url=/sites/site_landw_allg.php))
- [8] KTBL: *Energiepflanzen*. KTBL-Datensammlung, 2006, S. 151–163
- [9] PUDE, R., 2005: Bedeutung morphologischer, chemischer und physikalischer Parameter sowie ihrer Interaktionen zur Beurteilung der Baustoffeignung unterschiedlicher Miscanthus-Herkünfte. Beiträge zu Agrarwissenschaften Bd. 30. Verl. Wehle, Bad Neuenahr
- [10] (<http://www.miscanthus.lu>)
- [11] <http://www.miscanthus.de/>
- [12] <http://www.planet-wissen.de/pw/Artikel,,,,,,,,,A9E833788B045EF3E0340003BA04DA2C,,,,,,,,,,,,,html>
- [13] <http://www.wupperinst.org/FaktorVier/praxisbeispiele/miscanthus.html>
- [14] <http://www.miscanthus.at/>

## Rinde

Als **Rinde** (lat. *Cortex*) werden bei der Sprossachse und der Wurzel von Gefäßpflanzen (Tracheophyta) alle Gewebe außerhalb des Zentralzylinders bezeichnet. Wenn der Begriff Rinde im Alltag verwendet wird, ist meist jedoch nur ein Teil der Rinde von Gehölzen gemeint, nämlich das Abschlussgewebe, das spezifischer Periderm oder Borke genannt wird.

### Aufbau

Bei Pflanzen ohne sekundärem Dickenwachstum oder vor dessen Einsetzen umfasst die Rinde das Grundgewebe zwischen der Epidermis und dem Zentralzylinder der Wurzel oder dem Kambiumring der Sprossachse. Die Rinde ist meist reich an Interzellularen und dient oft der Speicherung. Häufig befinden sich in der Rinde auch Festigungsgewebe wie Sklerenchym- und Kollenchymstränge.

Bei Pflanzen, die ein Sekundäres Dickenwachstum durchmachen, wird der vom Kambium nach außen abgegebene Bast (sekundäres Phloem) zur (sekundären) Rinde gezählt: dieser besteht aus den Siebröhren mit Geleitzellen, Bastfasern, und Sklereiden. Ein Teil dieser Rinde bildet das Sekundäre Abschlussgewebe, das Periderm. Umgangssprachlich wird dieses Periderm mit dem Begriff Rinde gleichgesetzt.

Pflanzen mit sehr starkem sekundärem Dickenwachstum, viele Bäume und Sträucher, bilden ein tertiäres Abschlussgewebe, die Borke, die im allgemeinen Sprachgebrauch auch als Rinde bezeichnet wird.



Außenansicht der Rinde der Gemeinen Robinie (sichtbar ist die Borke als Abschlussgewebe der Rinde)

## Aufkommen

Rinde fällt in allen Betrieben an, die Holzstämme entrinden. Im Rahmen der Holznutzung fallen in Deutschland jährlich zirka 4 Mio. m<sup>3</sup> Baumrinde an. Davon können 1 – 1,5 Mio. m<sup>3</sup> als technisch verfügbar angesehen werden. Weltweit werden pro Jahr etwa 140 -170 Mio. m<sup>3</sup> Rinde veranschlagt (bei 10% Rindenanteil an der Holznutzung).<sup>[1]</sup>

## Nutzeigenschaften und Verwendung

Getrocknete Rinden haben gute Dämmeigenschaften und einen im Vergleich zu Holz erhöhten Brandwiderstand. Durch ihren Gehalt an Gerbsäuren sind sie relativ resistent gegenüber Mikroorganismen.<sup>[2]</sup>

Vor allem die äußeren Bereiche der Rinden finden vielfache Nutzung: Ihr Reichtum an Gerbsäure macht sie zu wichtigen Gerbmaterien. Zur Gewinnung der *Gerbrinden* werden die betreffenden Gehölze (Eichen und Akazien) in Lohwäldern gezogen. Man lässt die Schösslinge nur das Alter erreichen, in welchem sie die beste Rinde liefern. Viele andere Rinden und Rindenteile, so die Chinarinde oder der Zimt, werden arzneilich (siehe Heilpflanze) oder als Gewürz benutzt.

Die Korkeiche und der asiatische Amur-Korkbaum liefern den Kork, aus dem vor allem Stopfen und Korken hergestellt werden. Die Flaschenkorkproduktion macht etwa 70 % der Wertschöpfung beim Korkanbau aus. Außerdem wird Kork zur Herstellung von Fußbodenbelägen und Dämmmaterialien und eine Reihe weiterer Produkte genutzt.

Rinde wird vor allem zur Energieerzeugung verbrannt sowie als *Mulchrinde* (Rindenmulch) verwendet, daneben wird sie auch zu *Rindenkompost* als Torfersatz verarbeitet. Mulchrinde und Rindenkompost werden durch Zerkleinerung, Siebung und gegebenenfalls Kompostierung von Baumrinde erzeugt. Sie werden lose oder in Säcken an den Endverbraucher geliefert. Rinde kann auch in Energiepellets eingemischt werden, vermindert aber deren Qualität. Wie Kork kann Rinde verschiedener Baumarten auch für verschiedene stoffliche Anwendungen genutzt werden. Entsprechende Ansätze wie Dämmplatten, Schüttdämmstoffe oder dekorative Werkstoffe befinden sich derzeit noch in der Entwicklung.<sup>[2]</sup>

## Literatur

- W. Braune, A. Leman, H. Taubert: *Pflanzenanatomisches Praktikum I. Zur Einführung in die Anatomie der Vegetationsorgane der Samenpflanzen*. 6. Auflage, Gustav Fischer, Jena 1991. ISBN 3-334-60352-0
- Schück, Schuck, Stimm: *Lexikon der Baum- und Straucharten*. Nikol, Hamburg 2002. ISBN 3-933203-53-8
- P.H. Raven, R.F. Evert, S.E. Eichhorn: *Biologie der Pflanzen*. 3. Auflage, R. Langenfeld-Heyser (Übers.), Walter de Gruyter, Berlin, New York, 2000. ISBN 3-11-015462-5

## Weblinks

- Baumbestimmung anhand Fotos der Baumrinde <sup>[3]</sup>

## Referenzen

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO-yearbook of forest products, FAO-Statistik für 1999, 2000.

[2] Christian Warnecke, 2008: Stoffliche Nutzung von Baumrinde. Vdm Verlag Dr. Müller, S.1-2. ISBN 3639002377

[3] <http://www.baumkunde.de/baumbestimmung/laubhoelzer/bestimmung-rinde.php>

# Rizinusöl

Rizinusöl	
	
Rohstoffpflanze(n)	Samen des Wunderbaums ( <i>Ricinus communis</i> )
Farbe	farblos bis sehr hellgelb
Inhaltsstoffe	
Ölsäure	3,6-9 % <sup>[1]</sup>
Linolsäure	3-5%
Linolensäure	0,4 %
Weitere Fettsäuren	Rizinolsäure 77-83%, Palmitinsäure 0-1,6 %, Stearinsäure 1,5-3%, Vaccensäure, Arachinsäure, Eicosensäure unter 1%
Eigenschaften	
Dichte	0,922-0,938
Flammpunkt	229 °C
Iodzahl	140-150
Herstellung & Verbrauch	
Verbrauch weltweit	600.000 t
Verwendung	Technik, Pharmazie, Kosmetik, Oleochemie, Schmierstoffe, Farben,

Das **Rizinusöl**, wissenschaftlich auch Ricinusöl (CAS-Nr. 08001-79-4), ist ein Pflanzenöl, das aus den Samen des tropischen Wunderbaums (*Ricinus communis*), einem Wolfsmilchgewächs, gewonnen wird. Es ist ein Triglycerid und wird in der Pharmazie auch „Oleum Ricini s. Castoris“, "Oleum Ricini virginale" und „Kastoröl“, im englischen Sprachraum *castor oil*, aber auch *ricinus oil* oder *oil of Palma Christi* genannt.

## Eigenschaften

Rizinusöl ist farblos bis leicht gelblich, durchsichtig, dickflüssig, brennbar, von schwachem Geruch, schmeckt mild, aber unangenehm und wirkt stark abführend (siehe auch unter: Pflanzliche Abführmittel). Der Geruch ist schwach, aber charakteristisch. Das Öl ist mit einem spezifischem Gewicht von 0,922 bis 0,938 g·cm<sup>-3</sup> eines der Öle mit der höchsten Dichte. Der Erstarrungsbereich liegt zwischen -13 und -20 °C, der Schmelzpunkt wird mit -5 °C angegeben. Es lässt sich nicht destillieren, da es sich bei Temperaturen über 250 °C zersetzt. An der Luft verdickt es, härtet aber nicht in dünnen Filmen aus, so dass es

zu den nicht-trocknenden Ölen zählt. Rizinusöl ist aufgrund einzigartig hohen Gehaltes an Hydroxyfettsäuren deutlich polar und unterscheidet sich darin von anderen Ölen mit einer guten Löslichkeit in Ethanol, aber nur geringer Mischbarkeit mit aliphatischen Kohlenwasserstoffen. Die Verseifungszahl liegt bei 186–203, die Hydroxylzahl bei 160–168, die Iodzahl zwischen 140 und 150. Rizinusöl ist etwa sechs bis acht Monate haltbar. Für den internationalen Handel bestehen vier verschiedene Qualitätsstandards, die von der *International Castor Oil Association* (ICOA) festgelegt wurden.



Samen des Wunderbaums, aus dem das Öl gewonnen wird.

## Bestandteile

Das Rizinusöl besteht zu 80–85 % aus dem Triglycerid der Ricinolsäure, auch Triricinolein genannt, daneben aus weiteren Glyceriden verschiedener C<sub>18</sub>-Fettsäuren sowie mehreren flüchtigen Verbindungen. Die Angaben zur Zusammensetzung variieren abhängig von der Herkunft und Literatur. Die Zusammensetzung der Fettsäuren liegt bei ca. 77-83 % Ricinolsäure, 3-5 % Linolsäure, 4-9 % Ölsäure, 1-2 % Palmitinsäure, 1-3 % Stearinsäure sowie geringen Mengen an Vaccensäure, Alpha-Linolensäure, Arachinsäure und Eicosensäure. Der Anteil an freien Fettsäuren beträgt zwischen 0,75 und 3,0 %, der Wassergehalt 0,25 bis 0,5 % und übrige Verunreinigungen liegen je nach Qualität zwischen 0,01 und 0,2 %.<sup>[1]</sup>

## Geschichtliches

Bekannt war das Öl der ursprünglich wahrscheinlich in den Tropen Ethiopiens beheimateten Pflanze bereits im Altertum. So heißt es im Buch Jona (4,6) des Alten Testaments, dass Gott über Nacht eine Rizinusstaude wachsen ließ. Am nächsten Morgen "schickte Gott einen Wurm, der die Rizinusstaude annagte, sodass sie verdorrte." Im Ägypten des Altertums diente Rizinusöl als bekanntes und vielseitiges Heilmittel sowie als Brennstoff für Öllampen.<sup>[2]</sup>

Auch in Griechenland wurde die Pflanze unter dem Namen *Kiki* kultiviert; Theophrast nannte sie *Croton*, Dioskorides wandte die Samen als Abführmittel und das Öl äußerlich an. Auch Albertus Magnus kultivierte den Wunderbaum.<sup>[3]</sup> Später kam die Pflanze in medizinischer Hinsicht in Mitteleuropa in Vergessenheit. Erst in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts wurde das Öl von Westindien aus wieder als Abführmittel empfohlen.

In den 1960er Jahren lebte die Rizinusölproduktion in den USA durch Subventionen der Regierung wieder auf, um unabhängiger von den Rohstoffimporten zu sein. Seit 1990 hat der Anbau in den USA keine Bedeutung mehr, obwohl es Bemühungen gegeben hat, Zwergformen für den Anbau in den trockenen Hochebenen von Texas zu züchten. Mitte der 1980er Jahre wurde in Costa Rica ein Zuchtprogramm zur Verbesserung der maschinellen Erntefähigkeit begonnen, welches das frühzeitige Öffnen der Samenkapseln und das Herunterfallen der Samen auf die Erde verhindert. Der Anbau dieser Sorte wurde in Europa erstmalig 1990 in Frankreich praktiziert. Eine Hybride-Sorte, genannt H-22, wurde vom israelischen Weizmann-Institut gezüchtet und ist heute in den Ländern weit verbreitet, in denen per Hand geerntet wird.

## Gewinnung/Herstellung

### Anbau

Der Wunderbaum ist eine Pflanze der tropischen Sommerregengebiete. Abhängig von Sorte, Bodenverhältnissen und Klima werden zwischen 450 und 2000 kg Öl je Hektar gewonnen. Die Samen enthalten 40 bis 50 % Öl, 14-22 % Protein, 15-18 % Rohfaser und 2-3% Asche. Zudem sind zwei giftige Alkaloide vertreten, nämlich ca. 3% des hitzeempfindlichen und polaren Ricins und 0,03-0,15 % des Pyridin-Alkaloids Ricinin enthalten. Des Weiteren enthält der Samen das Allergen CB-1A. 250 bis 1800 Samen ergeben 1 kg.<sup>[4]</sup>

### Pressung

Hochwertige Qualitäten werden durch Kaltpressung der geschälten Samen gewonnen. Für die ertragreichere Heißpressung werden die Samen vor der Pressung erhitzt und dann das Öl in Schneckenpressen kontinuierlich vom Presskuchen getrennt. Der Presskuchen enthält noch über 10 % Öl, welches anschließend mit Hexan, Heptan oder Gemischen aus beiden extrahiert werden kann. Nach Entfernen der Lösemittelreste enthält der Extraktionsrückstand noch ca. 1 % Öl.

### Raffination

Zur Entfernung unerwünschter Stoffe wird das Öl raffiniert, das heißt entschleimt, entsäuert und mit Wasserdampf behandelt. Raffiniertes Rizinusöl ist frei von Ricin. Beim sogenannten Degumming werden durch Zusatz von 3–5 % Wasser, Erhitzen auf 70–80 °C und Abtrennung des Wassers mittels Zentrifugation Proteinreste aus dem Öl entfernt. Freier Fettsäuren werden durch Behandlung mit alkalischer Lösung entfernt, die Tendenz von Rizinusöl zur Emulsionsbildung erfordert dabei spezielle Verfahrensweisen. Der Aufhellung und Entfärbung des Öl dienen Zusätze von wenigen Prozenten oberflächenaktiver Tonmineralien oder von Aktivkohle für dunklere Qualitäten und die Behandlung bei Temperaturen bis 80 °C. Zum Entfernen des größten Anteils an flüchtigen Verbindungen und Geruchsstoffen erhitzt man das Öl in dünnen Filmen im Vakuum (Dünnschichtverdampfer), kurzfristig auch bis 230 °C.

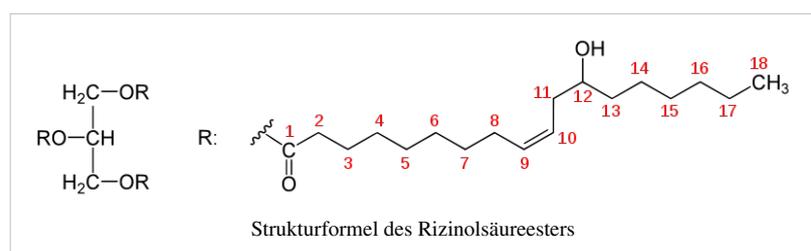
### Presskuchen

Die festen Rückstände aus der Ölpressung und -extraktion werden in der Regel zu Stickstoff-Dünger (Rizinusschrot) verarbeitet. Im Presskuchen sind giftige Alkaloide und Allergene aus dem Samen enthalten, daher eignet sich der unbehandelte Pressrückstand trotz hoher Eiweißgehalte nicht als Viehfutter. Seit den 1960er Jahren sind Verfahren zur Beseitigung der Giftstoffe und Allergene aus dem Presskuchen verfügbar. In Thailand gibt es heute größere Produktionsanlagen, die futtermitteltaugliches Material herstellen.

## Verwendung

Bedeutung hat Rizinusöl im wesentlichen als Rohstoff für Schmierstoffe, Lacke, Polyamid-1, im Bereich Kosmetik und in der Pharmazie. In den meisten Fällen wird Rizinusöl nicht direkt sondern nach chemischen Umsetzungen verarbeitet.

Die besondere chemische Konstitution des Triricinoleins (Tri-Ricinolsäure-Glycerinester) als Hauptbestandteil des Öls erlaubt die Herstellung einer Vielfalt



unterschiedlichster Verbindungen durch zahlreiche chemische Reaktionsmöglichkeiten. Umsetzungen setzen an unterschiedlichen Stellen des Ricinolsäureesters (Seitenkette der Tricinoleins. So kann die Estergruppe am ersten Kohlenstoffmolekül ( $C_1$ ) durch Verseifung oder Salzbildung reagieren. An der cis-Doppelbindung zwischen  $C_9$  und  $C_{10}$  wird mittels Oxidation, Polymerisation, Addition, Epoxidierung, Hydrierung angesetzt. Weitere Substanzen entstehen durch Dehydratisierung, Spaltung, Veresterung, Etherbildung oder Substitution der Hydroxygruppe an  $C_{12}$ .

## Unverändertes Rizinusöl

### Medizin und Kosmetik

Medizinisch verwendet wird raffiniertes Rizinusöl (lat. Ricini Oleum) als Heilmittel zur inneren und äußeren Anwendung. Eine der häufigsten medizinischen Verwendungen ist die als Hilfsstoff für pharmazeutische Formulierungen wie Sexualhormone oder für Augentropfen. Für zahlreiche Arzneimittel dient es wegen seiner relativ hohen Polarität als Lösungsmittel.

Innerlich angewendet wirkt Rizinusöl als Laxans (abführend,) da es enteral nicht resorbiert wird. Für die Wirkung wird die freie Ricinolsäure verantwortlich gemacht, die durch die Gallensalze und die fettspaltenden Enzyme der Bauchspeicheldrüse im Dünndarm entsteht. Rizinusöl wird außerdem in der Geburtshilfe als so genannter Wehencocktail verabreicht, um Geburtswehen einzuleiten. Der Wirkmechanismus ist dabei nicht bekannt<sup>[5]</sup> Übelkeit und Durchfall sind häufige Nebenwirkungen dieser Anwendung, deren Wirksamkeit als nur ansatzweise erforscht gilt<sup>[6] [7] [8] [9]</sup>.

Äußerlich wird Rizinusöl vor allem bei der Behandlung von Schuppen, Narben, Altersflecken und Hämorrhoiden eingesetzt, da es gut in Zwischenzellräume z.B. von Hornhaut eindringt. Gegen Wasser und wasserlösliche Schadstoffe bildet das Öl einen mechanischen Schutzfilm und kann so zur Heilung von Schründen und Fissuren beitragen.

In der kosmetischen Industrie wird Rizinusöl in der Kosmetikindustrie zur Herstellung von Wimperntuschen, Haarbrillantinen, Haarpflegemitteln und Badeölen genutzt.

### Technik

Aufgrund des Gehaltes von ca. 5 % Hydroxygruppen aus der Ricinolsäure lässt sich Rizinusöl als Rohstoff für Bindemittel in lufttrocknenden Lacken und Dispersionsfarben einsetzen, daneben wird es auch in Reaktivmassen wie Polyurethan-Beschichtungen für diverse industrielle Einsätze im Korrosionsschutz und Baubereich verarbeitet.

## Dehydratisiertes Rizinusöl

Bei der Herstellung von Dehydriertem oder Dehydratisiertem Rizinusöl wird den Fettsäuren eine weitere Doppelbindung hinzugefügt. Hierfür wird entweder Wasser Wasser aus dem Molekül abgespalten, üblicherweise durch schwefelsaure Katalyse, aber auch durch Salze der Schwefelsäure und Metalloxide. Die Doppelbindung entsteht in der Regel konjugiert zwischen dem 11. und 12. C-Atom des Fettsäuremoleküls.

Der erhöhte Gehalt an Doppelbindungen überführt Rizinusöl einem nicht-trocknenden in ein oxidativ trocknendes Öl. Die Esterverbindungen zum Glycerin bleiben dabei erhalten. Je nach Reaktionsbedingungen und Dauer werden verschiedene Qualitäten erzeugt, die sich hauptsächlich in der Viskosität unterscheiden. Diese wird hervorgerufen durch die Polymerisation, die bereits während der Reaktion stattfindet. Das Produkt ist dem Leinöl ähnlich und kann als qualitativ hochwertiges Bindemittel für verschiedene Lacke und Farben, Firnis, Linoleum und Druckfarben eingesetzt werden.

Durch alkalische Verseifung von Dehydriertem Rizinusöl lassen sich die zweifach ungesättigten Fettsäuren nach Neutralisation und Destillation im Vakuum als Rohstoffe für eine weitere Verarbeitung gewinnen.

## Umgeestertes Rizinusöl als Treibstoff (Biodiesel)

Zur Herstellung des Biokraftstoffs Biodiesel kann Rizinusöl in Veresterungsanlagen bearbeitet werden. Dabei wird das Glycerin der Triglyceride abgespalten und durch Methylreste an den Fettsäuren ersetzt. Rizinusöl wird zur Biodieselherstellung unter anderem von Petrobras in Brasilien genutzt. Angesichts des im Vergleich zu Sojaöl, Palmöl und Rapsöl hohen Weltmarktpreises für Rizinusöl und seiner nur mäßigen Eignung zur Biodieselherstellung (Viskosität, Verschmutzung, Säurezahl) ist die Präsenz dieses Öls im Biokraftstoffmarkt auch politischer Förderung zu verdanken. Rizinusöl wird in der Regel von Kleinbauern angebaut wird, mit seiner Verwendung soll daher die soziale Nachhaltigkeit der Biodieselproduktion gestärkt werden.<sup>[10]</sup>

## Sulfoniertes Rizinusöl (Türkischrotöl)

Eine der ersten Modifikationen von Rizinusöl war die Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure oder mit Schwefeltrioxid ( $\text{SO}_3$ ). Es bilden sich dabei sowohl Schwefelsäureester an der Hydroxygruppe als auch Additionsprodukte an der Doppelbindung und Sulfonsäuregruppen ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ). Das Produkt wird Türkischrotöl (engl. *turkey-red oil*) genannt und enthält 8-8,5 %  $\text{SO}_3$ , damit ist rechnerisch eine schwefelsaure Gruppe pro Triglycerid eingebunden. In der Textilindustrie wird Türkischrotöl wegen seiner Benetzungseigenschaften und Emulgierbarkeit als Färbehilfsmittel (Beize) eingesetzt.

## Alkalische Spaltung für Chemierohstoffe

Durch Behandlung mit Natrium- oder Kaliumhydroxid bei hohen Temperaturen in Gegenwart von längerkettigen Alkoholen wie 1- oder 2-Octanol werden je nach Reaktionsbedingungen Methylhexylketon, 10-Hydroxydecansäure, Caprylalkohol (Octanol) und Sebacinsäure als wichtige Chemierohstoffe erhalten.

## Pyrolytische Zersetzung zu Heptaldehyd und Udecensäure

Die thermische Spaltung (Pyrolyse) von Rizinusöl bei 350-460 °C ergibt Heptaldehyd und Undecensäure als wichtigste Produkte. Heptaldehyd findet Verwendung in der Herstellung von Geschmacks- und Geruchsstoffen, Undecensäure ( $\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{COOH}$ ) - als Metallsalz mit Zink oder Kupfer - wird in der Medizin für die äußere Behandlung von Pilzinfektionen und gegen Hautparasiten eingesetzt.

## Polyamid 11

Aus dem Methylester der Rizinolsäure (Metylicinolat), hergestellt als der Umsetzung von Methanol mit Rizinusöl, lässt sich bei 450-500 °C durch thermische Zersetzung Methyl-10-undecensäureester und Heptaldehyd gewinnen. Der Undecensäureester wird über mehrere Stufen umgesetzt zur 11-Amino-n-undecansäure (auch Rilsan<sup>®</sup>-Monomer genannt), der Rohstoff zur Herstellung von Polyamid-11 (Nylon<sup>®</sup>-11). Dies ist ein wichtiges technisches Polyamid als Hochleistungskunststoff für Fasern und diverse technische Anwendungen in Beschichtungen, Kabeln und Automobil. Die Herstellung von Polyamid-11 ist eine auch mengenmäßig bedeutende Verwendung von Rizinusöl.

## Hydriertes Rizinusöl

Bei der Hydrierung wird an die Doppelbindung der Ricinolsäure Wasserstoff unter Verwendung von Raney-Nickel addiert. Die Hydroxygruppe bleibt erhalten und es entsteht ein Fett mit Schmelzpunkt von 86 °C, das Triglycerid der 12-Hydroxystearinsäure. Letztere wird zur Herstellung von Mehrzweckschmierstoff und für den Automobilbereich, aber auch für Seifen und Kosmetikprodukte verwendet. Teilweise hydriertes Rizinusöl hat einen niedrigeren Erweichungsbereich und wird ebenfalls als Schmierstoff und als Wachs eingesetzt. Etwa 10 % der Weltproduktion von Rizinusöl wird zur Herstellung von Schmierstoffen umgesetzt.

## Alkoxylierung für oberflächenaktive Substanzen

Die Bildung von Ethern an der Hydroxygruppe der Ricinolsäure durch Umsetzung mit Ethylenoxid oder Propylenoxid führt zu einer Reihe von oberflächenaktiven Substanzen, die in Technik und Kosmetik Verwendung finden: Detergenzien, Gleitmittel, Hydraulikflüssigkeiten, Antistatika, Textilfinishe, Emulgierhilfsmittel und Ölzusätze.

## Oxidiertes Rizinusöl

Die Oxidation durch Luft oder reinen Sauerstoff in Gegenwart von Übergangsmetall-Katalysatoren führt durch Polymerisation zu höheren molaren Massen und Viskositäten. Oxidiertes Rizinusöl ist nicht migrierend und wird daher als Weichmacher für diverse Polymere wie Cellulosederivate, Polyamide, Natur- und Synthetikgummi zum Einsatz gebracht. Außerdem wird es verwendet als Pigmentbenetzungsharz, für Druckfarben und als Ölzusatz.

## Polyester aus Rizinusöl

Die Monomeren Citronensäure und Rizinusöl reagieren unter Polykondensation miteinander. Dabei verbinden sich die Carboxygruppen der Citronensäure mit den Hydroxygruppen des Rizinusöls zu einem Ester, weshalb man das Produkt auch einen *Polyester* nennt. Gleichzeitig wird durch die Esterbildung Wasser abgespalten. Man erhält ein bräunliches, klebriges, wasserunlösliches Harz.

## Weltmarkt

Rizinusöl wird als Rohstoff für verschiedene Anwendungen und chemische Umwandlungen in großen Mengen gehandelt. Indien, Brasilien und China erzeugen über 80 % der Weltproduktion. Die USA produziert seit 1990 praktisch kein Rizinusöl mehr. Der weltweite jährliche Verbrauch an Rizinusöl beträgt ca. 0,6 Mio. Tonnen, das entspricht etwa 0,4% des gesamten Pflanzenölverbrauchs, in Deutschland wurden 2008 38.000 t importiert und verbraucht<sup>[11]</sup>.

## Literatur

- Frank C. Naughton: *Castor Oil*, in: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons, Inc. 2001
- *Römpp Lexikon der Chemie*, CD-ROM version 2.0, Georg Thieme Verlag 1999
- S. Krist, G. Buchbauer und C. Klausberger, 2008: Lexikon der pflanzlichen Fette und Öle. Springer Verlag, Wien. S. 391-396. ISBN 978-3-211-75606-5
- Zobelein, H., 2001: Dictionary of Renewable Resources. 2. Auflage, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, S. 35

## Weblinks

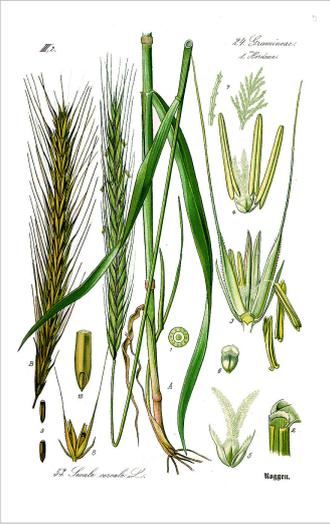
- Technische Angaben und Handelsvolumen, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. <sup>[12]</sup> (PDF-Datei; 102 kB)
- International Castor Oil Association (engl.) <sup>[13]</sup>

## Referenzen

- [1] Krist et. al.
- [2] Ines Fehrmann und Anne Mahlmann, 2006: Rizinus. (<http://www.agrar.uni-kassel.de/ink/gwh/hausgaerten/afrika/portrait/rizinus/textrizi.htm>) Abgerufen am 8.2.2010
- [3] *Ricinus communis*. Wunderbaum. Euphorbiaceae. (<http://www.henriettesherbal.com/eclectic/madaus/ricinus.html>). [www.henriettesherbal.com](http://www.henriettesherbal.com). Abgerufen am 18. August 2009.
- [4] Zobelein, H., 2001: Dictionary of Renewable Resources. 2. Auflage, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, S. 35

- [5] Tenore JL: *Methods for cervical ripening and induction of labor*. (<http://www.aafp.org/afp/20030515/2123.html>) Am Fam Physician. 2003 May 15;67(10):2123-8. Review. PMID 12776961
- [6] G. Briggs, R. Freeman, S. Yaffe: *Drugs in Pregnancy and Lactation: A Reference Guide to Fetal and Neonatal Risk*. p. 271 (<http://books.google.com/books?id=YOEV2w3XTxsC&pg=PA271#v=onepage&q=&f=false>) Lippincott Williams&Wilkins; 8th revised edition. ISBN 978-0781778763
- [7] Garry D, Figueroa R, Guillaume J, Cucco V: *Use of castor oil in pregnancies at term*. Altern Ther Health Med. 2000 Jan;6(1):77-9. PMID 10631825
- [8] Azhari S, Pirdadeh S, Lotfalizadeh M, Shakeri MT: *Evaluation of the effect of castor oil on initiating labor in term pregnancy*. Saudi Med J. 2006 Jul;27(7):1011-4. PMID 16830021
- [9] Kelly AJ, Kavanagh J, Thomas J: *Castor oil, bath and/or enema for cervical priming and induction of labour*. Cochrane Database Syst Rev. 2001;(2):CD003099. Review. PMID 11406076
- [10] Forschungs- und Dokumentationszentrum Chile-Lateinamerika: Agroenergiepflanzen-Glossar – Rizinus. (<http://fdcl-berlin.de/publikationen/fdcl-veroeffentlichungen/agroenergie-glossar/rizinus-agroenergie-glossar-fdcl/>) Abgerufen am 8.2.2010
- [11] Verband der Ölsaaten Verarbeitenden Industrie in Deutschland OVID, 2009: Globaler Verbrauch Pflanzenöle 2008. (<http://www.ovid-verband.de/unsere-branche/daten-und-fakten/>) Abgerufen am 8.2.2010
- [12] [http://www.atb-potsdam.de/hauptseite-deutsch/Institut/Abteilungen/Abt3/Forschung/Bioenergie/pdf%20files/14\\_Rizinus%C3%B6l.pdf](http://www.atb-potsdam.de/hauptseite-deutsch/Institut/Abteilungen/Abt3/Forschung/Bioenergie/pdf%20files/14_Rizinus%C3%B6l.pdf)
- [13] <http://www.icoa.org/menu.htm>
-

# Roggen

<b>Roggen</b>	
	
Roggen ( <i>Secale cereale</i> )	
Systematik	
	Commeliniden
<i>Ordnung:</i>	Süßgrasartige (Poales)
<i>Familie:</i>	Süßgräser (Poaceae)
<i>Unterfamilie:</i>	Pooideae
<i>Gattung:</i>	Roggen ( <i>Secale</i> )
<i>Art:</i>	Roggen
Wissenschaftlicher Name	
<i>Secale cereale</i>	
L.	

**Roggen** (*Secale cereale*), ist eine in den gemäßigten Breiten verbreitete Getreideart aus der Familie der Süßgräser (Poaceae). Er liefert auch auf leichteren und kühleren Standorten noch gute Erträge. In Europa wird häufig (Winterroggen) angebaut, während Sommerroggen eine untergeordnete Bedeutung hat. Das Korn des Roggens wird für Nahrungs-, Futter-, und Genussmittel oder auch als Nachwachsender Rohstoff genutzt. Teilweise wird auch die noch grüne Pflanze (Grünroggen) oder das bei der Getreideernte zurückbleibende Stroh genutzt.

## Pflanzenbeschreibung

(siehe Hauptartikel Süßgräser)

Der Roggen hat 65–200 cm lange Halme und eine 5–20 cm lange, vierkantige, zur Blütezeit leicht überhängende Ähre aus einzelnen, meist zweiblütigen Ährchen mit schmalen Hüllspelzen und langbegrannter Deckspelze. <sup>[1]</sup>

## Geschichte

In den 1970ern wurden Roggenkörner und -ährenspindeln an zwei Stellen in steinzeitlichen Schichten (ca. 6600 v. Chr.) in Nordsyrien (Tell Abu Hureyra) nachgewiesen. <sup>[2]</sup> Ansonsten fehlen Hinweise auf die Nutzung von Roggen aber fast völlig, bis er in archäologischen Funden in Europa, die aus der Zeit von ca. 1800-1500 v. Chr. stammen, wieder erscheint. Möglicherweise wurde er als Verunreinigung im Weizen-Saatgut nach Europa eingeschleppt und erst hier gezielt in Kultur genommen. <sup>[3]</sup> In Deutschland tauchen Roggenkörner in archäologischen Ausgrabungen erst relativ spät auf, nämlich 3000–3500 Jahre nach dem Beginn der Ackerbaukultur (Bandkeramik). Sie wurden auf das 6.– 5. Jahrhundert v. Chr. (Hallstattzeit) datiert. <sup>[4]</sup> Die Römer kannten Roggen, Plinius der Ältere bezeichnet ihn aber in seiner um 79 n. Chr. verfassten *Naturalis historia* (Buch 18, Stichwort 40) als minderwertig und magenschädlich, nur geeignet, um in Notzeiten den Hungertod abzuwehren.

Seit den 1980er Jahren werden neben den klassischen Populationssorten auch Hybridsorten gezüchtet, die eine bessere Krankheitsresistenz, höhere Erträge (Heterosis-Effekt) und eine geringere Auswuchsneigung aufweisen. Diese Hybridsorten sind allerdings wegen der geringeren Pollenausschüttung anfälliger für Mutterkorn. <sup>[5]</sup>

Eine moderne Kreuzung aus Weizen und Roggen, die Triticale, vereint mehrere positive Eigenschaften beider Arten.



Roggenfeld



Roggenähre

## Anbau

Es gibt Sommer- und Winterroggen, wobei in Mitteleuropa fast ausschließlich Winterroggen angebaut wird. Er kann die Winterfeuchtigkeit besser nutzen und übersteht eine Frühjahrstrockenheit leichter und ist deshalb im Kornertrag überlegen. Die Sommerform wird nur in Lagen mit Spätfrostgefahr und auf exponierten Berglagen angebaut. Winterroggen benötigt zur Überwindung der Schosshemmung, wie alle Wintergetreidearten, eine Vernalisation. Um von der vegetativen Wachstumsphase in die generative Phase zu gelangen, ist ein Kältereiz (Dauer und Temperatur sind relevant) notwendig. Nach der Abreife auf dem Halm hat der Roggen nur eine sehr kurze Keimruhe. Bei einer regnerischen Erntezeit besteht die Gefahr, dass die Körner schon in der Ähre auskeimen und die Ernte nur noch als Futtergetreide verwendet werden kann.

Roggen ist besser an kühle und trockene Klimate angepasst als der ertragsstarke Weizen, und ist deshalb das Getreide der Regionen mit verbreiteten Sandböden. Roggen ist ein Lichtkeimer und stellt deshalb besondere Anforderungen an Saat, Saatbett und Säzeitpunkt. Männliche Pollen und weibliche Blüte werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten aktiv, daher ist Roggen in aller Regel, anders als die selbstbefruchtenden Getreidearten Weizen und Gerste, ein Fremdbefruchter. Gezüchtet werden Hybridsorten und Populationssorten.<sup>[6]</sup>

## Bedeutung

### Deutschland

In Deutschland wurde im Jahr 2009 voraussichtlich auf 748.000 ha Roggen angebaut, was eine Steigerung gegenüber 738.000 ha im Jahr 2008 um 1,3 % und gegenüber 671.000 ha im Jahr 2007 um 11,4 % bedeutet. Dies liegt aber weit unter dem früheren Niveau von über 1 Mio. ha im Jahr 1990.<sup>[7]</sup> In Deutschland wurden im Jahr 2008/09 rund 3,7 Mio. t Roggen geerntet.<sup>[8]</sup>

### Die größten Roggenproduzenten

*(siehe auch Die größten Getreideproduzenten, Weizenproduzenten, Gersteproduzenten, Reisproduzenten, Maisproduzenten und Haferproduzenten)*

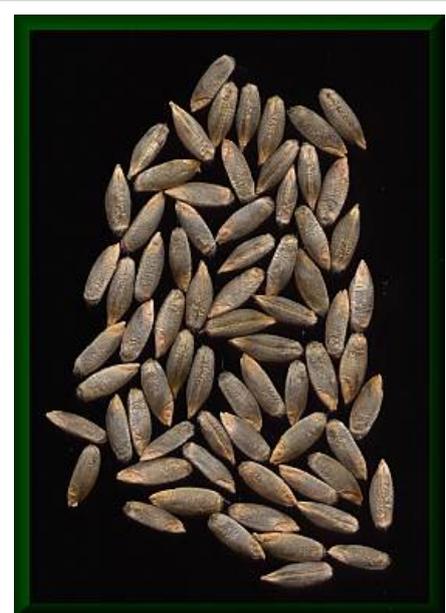
Im Jahr 2008 wurden laut Food and Agriculture Organization (FAO) weltweit 17,75 Mio. t Roggen geerntet. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die 15 größten Produzenten von Roggen weltweit, die 2008 zusammen 93,7 % der Gesamtmenge ernteten:



Gekeimte Roggenkörner



Roggen mit Mutterkorn verunreinigt



Roggenkörner



Winterroggengarben

### Die größten Roggenproduzenten weltweit (2008) <sup>[9]</sup>

Rang	Land	Menge in t
1	 Russland	4.505.060
2	 Deutschland	3.744.200
3	 Polen	3.448.550
4	 Weißrussland	1.492.350
5	 Ukraine	1.050.800
6	 China	350.000*
7	 Kanada	316.200
8	 Spanien	279.800
9	 Türkei	246.521
10	 Österreich	218.511
11	 Tschechien	209.787
12	 Litauen	204.900
13	 Vereinigte Staaten	202.680
14	 Lettland	194.900
15	 Schweden	168.800
	Welt	17.750.767

\*) Schätzwert FAO

## Nutzung

Von der in Deutschland im Jahr 2008/09 geernteten Menge von 3,7 Mio. t wurden schätzungsweise 30% als Hoffutter verwendet, 27% als Mischfutter, 24% zur Brotherstellung, 14% für Bioenergie und 5% für den Export und Sonstiges.<sup>[8]</sup>

## Nahrungsmittel

Roggen wird besonders in Mittel- und Osteuropa als Brotgetreide für Roggenbrot oder Mischbrote verwendet. Darüber hinaus ist diese Getreideart aber kaum verbreitet, so dass ihr Anteil an der Weltgetreideerzeugung bei nur einem Prozent liegt.

## Inhaltsstoffe des Roggens

Die Zusammensetzung von Roggen schwankt naturgemäß, sowohl in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen (Boden, Klima) als auch von der Anbautechnik (Düngung, Pflanzenschutz).

Angaben je 100 g essbarem Anteil:<sup>[10]</sup>

Bestandteile	
Wasser	13,7 g
Eiweiß	8,8 g
Fett	1,7 g
Kohlenhydrate	60,7 g*
Ballaststoffe	13,2 g
Mineralstoffe	1,9 g

Mineralstoffe	
Natrium	4 mg
Kalium	510 mg
Magnesium	90 mg
Calcium	35 mg
Mangan	2,9 mg
Eisen	2,8 mg
Kupfer	0,39 mg
Zink	2,9 mg
Phosphor	335 mg
Selen	0,002 mg

<b>Vitamine</b>	
Thiamin (Vit. B <sub>1</sub> )	360 µg
Riboflavin (Vit. B <sub>2</sub> )	170 µg
Nicotinsäure (Vit. B <sub>3</sub> )	1800 µg
Pantothensäure (Vit. B <sub>5</sub> )	1500 µg
Vitamin B6	235 µg
Folsäure	145 µg
Vitamin E	2000 µg

<b>Aminosäuren</b>	
Tryptophan	110 mg
Threonin	360 mg
Isoleucin	390 mg
Leucin	370 mg
Lysin	400 mg
Methionin	140 mg
Valin	530 mg
Phenylalanin	470 mg
Tyrosin	230 mg
Arginin	490 mg
Histidin	190 mg

(\* Differenzberechnung)

(1 mg = 1000 µg)

Brennwert 1244 kJ, 293 kcal

### **Backeigenschaften**

Die Backeigenschaften des Roggenmehls sind grundsätzlich verschieden zu denen des Weizenmehls. Dies liegt hauptsächlich daran, dass im Roggenteig das Gluten (Klebereiweiß) durch die Anwesenheit von Pentosanen (Schleimstoffe) kein Klebergerüst zur Gashaltung aufbauen kann. Diese Schleimstoffe haben beim Roggen etwa die gleiche Funktion wie der Kleber beim Weizen. Sie sind wichtig für das Wasserbindungs- und Wasserhaltungsvermögen der Mehle während der Teigführung und des Backvorgangs.<sup>[11]</sup> Roggengebäcke zeichnen sich, im Gegensatz zu Weizengebäcken, durch einen dunkleren, festen und aromatischen Teig aus. Ein Roggenbrot besteht hauptsächlich aus verkleisterter Stärke; seine Krume ist dichter und enthält weniger Poren, daher ist es

weniger gelockert als ein Weizenbrot. Oft werden aus Roggenmehl daher Mischbrote und Brote aus Vollkorn hergestellt. Um zu verkaufsfähigen Produkten zu kommen, müssen reine Roggenmehl-Teige auf jeden Fall gesäuert werden, was bedeutet, dass sie einer Sauerteig-Führung unterworfen werden müssen. In feuchten Erntejahren kann Auswuchs wegen der starken Amylase-Aktivität unter Umständen Probleme bei der Roggenbrotherstellung mit sich bringen. Reines Roggenbrot ist beispielsweise die westfälische Brotsorte Pumpernickel (Schwarzbrot), die aus Roggenschrot hergestellt und mehr gedämpft als gebacken wird. Im Kanton Wallis ist das Roggenbrot (Walliser Roggenbrot) eine bekannte Spezialität.

### **Nährwert**

Wegen des vergleichsweise hohen Gehalts an der Aminosäure Lysin kann Roggen ein wichtiger Bestandteil einer ausgewogenen Ernährung sein. Ernährungsphysiologisch und backtechnisch interessant ist Roggen in der menschlichen Ernährung vor allem durch die so genannten Pentosane (vgl. Hemicellulose). Verschiedenen, z. T. widersprüchlichen Untersuchungen zufolge sollen die mit dem Pentosangehalt verlängerte Verweildauer des Nahrungsbreis im Verdauungsapparat eine antikarzinogene Wirkung haben.

Die Pentosane (z. B. Arabinoxylate) stellen auch ein Problem bei der Schweinefütterung dar. Neben ihnen enthält der Roggen weitere, relativ hohe Anteile an solchen „Nicht-Stärke-Polysacchariden (NSP)“, wie Zellulose, Beta-Glucan, Pektine usw.. Die Pentosane quellen und stören den Nahrungstransport. Erst im Dickdarm werden diese „NSP-Substanzen“ durch dort ansässige Mikroben gespalten, was aber nicht mehr zur Energieversorgung des Schweines beiträgt, sondern zu erhöhtem Gasausstoß führt.

Weiterhin sollen phenolische Stoffe (Alkylresorcine) appetitdämpfende und direkt toxische Effekte haben. Sie lösen bei empfindlichen Personen eine Dermatitis (entzündliche Reaktion der Haut) aus. Die Alkylresorcine befinden sich vor allem in den Randschichten von Roggen- und Weizenkörnern, werden aber durch den Backvorgang und die Sauerteigführung fast vollständig abgebaut.

### **Genussmittel**

*(siehe auch Brennen)*

Roggen wird seit langem auch zur Alkoholherstellung verwendet. Beispielsweise werden die besseren Wodka-Sorten aus ihm hergestellt. Der in Norddeutschland häufig getrunkene „Korn“ wird ebenfalls meistens aus Roggen hergestellt. Aus dem Getreide wird dafür zunächst die Maische hergestellt, die nach dem Vergärungsvorgang in Brennereien destilliert (gebrannt) wird. Früher wurde Roggen verbreitet auch zur Bierherstellung verwendet, was dann aber verboten wurde, um den wertvollen Roggen zum Brotbacken aufzusparen. Erst seit Anfang der 1990er Jahre ist in Deutschland wieder kommerziell hergestelltes Roggenbier erhältlich.

### **Futtermittel**

Sowohl das Korn als auch die ganze, grün geerntete Roggenpflanze (Grünroggen) kann frisch oder siliert (Ganzpflanzensilage) als Futtermittel dienen. Grünroggen ist das erste Grünfutter in Rinderhaltungsbetrieben im Frühling. Der Futterwert von Roggenkorn liegt in der Regel zwischen Weizen/Triticale und Gerste. Begrenzend für seine Eignung als Futtermittel ist ein hoher Anteil an schwer verdaulichen Nicht-Stärke-Polysacchariden (siehe hierzu auch den Abschnitt Physiologie). Zudem weist Roggen eine recht niedrige praecaecale Verdaulichkeit der essentiellen Aminosäuren Threonin, Tryptophan, Lysin und Methionin auf. Roggenrationen sollten daher mit Aminosäuren ergänzt werden.<sup>[12]</sup>

## Nachwachsender Rohstoff

Roggenkorn und -pflanze sind nachwachsende Rohstoffe, die in verschiedenen Einsatzgebieten, wie der Herstellung von Bioethanol, Biogas, Dämmstoff und anderen Werkstoffen, sowie anderen Bereichen verwendet werden. Roggen ähnelt in seinen Eigenschaften anderen Getreidearten, so dass oft der geringere Preis für Roggen ein wichtiges Verwendungskriterium ist.

Seit 2004/05 wird Roggen auch als Energieträger angebaut. Im Getreidewirtschaftsjahr 2006/07 wurden in Deutschland ca. 500.000 t zu Bioethanol verarbeitet. Ein weiterer stark boomender Bereich ist die Verwendung als Biogassubstrat. Hauptsächlich wird Roggen hier als ganze Pflanze in siliierter Form (Ganzpflanzensilage (GPS)) eingesetzt. Aber auch als geschrotete Körnern wird er in den Fermentern der Biogasanlagen verwendet. Vorteile sind vor allem der kostengünstige Anbau, die hohen Trockenmasseerträge pro Hektar und die hohe Ertragssicherheit. Die Methanausbeute bei Einsatz von Roggenkörnern als Biogassubstrat liegt, je nach Ertragsniveau, bei 1.400 bis knapp 2.200 m<sup>3</sup> je Hektar.<sup>[13]</sup>

Die stoffliche Nutzung von Roggen ist vielfältig. Vor allem als Rohstoff für den Werkstoff- und Baustoffbereich oder als Grundstoff für diverse Vorprodukte, z. B. der chemischen Industrie, wird er genutzt. Relativ neu ist die Entwicklung einer Dämmstoffschüttung aus Roggen, die auch alle bauaufsichtlichen Vorschriften (bauaufsichtliche Zulassung als Dämmstoff durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBT)), als auch die Anforderungen an einen Naturbaustoff (natureplus-Prüfung) erfüllen. Bislang wird dieser Baustoff jedoch nicht produziert.

## Sonstiges

Winterroggen kann auch als Gründüngung eingesetzt werden.

## Literatur

- Thomas Miedaner: *Roggen - Getreide mit Zukunft* Erstauflage 2007, DLG-Verlag, Frankfurt, ISBN 978-3-7690-0687-2
- Klapp, Ernst: *Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaus*, 5. Auflage, Berlin 1958.
- Raupp, Manfred: *Was der Großvater schon wusste - Gedanken zur Entwicklung der Landwirtschaft in Staffort; verfasst zum Andenken an Gustav W. Raupp (1905-1985)*. Stutensee-Staffort 2005.
- Reiner, Ludwig, et al.: *Winterroggen aktuell*. DLG Verlag, Erscheinungsort 1979, ISBN 3-7690-0346-2.
- Schiemann Elisabeth: *Weizen, Roggen, Gerste. Systematik, Geschichte und Verwendung*. Erscheinungsort 1948.
- Seibel, Wilfried (Hrsg.): *Warenkunde Getreide - Inhaltsstoffe, Analytik, Reinigung, Trocknung, Lagerung, Vermarktung, Verarbeitung*. Agrimedia, 2005, ISBN 3-86037-257-2.

## Weblinks

- *proplanta.de* - Das Informationszentrum für die Landwirtschaft<sup>[14]</sup>, Wissenswertes zum Thema Roggen
- *Rye and Hybrid Rye Breeding*<sup>[15]</sup>, T. Miedaner, State Plant Breeding Institute, Universität Hohenheim, umfassende Informationen zu Roggen und Hybridroggen

## Siehe auch

- Roggenmuhme

## Referenzen

- [1] Eduard Strasburger, Neubearb. von Peter Sitte: *Lehrbuch der Botanik für Hochschulen*. Spektrum, Berlin 2002, 3-8274-10-10-X.
- [2] Gordon Hillmann: *New evidence of Lateglacial cereal cultivation at Abu Hureyra on the Euphrates*, in: *[[The Holocene* (<http://www.ingentaconnect.com/content/arn/hol/2001/00000011/00000004/art00172>)] 11/4 (Juli 2001), S. 383-393.]
- [3] Daniel Zohary and Maria Hopf, *Domestication of plants in the Old World*, third edition (Oxford: University Press, 2000), p. 75

- [4] Udelgard Körber-Grohne: *Nutzpflanzen in Deutschland: Kulturgeschichte und Biologie*, Verlag Theiss, 1987, ISBN 3-8062-0481-0
- [5] ([http://www.bundessortenamt.de/isapi/drvisapi.dll?MIval=bsl\\_int\\_Merkmalwahl&MITab=wbpages&p\\_kbst=RW+&p\\_sortiment=1&p\\_smtbez=Winterroggen+Körnernutzung++++](http://www.bundessortenamt.de/isapi/drvisapi.dll?MIval=bsl_int_Merkmalwahl&MITab=wbpages&p_kbst=RW+&p_sortiment=1&p_smtbez=Winterroggen+Körnernutzung++++)) Informationen vom Bundessortenamt
- [6] *Rye and Hybrid Rye Breeding* (<http://www.uni-hohenheim.de/ipspwww/720/index.htm>), Informationen zur Hybridroggenzüchtung, Universität Hohenheim, englisch, abgerufen am 22. März 2010
- [7] BMELV: Besondere Erntemittlung, 2. vorläufiges Ernteergebnis von Getreide und Winterraps 2009 (<http://www.bmelv-statistik.de/de/fachstatistiken/besondere-erntemittlung/>)
- [8] [www.ryebelt.de](http://www.ryebelt.de): *Der Roggenmarkt* (<http://www.ryebelt.de/startseite/roggen/markt.html>), Informationen der KWS Lochow GmbH, u. a. zur Preisentwicklung und Verbrauch von Roggen, abgerufen am 22. März 2010
- [9] FAOSTAT (<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#anchor>) statistische Informationen der Food and Agriculture Organization (FAO), aufgerufen am 4. Februar 2010.
- [10] Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA), Garching (Hrsg.): *Lebensmitteltabelle für die Praxis*. Der kleine Souci · Fachmann · Kraut. 4 Auflage. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart 2009, ISBN 978-3-8047-2541-6, S. 239.
- [11] Reiner, Ludwig, et al.: Winterroggen aktuell. DLG Verlag, Erscheinungsort 1979, ISBN 3-7690-0346-2
- [12] Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) 2006: Zum Einsatz von Roggen in der Fütterung ([http://www.dlg.org/uploads/media/Roggen\\_Fuetterung.pdf](http://www.dlg.org/uploads/media/Roggen_Fuetterung.pdf))
- [13] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) 2009: *Faustzahlen Biogas*, 2. Auflage, ISBN 978-3-941583-28-3
- [14] [http://www.proplanta.de/web/themen.php?MOF1=1200149696&MRID=1200331226&MLF1=1140434251&MLID=1200331219&MHID=6&MUID=5&MOID=1&\\_\\_utmc=77131348&\\_\\_utmb=77131348&Fu1GrI=1142935937&Fu1=1140434251&con=&lasu=&&T=1203281971&&SITEID=1140434251&\\_404=](http://www.proplanta.de/web/themen.php?MOF1=1200149696&MRID=1200331226&MLF1=1140434251&MLID=1200331219&MHID=6&MUID=5&MOID=1&__utmc=77131348&__utmb=77131348&Fu1GrI=1142935937&Fu1=1140434251&con=&lasu=&&T=1203281971&&SITEID=1140434251&_404=)
- [15] <https://www.uni-hohenheim.de/ipspwww/720/index.htm>

## Rohstoff

---

**Rohstoffe** sind natürliche Ressourcen, die bis auf die Lösung aus ihrer natürlichen Quelle noch keine Bearbeitung erfahren haben. Sie werden aufgrund ihres Gebrauchswertes aus der Natur gewonnen und entweder direkt konsumiert oder als Arbeitsmittel und Ausgangsmaterialien für weitere Verarbeitungsstufen in der Produktion verwendet.

### Einteilung

Für die Klassifikation von Rohstoffen gibt es unterschiedliche Systeme. Häufig genutzte Kriterien zur systematischen Einteilung sind ihre natürlichen Eigenschaften, der Grad der Regenerierbarkeit, die Herkunft und der Verwendungszweck.

### Natürliche Eigenschaften

Nach ihren natürlichen Eigenschaften werden organische und anorganische Rohstoffe unterschieden. Organische Rohstoffe stammen aus der belebten Natur. Zu ihnen zählen pflanzliche und tierische Stoffe einschließlich der Mikroorganismen. Die Quelle für anorganische Rohstoffe sind Ressourcen der unbelebten Natur einschließlich des Wassers und der Luft.

### Regenerierbarkeit

Nach dem Grad der Regenerierbarkeit werden die Rohstoffe in erneuerbare und nicht-erneuerbare eingeteilt. Erneuerbar sind nachwachsende Rohstoffe aus dem Tier- und Pflanzenreich, aber auch anorganische Stoffe wie Wasser, Luft und Sonne. Als nicht durch menschliche Einwirkung erneuerbar gelten mineralische und fossile Rohstoffe, die sich in geologischen oder astronomischen Zeiträumen gebildet haben (zum Beispiel Öl oder Metalle)

---

## Herkunft

Rohstoffe entstammen den unterschiedlichen Bereichen der Geosphären. Aus der Biosphäre werden die pflanzlichen und tierischen Stoffe, aus der Hydrosphäre das Wasser und der Fisch, aus der Atmosphäre der Sauerstoff, aus der Lithosphäre die mineralischen Rohstoffe gewonnen. Orte der Erdoberfläche, an denen sich Rohstoffe in abbauwürdiger Form angereichert haben, werden als Lagerstätten bezeichnet. Die Bauwürdigkeit wird durch Faktoren wie die Menge, Qualität oder Lage des Rohstoffes bestimmt. Durch Recycling wiederaufgearbeitete Abfallprodukte, die erneut in den Produktionskreislauf eingehen, sind die sogenannten Sekundärrohstoffe.

## Gewinnung und Verwendung

Nach der Art ihrer Gewinnung und dem Verwendungszweck werden Agrar- und Industrierohstoffe unterschieden.

Agrarrohstoffe werden von der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft geliefert. Sie können tierischen oder pflanzlichen Ursprungs sein. Rohstoffe wie Getreide, Fleisch, Fisch und organische Öle werden zu Nahrungs-, Genuss- und Futtermitteln weiterverarbeitet. Organische Abfälle können als Ausgangsstoff zur Biogasproduktion genutzt werden.

Erzeugnisse der landwirtschaftlichen Produktion, die als Grundstoffe für technische Verwertungszwecke dienen, wie Holz, Kautschuk, Baumwolle, Industrieobst, Heilpflanzen oder Raps, werden als industrielle pflanzliche Rohstoffe bezeichnet.

Industrierohstoffe aus anorganischen und fossilen Ressourcen werden vor allem als Bodenschätze im Bergbau gefördert. Sie werden in vier Gruppen eingeteilt:

- Energierohstoffe dienen der Erzeugung von Energie. Zu ihnen gehören fossile Rohstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas, Luft, Wasser und Sonne als Grundlagen erneuerbarer Energie und das Uran als Rohstoff zur Erzeugung von Kernenergie.
- Chemische Rohstoffe wie Kalk oder Salz werden in der chemischen Industrie weiterverarbeitet.
- Metallrohstoffe werden aus Erzen gewonnen. Eisen, Aluminium und Stahl als Produkt von Eisen und Stahlveredlern bilden die Grundrohstoffe des Maschinen-, Schiff- und Automobilbaus. Edelmetalle wie Gold, Silber oder Platin sind nicht nur für die Schmuckindustrie entscheidend, sondern bilden zusammen mit Kupfer, Zinn und Halbleitern die Grundlage der Elektroindustrie und Elektronik.
- Bau- und Keramikrohstoffe sind Grundstoffe der Bauindustrie. Sie werden aus Gesteinen oder Sedimenten gewonnen. Wichtige Baustoffe sind Sand, Kies, Tonmineral, Kaolin und Werksteine.

## Geschichte

Rohstoffe wurden vom Menschen von Beginn seiner Existenz an gewonnen, genutzt und gehandelt. Ganze Epochen der Ur- und Frühgeschichte wie die Steinzeit, die Bronzezeit oder die Eisenzeit sind nach einzelnen Rohstoffen benannt.

In der Neuzeit steigen seit Beginn der industriellen Revolution der Bedarf und die Ansprüche an Rohstoffe an. Mit wachsenden Kenntnissen in der Geologie, Chemie und Werkstofftechnik wurden immer mehr Rohstoffe und Rohstoffvorkommen entdeckt und neue Nutzungsmöglichkeiten erfunden.

## Welthandel und Politik

Rohstoffe stellen mehr als ein Drittel aller Güter im Welthandel dar. Der globale Handel wird über organisierte Warenterminbörsen abgewickelt. Börsen mit weltweiter Bedeutung sind zum Beispiel die Chicago Mercantile Exchange für landwirtschaftliche Produkte, die New York Mercantile Exchange für Metalle und Erdöl und die London Metal Exchange für Metalle. Die Preisbildung wird dabei von oligopolartigen Marktstrukturen mitbeeinflusst. Viele Rohstoffe können nur unter Einsatz von erheblichen Investitionen gewonnen werden. Insbesondere die Ausbeutung von mineralischen und fossilen Stoffen konzentriert sich oft auf wenige multinationale

Konzerne.

Anbau und Förderung sowie Weiterverarbeitung von Rohstoffen finden dabei häufig in unterschiedlichen Ländern statt. Dabei treten in den vergangenen Jahren verstärkt schnell wachsende Tigerstaaten wie Indien, Brasilien oder China als Käufer von Rohstoffen auf. Insbesondere die Nachfrage nach Eisenerz steigt von Seiten dieser Staaten an.

<sup>[1]</sup> Der Gegensatz zwischen exportierenden und importierenden Ländern, der sich seit Beginn des 20. Jahrhunderts herausgebildet hatte, ließ den Rohstoffhandel zum Gegenstand nationaler politischer Interessen werden. Grundzüge einer internationalen Rohstoffpolitik wurden bereits 1927 auf der Weltwirtschaftskonferenz in Genf festgelegt.

Konflikte im Rohstoffhandel entstehen aus gegensätzlichen privatwirtschaftlichen und nationalen Interessen, besonders zwischen den Industrie- und den Entwicklungsländern. Die Notwendigkeit globaler Übereinkommen, die den steigenden Rohstoffbedarf einerseits und den Umweltschutz und die Ressourcenschonung andererseits berücksichtigen, führten zu einer Reihe internationaler Abkommen und Organisationen. Die wichtigsten von ihnen sind die UNCTAD als Interessensvertretung der Entwicklungsländer, die Welthandelsorganisation (WTO), das UN-Seerechtsübereinkommen, das die Ausbeutung der Meeresressourcen reguliert, der Antarktisvertrag und die OPEC als Vereinigung erdölexportierender Länder.

Über 90 Prozent des Welthandels, fast 95 Prozent des Außenhandels der Europäischen Union und nahezu 70 Prozent des deutschen Im- und Exports werden über den Seeweg abgewickelt.<sup>[2]</sup> Ein wichtiges Stimmungsbarometer für den Welthandel und damit auch für die Weltkonjunktur ist der Baltic Dry Index (BDI). Der BDI ist ein Preisindex für das weltweite Verschiffen von Hauptfrachtgütern (hauptsächlich Kohle, Eisenerze und Getreide) auf Standardrouten. Er wird seit 1985 täglich von der Baltic Exchange in London veröffentlicht.

Die Preisentwicklung von 19 für den Welthandel relevanten Rohstoffen misst der CRB-Index. Er wurde erstmals 1957 vom Commodity Research Bureau (CRB) in den USA berechnet. Der Index ist der weltweit älteste unter den großen Rohstoffindizes und gilt als übergeordneter Indikator für den gesamten Rohstoffsektor.

## Ökologie

Die Ausbeutung der natürlichen Ressourcen zur Rohstoffgewinnung im großen Maßstab führt zu Umweltproblemen, die langfristig die Existenzgrundlagen der Menschheit bedrohen können. Beispiele sind die Wüstenbildung durch großflächige Rodungen und Überweidung und die Zerstörung kompletter Ökosysteme im Kohle-Tagebau. Möglichkeiten ressourcenschonenden Wirtschaftens wie Recycling und die Förderung nachwachsender Rohstoffe werden daher wissenschaftlich untersucht und von nationalen wie internationalen Institutionen wie dem United Nations Environment Programme unterstützt.

## Verfügbarkeit

Kein Rohstoff ist unbegrenzt vorhanden. Das Wachstum der Bevölkerung und ein steigender Lebensstandard sowie ein sorgloser Umgang mit Rohstoffen in der Wegwerfgesellschaft führen zu einer zunehmenden Rohstoffknappheit. Besonders deutlich wird dies bei den fossilen Rohstoffen wie Erdöl, das laut der Hubbert-Kurve im Jahre 2050 nur noch in marginalen Mengen vorhanden sein wird. Auswirkungen zeigen sich in bereits steigenden Preisen von Rohstoffen sowie in zunehmenden Konflikten um diese.

Ein Problem ist auch die begrenzte Wiederverwertbarkeit. So wird zum Beispiel Zink auf verzinkten Eisenteilen durch Umwelteinflüsse allmählich in feinsten Form zerstreut, analog zu Platin, das aus Autokatalysatoren als feinstes Pulver an die Umgebung abgegeben wird (allgemeine Zunahme). Derart verteilt lassen sich beide nicht mehr sinnvoll und wirtschaftlich wiederverwerten. Die heute bekannten hochgradigen Rohstoffvorkommen haben eine sehr begrenzte Reichweite von weniger als 100 Jahren. Ein Ausweg könnte theoretisch der Abbau von Rohstoffen im Weltraum (Mond, Asteroiden) oder Rückgewinnung der Rohstoffe aus derzeit unwirtschaftlichen Quellen wie zum Beispiel Meerwasser sein.

Über die Folgen einer weltweiten und allgemeinen Rohstoffverknappung kann bisher nur spekuliert werden, jedoch werden ähnliche Auswirkungen erwartet wie während der Ölkrise, die eine wirtschaftliche Stagnation und Zwangseinschränkungen der Bevölkerung (zum Beispiel Sonntagsfahrverbot) nach sich zog.

Bei wenigen exotischen Elementen deutet sich schon über einen relativ kurzfristigen Zeithorizont eine Verknappung an. Bei den Metallen Indium und Gallium beispielsweise überschreitet schon jetzt der weltweite Verbrauch (Indium ca. 850 t, bei Gallium ca. 165 t) die jährliche Produktionsmenge um ein Mehrfaches<sup>[3]</sup>. Besonders nachteilig ist der sehr stark steigende Verbrauch von Indium in Form von Indium-Zinn-Oxid in der Flüssigkristall- und OLED-Bildschirmherstellung sowie die Verwendung von Gallium und Indium in der Produktion von Leuchtdioden, die sich als energiesparender Glühlampenersatz und als Hintergrundbeleuchtung für Flachbildschirme derzeit in der Markteinführung befinden.

Beim Indium wird daher noch in diesem Jahrzehnt mit einem Versiegen der Ressourcen gerechnet, da sich die theoretischen Indiumvorräte auf nur 6000 Tonnen, die ökonomisch abbaubaren Reserven auf sogar nur 2800 Tonnen belaufen.<sup>[4]</sup>

## Rohstoffe als Anlageklasse

Rohstoffe stellen eine eigene Anlageklasse dar. Aufgrund der hohen Volatilität ist diese Anlageklasse häufig auch Gegenstand spekulativer Investments. Eine Investition in Rohstoffe erfolgt meist nicht in physische Bestände sondern in Termingeschäfte auf Rohstoffe oder börsengehandelte Exchange Traded Commodities.

## Literatur

- Heiner Barsch, Klaus Bürger: *Naturressourcen der Erde und ihre Nutzung*. Justus Perthes Verlag, Gotha 1996, ISBN 3-623-00838-9

## Weblinks

- Markt-Daten-Charts<sup>[5]</sup> - Rohstoffpreise-Monatscharts mit Zahlen des IMF
- mineral. Rohstoffe<sup>[6]</sup> - Mineralische Rohstoffe der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
- Aktuelle Rohstoffkurse<sup>[7]</sup> zu allen Rohstoffen

## Referenzen

- [1] Aktien-Blog 7. September 2007, <http://aktien-blog.com/eisenerz-frachtkosten-insider.html>,
- [2] Landesregierung Schleswig-Holstein: Maritime Wirtschaft - mit Sicherheit wachsen ([http://www.schleswig-holstein.de/Wirtschaft/DE/Wirtschaftsland/wirtschaftslandarchiv/ausgabe17\\_\\_2007/artikel/schwerpunkt\\_\\_maritimeWirtschaft.html](http://www.schleswig-holstein.de/Wirtschaft/DE/Wirtschaftsland/wirtschaftslandarchiv/ausgabe17__2007/artikel/schwerpunkt__maritimeWirtschaft.html))
- [3] USGS Minerals Information (<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>)
- [4] Neue Zürcher Zeitung, 7. Dezember 2005 (<http://nzz.ch/2005/12/07/ft/articleDBCDJ.html>), Indium-Vorräte laut [[USGS (<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/indium/indiumcs06.pdf>)] Mineral Commodity Summaries (2006)]
- [5] <http://www.markt-daten.de/charts/imf/index.htm>
- [6] [http://www.bgr.bund.de/cIn\\_092/nn\\_322882/DE/Themen/Min\\_\\_rohstoffe/min\\_\\_rohstoffe\\_\\_node.html?\\_\\_nnn=true](http://www.bgr.bund.de/cIn_092/nn_322882/DE/Themen/Min__rohstoffe/min__rohstoffe__node.html?__nnn=true)
- [7] <http://www.finanzen.net/rohstoffe/>

# Rohstoffwende

---

Die **Rohstoffwende** beschreibt den Übergang von einer auf nicht erneuerbaren Rohstoffen (fossil und mineralisch) basierenden Wirtschaftsweise zu einer, in der nachwachsende Rohstoffe (Agrar- und Forstrohstoffe) die hauptsächlichliche industrielle Basis bilden.

## Zum Begriff

Eingeführt wurde der Begriff 2005 analog zu dem Begriff Energiewende, der die Realisierung einer ökologischen Energieerzeugung (Energierohstoffe als Teilaspekt der Rohstoffe insgesamt) insbesondere mittels erneuerbarer Energien propagiert. Die Verwendung des Begriffes liegt schwerpunktmäßig im Bereich der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, die energetische Nutzung wird allerdings ebenfalls umfasst.

## Hintergrund und Entwicklung

Hintergrund der Rohstoffwende ist die abnehmende Verfügbarkeit oder der steigende Preis fossiler und mineralischer Ressourcen, die Vorteile regionaler Wirtschaftskreisläufe, die leichtere Entsorgung und bessere Umweltverträglichkeit von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen oder produkttechnische Vorteile wie eine längere Haltbarkeit oder einfachere Verarbeitung. Beispiele für eine solche Wende sind die zunehmende Nutzung von Agrokraftstoffen im Energie- und Mobilitätssektor, von ökologischen Dämmstoffen wie Zellulose oder Hanf im Hausbau, von Biokunststoffen oder von nachwachsenden Rohstoffe in der kosmetischen Industrie.

Teilweise weisen nachwachsende Rohstoffe in relativ naturbelassener Form die gewünschten Merkmale auf. Im Hausbau beispielsweise erlaubt der Werkstoff Holz eine geringere Wandstärke bei höherem Dämmwert im Vergleich zur konventionellen Massivbauweise. Dazu ist der Primärenergieverbrauch beim Holzbau deutlich geringer, was auch zu geringerem Ausstoß von Treibhausgasen führt und damit zum Klimaschutz beiträgt. In anderen Bereichen sind umfangreiche Bearbeitungen des Rohstoffes erforderlich, um ein nutzbares Endprodukt zu erhalten. Dies ist etwa der Fall bei Biokraftstoffen wie auch in anderen Bereichen, in denen verstärkt auf biotechnologische Verfahren zur Manipulation der ursprünglichen Rohstoffe gesetzt wird, beispielsweise in der für pharmazeutische Produkte angewandten roten oder in der Fertigungsindustrie der weißen Biotechnologie.

## Weblinks

- Michael Carus auf telepolis.de: *Die "Rohstoffwende" ist unaufhaltsam* <sup>[1]</sup> vom 23. März 2007
- rohstoffwende.de - 1. Internationaler Kongress zu Rohstoffwende und Biokraftstoffen 2008 <sup>[2]</sup>

## Referenzen

[1] <http://www.heise.de/tp/r4/artikel/24/24910/1.html>

[2] <http://www.rohstoffwende.de/>

---

# Röste

Als **Rösten** oder auch *Rotten* (früher *Röthen*) bezeichnet man einen der Arbeitsgänge zum Gewinnen von Pflanzenfasern beim Nutzhanf, Flachs und anderen Bastfaserpflanzen durch den Faseraufschluss. Beim Röstprozess werden die Pektine im Pflanzenstängel aufgelöst. Dieser ‚Pflanzenleim‘ verbindet die Fasern mit den festen Holzbestandteilen der Pflanze. In anschließenden Prozessen (Brechen, Schwingen, Hecheln) werden dann die einzelnen Bestandteile voneinander getrennt.

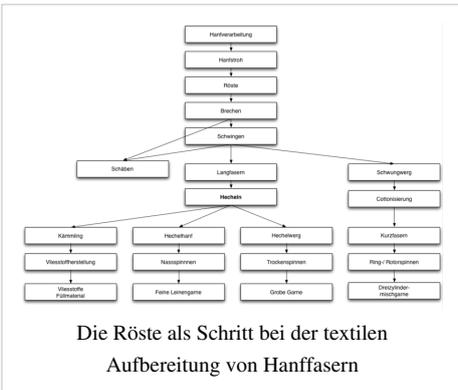
Das Wort *Rösten* hat seinen Ursprung in *rotten*, d. h. verfaulen, ‚rot‘ werden (Rot bezeichnete ursprünglich einen eher bräunlichen Farbton). Der Prozess gibt den Fasern die typische graubraune bis flachsblonde Farbe während ungerösteter Flach (Grünflachs) gelblich wird und schlechter verarbeitet werden kann.



Hanfstängel mit Fasern und holzigen Innenbereich

## Biologische Röste

Bei der **Tauröste**, auch **Feldröste** genannt, werden die geschnittenen oder gerauften Pflanzenstängel auf dem Feld oder einer Wiese ausgelegt. Die Taubildung begünstigt die Entwicklung von Mikroorganismen (vor allem Bakterien), die die Pektine auflösen. Dieser Vorgang dauert über mehrere Wochen an. Er ist ökologisch günstig, da die ausgelösten Bestandteile in den Boden übergehen und bei einer erneuten Bepflanzung des Feldes weniger gedüngt werden muss. Die Tauröste ist aber ebenso risikoreich, da die gesamte Faser-Ernte durch übermäßigen Regenfall zerstört werden kann. Trotz allem ist sie das wichtigste Verfahren bei der Produktion von Flachsfasern (Leinen)



Die Röste als Schritt bei der textilen Aufbereitung von Hanffasern

Die **Wasserröste** wird in offenen Gewässern, in Wasserbecken (Flachsrotte) oder Tanks durchgeführt. Die Pflanzen liegen dabei entweder mehrere Tage in warmem Wasser (Warmwasserröste) oder zwei bis drei Wochen in kaltem Wasser (Kaltwasserröste). Diese Form der Röste belastet stärker die Gewässer, ist aber wegen des geringeren Zeitaufwandes oft wirtschaftlicher.

## Chemische Röste

Bei der chemischen Röste wird das Pektin unter Zuhilfenahme von Chemikalien und unter Hitzeeinwirkung gelöst. Eingesetzt werden hierfür z. B. Schwefelsäure, Natriumhydroxid oder Chlorkalk. Das Verfahren ist äußerst schnell (halbe Stunde im Vergleich zu mehreren Tagen bei der Warmwasserröste) und gut zu kontrollieren. Allerdings ist es sehr kostenintensiv und die Fasern werden dabei stark beansprucht. Daher konnte sich dieses Verfahren bisher nicht durchsetzen.

## **Physikalischer Aufschluss**

Neben der biologischen und der chemischen Röste besteht auch die Möglichkeit, die Fasern physikalisch durch einen Dampfdruckaufschluss (*steam explosion*) oder durch einen Aufschluss mittels Ultraschall zu vereinzeln

## **Literatur**

- Anton Schenek: *Naturfaserlexikon*. Deutscher Fachverlag, Frankfurt/Main 2001; S. 165. ISBN 3-87150-638-9
-

# Rotbuche

Rot-Buche

Rotbuchenwald
Systematik
Rosiden Eurosiden I <i>Ordnung:</i> Buchenartige (Fagales) <i>Familie:</i> Buchengewächse (Fagaceae) <i>Gattung:</i> Buchen ( <i>Fagus</i> ) <i>Art:</i> Rot-Buche
Wissenschaftlicher Name
<i>Fagus sylvatica</i>
L.

Die **Rotbuche** (*Fagus sylvatica*) ist ein in weiten Teilen Europas heimischer Laubbaum aus der Gattung der Buchen (*Fagus*). In der Umgangssprache wird sie gewöhnlich als „**Buche**“ bezeichnet. Um ihre Zugehörigkeit zur Gattung der Buchen zu betonen, ist in der Botanik die Bindestrichschreibweise **Rot-Buche** üblich. Sie ist mit einem Anteil von 14 % der häufigste Laubbaum in den Wäldern Deutschlands. In der Schweiz beträgt ihr Anteil 19 %, in Österreich 9 %. Der Namensteil „Rot“ bezieht sich auf die leicht rötliche Färbung des Holzes.

Rotbuchenreiche Laubmischwälder sind die potenzielle natürliche Vegetation großer Teile Mitteleuropas. Die Rotbuche gilt als Zeigerpflanze für ein atlantisches Klima, daher wird das Atlantikum häufig auch Buchenwarmzeit genannt.

## Beschreibung

### Gestalt und Wuchs

Die Rotbuche kann bis zu 30 Meter hoch werden, im dichten Wald auch bis 45 Meter. Der Stammdurchmesser kann im Freiland bis 2 Meter betragen. Sie kann bis zu 300 Jahre alt werden; in Einzelfällen sind auch ältere Exemplare gefunden worden.

Die Krone einer ausgewachsenen Buche kann bis zu 600 m<sup>2</sup> beschatten, sie blüht und fruchtet in einem Alter von etwa 30 bis 200 Jahren. In der Jugend unter 30 bis 50 Jahren ist sie auf idealen Standorten mit einem Jahreshöhenzuwachs von 40 bis 70 Zentimetern schnellwachsend, mit leicht schütterer und aufrechter Krone sowie zunächst deutlich seitlich wachsenden Zweigen. Bei einer Konkurrenzsituation mit anderen Bäumen zählt sie zu den spätdynamischen Klimax-Bäumen, die sich ab einem Alter von etwa 45 Jahren mit ihrem Längenwachstum durchsetzen.

Der erste Austrieb zwischen April bis Mai wird bis zu einer Länge von 40 cm sehr schnell geschoben und hängt zunächst leicht herab. Dann erst wird wie bei allen verholzenden Gewächsen zunehmend Lignin gebildet und die Zweige richten sich auf. Das Längenwachstum ist nach drei bis fünf Wochen abgeschlossen. Manchmal ist gegen Ende Juni auch ein sogenannter Johannistrieb zu beobachten.

Im höheren Alter lässt die Wüchsigkeit nach, und im Alter von etwa 100 bis 150 Jahren kann eine Rotbuche im Freiland bereits ihre maximale Höhe erreichen. Danach wächst sie langsamer und bekommt mit abnehmender Vitalität ab etwa 200 Jahren eine zunehmend dichtere Krone. Der Neuaustrieb wird dann kürzer und es werden schließlich nur noch wenige Zentimeter neu geschoben. Freistehende

Exemplare können im Alter ausladende, regelmäßig und fein verzweigte ovale Kronen von 20 bis 30 m Durchmesser ausbilden, deren untere Zweige fast bis auf den Boden reichen. Ältere Starkäste sind fast waagrecht, ausladend und regelmäßig, wechselständig angeordnet. Der junge Austrieb bildet eine nach oben gerichtete Hauptknospe, den sogenannten Hauptast, und eine Seitenknospe. Der Lichtmangel innerhalb der Krone zwingt den Baum zu dieser symmetrischen und feinen Verzweigung mit deutlich horizontaler Blattstellung, während die Krone im Inneren durch die Dunkelheit keinen Neuaustrieb mehr zulässt.

Im Wald stehend wächst sie hingegen schlank, und die unteren Äste sterben aus Lichtmangel früh ab. Der Kronenansatz liegt hier häufig erst in 10 bis 20 m Höhe. Einen maximalen Kronendurchmesser von 20 bis 30 Metern erreicht sie nur in den selten gewordenen sehr alten Wäldern, wenn andere Bäume in der Nachbarschaft absterben. Durch den Konkurrenzdruck um das Licht sind die Starkäste im Wald zum Teil eher aufrecht geneigt als waagrecht. Durch ihre Mächtigkeit, Symmetrie und hell ockerfarbene Herbstfärbung ist die Rotbuche ein beliebter Parkbaum.



Keimling im Frühjahr

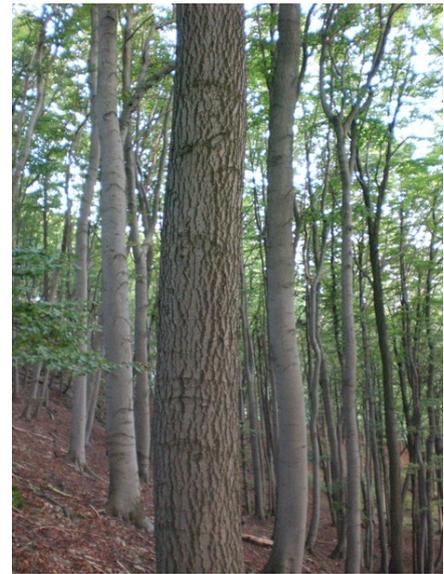


Wuchsform einer freistehenden Buche (c.a. 30 Jahre alt)

## Rinde und Blätter

Die dünne Rinde der jungen Zweige ist anfangs dunkelgrün bis schwarz und glatt, aber schon nach wenigen Wochen wird sie heller. An Ästen und Stamm ist sie meist hellgrau mit über Jahrzehnte sichtbaren Narben bereits abgefallener Zweige, die am Stamm wie kleine Runzeln aussehen. Beim Dickenwachstum des Stammes und der Äste dehnt sich die Rinde mit, wobei sie erst feinste Längsrisse bildet. Das absterbende Phellem, der sogenannte Kork, schuppt nicht deutlich ab, sondern zerfällt zu feinem, hellgrauem Staub. Bei alten Rotbuchen wird die Rinde am Stammfuß gröber und rissig, aber im Gegensatz zu den meisten anderen Baumarten bleibt sie am Hauptstamm bis ins hohe Alter dünn und glatt. Eine Varietät der Rotbuche, die Steinbuche (*Fagus sylvatica* var. *quercoides*) bildet grundsätzlich eine dickere, sehr rissige Borke aus.

Die Laubblätter sind eiförmig, haben eine kurze Spitze und sind am Grund keilförmig oder abgerundet. Der Blattrand ist wellig-buchtig bis leicht gekerbt und behaart. An den Enden der sechs bis sieben Seitennerven sitzen kurze Zähne. Die Unterseite der Spreite ist locker bis dicht behaart auf den Hauptnerven, den Nervenachseln und auf den Interkostalfeldern. Der Blattstiel ist ein bis 1,5 cm lang und behaart. Die jungen Laubblätter sind frischgrün und seidig behaart. Im Sommer sind die Blätter dann oben glänzend dunkelgrün, unten hell. Im Herbst verfärben sich die Blätter zuerst blassgelb, später orangerot bis rotbraun. Vielfach bleiben die vertrockneten Blätter über den Winter an den Zweigen.<sup>[1]</sup>



Eine Steinbuche mit der typischen rissigen Borke



herabhängende Blätter im Frühjahr



Blatt

## Knospen, Blüten und Früchte

Die Rotbuche blüht ab einem Alter von 30 bis 50 Jahren. Sie ist ein einhäusig getrenntgeschlechtiger (monözischer) Baum; die männlichen und weiblichen Blüten sind also an einem Baum zu finden. Die Blüten-Knospen sind hellbraun, spindelförmig schmal und spitz. Sie sind eingehüllt in zwei bis drei gegenständig angeordnete, doppelte Hüllblätter, die sich schuppenartig überdecken. Die Blüten erscheinen zeitgleich mit dem Blattaustrieb von April bis Mai. Die Blüten jeweils eines Geschlechtes stehen in Blütenständen zusammen. Die Büschel der männlichen Blüten, die auch als Dichasien bezeichnet werden, sind 3 bis 5 cm lang und hängen herab, wobei jede männliche Blüte aus 4 bis 7 Staubblättern besteht. Aus den aufrecht stehenden weiblichen Blüten ragen jeweils drei rosafarbene Narben.

Die auch als Bucheckern bekannten Früchte sitzen zu zweit in einem Fruchstand zusammen, was die typische dreikantige Form ergibt. Rohe Bucheckern enthalten Trimethylamin (auch Fagin genannt) und sind dadurch leicht giftig. Eine leichte Giftwirkung ist auch darauf zurückzuführen, dass rohe Bucheckern viel Oxalsäure enthalten.

Nach einem trockenen heißen Jahr fällt die Bucheckernernte häufig besonders reichlich aus. Solche Mastjahre gehören zur Überlebensstrategie von Buchen. Würden sie jedes Jahr gleich viele Samen ausbilden, würden Mäuse, Wildschweine und Vögel ihre Population an dieses konstante Nahrungsangebot anpassen. Durch die nur gelegentlich überreichlich gebildeten Samen wird sichergestellt, dass mehr Samen ausgebildet werden als die Tiere zu fressen vermögen. Mastjahre stellen jedoch für die Bäume eine starke Belastung dar, da ein Baum etwa zwei Drittel des Jahresgewinns an assimiliertem Zucker zur Bucheckernproduktion verbraucht; daher werden nach einem solchen Jahr in deutlich geringerem Umfang Bucheckern ausgebildet, selbst wenn die klimatischen Voraussetzungen gut sind.

Auch in normalen Bucheckern-Jahren tragen Tiere über die Versteckausbreitung zur natürlichen Verjüngung der Bestände bei. Eichhörnchen, Röteln-, Wald- und Gelbhalsmaus legen Bucheckerdepots als Wintervorräte an, vergessen jedoch häufig ihre versteckten Früchte, die dann auskeimen können.



Rotbuche (*Fagus sylvatica*),  
 A Zweig mit zwei männlichen und einem weiblichen Blütenstand; 1, 2 und 3 männliche Blüten; 4 weibliche Blüte;  
 B Zweig mit geschlossenem und offenem Fruchstand, darin je 3 Bucheckern; 6 Querschnitt und 7 ganze Buchecker.



Fruchtansatz an Buche



reife Bucheckern

## Verbreitung und Standort

Während der letzten Eiszeit wurde die Rotbuche aus Mitteleuropa verdrängt. Sie überlebte im Mittelmeerraum und begann ihre Rückeroberung des europäischen Verbreitungsgebietes vor etwa 10.000 Jahren. In Sedimenten des verlandeten Luttersees im Eichsfeld bei Göttingen treten ihre Pollen erstmals in der späteren Warmzeit vor etwa 4800 Jahren auf.

Das Verbreitungsgebiet der Rotbuche reicht heute von Süd-Skandinavien bis Sizilien. Im östlichen Mitteleuropa und im südlichen Skandinavien kommt sie bis in Höhenlagen von 500 m üNN vor; in Westeuropa bis 800 m üNN und in den südlichen Alpen bis in 1000 m üNN. In west-östlicher Richtung reicht ihr Verbreitungsgebiet von der Atlantikküste Frankreichs, wo sie sehr häufig vorkommt, bis zur Weichselniederung im Nordosten Polens. Im subkontinentalen Polen kommt sie nur noch in geschützten Mischwäldern vor.

Die Rotbuche ist eine ausgesprochene Zeigerart feucht-gemäßigten Klimas, der so genannten nemoralen Zone. Sie ist an euozeanische bis subkontinentale Klimate gebunden. Ihr Gedeihen erfordert über 650 mm Jahresniederschlag und eine Jahresdurchschnittstemperatur über 8 °C. Die Verbreitung von Buchenreinbeständen ist nach Osten hin durch den Übergang zum subozeanischen Klima begrenzt.

Die Rotbuche bevorzugt nährstoffreiche, schwach saure bis kalkreiche, bindige, mäßig podsolierte Sand- bis Lehmböden. In trockeneren Regionen ist sie an bindige (lehmige) Böden gebunden. Staunässe und stark schwankende Grundwasserspiegel, wie sie im Auwald vorherrschen, sind ebenso wenig geeignet wie lange Dürreperioden.

Die Rotbuche ist in der Jugend relativ schattentolerant und zählt daher zu den Schattenbaumarten. Im Alter benötigt sie jedoch mehr Licht. Aufgrund ihrer hohen Schattentoleranz bei gleichzeitig starker Schattenwirkung ihrer weiten Kronen kann sie andere Baumarten auf den für sie geeigneten Standorten verdrängen. Unter natürlichen Bedingungen wären daher reine Buchenwälder oder Buchenmischwälder die normale Vegetation (Klimaxvegetation) im größten Teil Westeuropas und auch in Deutschland.

Die Buchenwälder in Mitteleuropa lassen sich grob in drei standortbedingte Typen einteilen:



Blatt einer Buche, befallen mit Gallmücken



Typische Rotbuchenhecken zur Feldbegrenzung in der Nordeifel

1) Die „Kalkbuchenwälder“ sind an das Vorkommen kalkhaltiger Böden gebunden. Dieser Waldtyp ist daher besonders auf der Schwäbischen Alb, der Fränkischen Alb, dem Weserbergland sowie in den Alpen verbreitet. Auf feuchten Standorten sind der Buche hier Esche und Ahorne beigemischt.

2) Die Braunerde-Buchenwälder wären vor allem in Norddeutschland häufig, aber zum Beispiel auch am hessischen Vogelsberg. Auf Braunerden können Buchen ihr maximales Potential entfalten. Nur auf besonders nährstoffreichen und feuchten Standorten können hier noch Esche und die Ahorne neben der Buche existieren, auf sehr armen und trockenen Standorten sind Trauben-Eiche und selten Linden beigemischt. Von diesen Buchenwäldern sind nur noch wenige Reste vorhanden, sie sind größtenteils schon früh in landwirtschaftliche Nutzfläche umgewandelt oder durch Fichtenforste ersetzt worden.

3) Die bodensauren Buchenwälder wachsen auf sauren, eher nährstoffarmen Böden, wie sie aus älteren Moränen, entkalkten Lössen, Sandstein und Schiefen entstehen. Sie sind insbesondere im norddeutschen Flachland weit verbreitet. Auf den nährstoffärmeren Standorten dieses Waldtyps ist vor allem die Trauben-Eiche beigemischt. Auch diese Wälder sind weitgehend gerodet oder durch Fichtenforste ersetzt worden.

In Berglagen, und zwar in der montanen Höhenstufe, tritt die Rotbuche meist gemischt mit Weißtanne (*Abies alba*) und Fichte (*Picea abies*) auf und bildet mit diesen die „Fichten-Tannen-Buchenwälder“.

siehe auch: *Rotbuchenwald*

## Gefährdung und Schutz

Die Rotbuche ist in ganz Deutschland und Europa verbreitet und unterliegt keinem besonderen Schutz.

## Mensch und Rotbuche

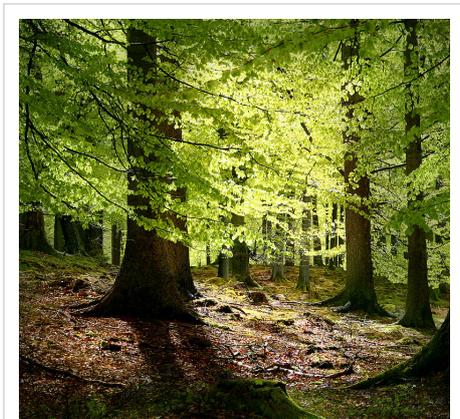
### Die Rotbuche als Namensgeber

Bei der Namensgebung ist zu erkennen, dass für die Rotbuche in der Umgangssprache der Begriff „Buche“ die gebräuchlichere Form ist. Der Begriff Buchstabe leitet sich vom Buchenholzstab ab, die zum Deuten der auf ihnen eingeritzten Runen vom Boden auf-„gelesen“ wurden. Das Wort Buch kommt vom althochdeutschen „buoh“, einer Holzschreibtäfel aus Buche.

Auch bei zahlreichen Ortschaften oder Landesbestandteilen war die Buche Namensgeber. Allein in der Schweiz sollen über 700 geographische Bezeichnungen Verbindung zu der Buche haben. Beispiele sind: Buchthalen (Schaffhausen), Bucheggberg, Schönenbuch, Buch am Irchel oder Buochs.<sup>[2]</sup>



An der Buchengrenze bei 1000m im Hochschwarzwald: Windbuchen auf dem Schauinsland



Lichtdurchfluteter Buchenmischwald mit jungen Blättern im Frühjahr

## Volksglauben

Trotz der Allgegenwärtigkeit der Buche spielt sie im Vergleich zu anderen Baumarten im Volksglauben nur eine untergeordnete Rolle. Hier einige der bekannteren zugesagten Eigenschaften:

- Bei Neumond geschlagenes Buchenholz soll nicht von Holzschädlingen befallen werden.
- Einer guten Mast folgt ein starker und harter Winter oder ein gutes Mäusejahr. Davon zeugt der Schweizer Spruch: „Vil Buech, vil Fluech“ (sinngemäße Übersetzung: „Viele Bucheckern, viel Pech“).
- Um eine Voraussage für den kommenden Winter treffen zu können, muss zu Novemberbeginn mit einer Axt in eine Buche gehackt werden. Wenn die Wunde trocken bleibt, ist ein strenger Winter zu erwarten.
- Nach dem Volksglauben werden Buchen nur selten vom Blitz getroffen. Darauf bezieht sich bei Gewitter der Spruch „Vor Eichen sollst du weichen, Buchen sollst du suchen!“. Diese Aussage ist falsch und wird darauf zurückgeführt, dass der Blitzschlag an Eichen deutlichere Schäden hinterlässt als an der Buche.

## Forstliche Bewirtschaftung von Buchenwäldern

Auch in der Forstwirtschaft verjüngt man Buchenwaldbestände im Schutz der Altbäume. Für den Erfolg einer solchen gezielten Verjüngung ist die richtige Dosierung des Lichteinfalls entscheidend. Bei zu starker Öffnung droht den Keimlingen Frostgefahr sowie starke Behinderung durch den dann entstehenden Unterwuchs. Zu wenig Licht dagegen lässt die Keimlinge verkümmern oder verkrüppeln.

Buchenwälder brauchen auch danach noch eine regelmäßige und sorgfältige Durchforstung, um wirtschaftlich wertvolle Bäume zu liefern. In einem engen Verband stehende Bäume liefern lange und astfreie Stämme, wie sie beispielsweise im hochwertigen Möbelbau

notwendig sind. Unter dem starken Konkurrenzdruck, der bei einem solch engem Bestand entsteht, entwickeln die Bäume jedoch unregelmäßige Kronen. Dieses führt wiederum zu starken Spannungen im Holz, so dass aufgesägtes Holz stark arbeitet und sich dabei spaltet oder propellerartig verzieht. Zu weit auseinanderstehende Bäume verasten sich dagegen zu stark, was sie für eine hochwertige Verwertung ungeeignet macht.

Aus Buchenlaub entstehender Mull ist außerdem ein ideales Keimbett für andere Baumarten Mitteleuropas wie beispielsweise die Fichte oder die Weißtanne. Buchen wirken generell bodenverbessernd, da sich ihr Laub in einem bis zwei Jahren abbaut. Der waldbauliche Wert der Buchen ist mittlerweile unumstritten, nachdem Rotfäule, Windwurf und Borkenkäfer deutlich gemacht haben, wie anfällig insbesondere Fichtenreinbestände sind. Jedoch bleibt auch die Buche nicht von Krankheiten verschont. So gab es allein in Belgien in den Jahren 2000 bis 2002 über 1 Million Festmeter Schadholz auf Grund eines Buchensterbens.



Buchenwald in der Rhön

## Merkmale des Holzes

Die Bezeichnung „Rot“-Buche ist eigentlich irreführend, denn das Holz ist nur leicht rötlich schimmernd. Ein tieferer Rotton entsteht durch das so genannte „Dämpfen“. Dabei wird dem Holz die starke Neigung zum Verwerfen und zur Rissbildung genommen.

Das Holz ist feinporig und meist gleichmäßig gemasert, lässt sich gut bearbeiten und ist in der Möbel- und Spielzeugherstellung ein beliebtes Material. Wegen des geringen Gerbsäureanteils ist das Holz zur Verwendung im Freien nicht geeignet. Die Buche zählt zu den Reifholzbäumen, hat also einen farblich homogenen Aufbau über den gesamten Stammquerschnitt. Sie zählt allerdings zu den Bäumen mit einer fakultativen Bildung eines Farbkernes. Dieser wird als Rotkern bezeichnet. Der Rotkern tritt mit zunehmenden Alter und mit größerem Durchmesser des Baumes häufiger auf. Das rotkernige Holz der Buche erzielt geringere Preise als weißes Holz. Diese sogenannte Kernbuche wird mittlerweile jedoch in der individuellen Möbelherstellung immer häufiger nachgefragt. Aufgrund der großen Härte, die mit der des Eschen-Holzes vergleichbar ist, wird es auch häufig als Parkett verwendet. Die Biegefestigkeit ist sehr hoch, doch im gedämpften Zustand ist das Holz biegsam und zudem sehr plastisch, was direkt mit der kurzen Holzfasernlänge zusammen hängt. Aus diesem Grund werden gebogene Formteile aus dem Holz gefertigt, wie zum Beispiel Sitzmöbel mit anatomisch geschwungenen Elementen. Michael Thonet erfand 1830 ein Verfahren zum Biegen von Buchenholz und stellte damit seine mittlerweile weltberühmten Thonet-Stühle her.



Buchenmischwald im Herbst mit teilweise herabgefallenem Laub



Holz der Rotbuche.



Rinde der Rotbuche.



Querschnitt durch einen Rotbuchenstamm.



Rotbuche mit ausgeprägtem Rotkern

## Buche als Nutzholzlieferant

Als Nutzholzlieferant war die Rotbuche in der traditionellen Ökonomie der Eiche unterlegen. Die Eiche bot ein vielseitiger verwendbares Holz, das sich anders als das wenig fäulnisresistente Buchenholz auch für den Schiffbau und den Außenbau eignete. Die Eiche lieferte außerdem die Eicheln für die Eichelmast, die in der traditionellen Schweinehaltung eine große Rolle spielte. Überlegen war das Buchenholz dem Eichenholz lediglich in Bezug auf den Heizwert. Über lange Zeit wurde daher die Buche zugunsten der Eiche vernachlässigt. Der Forstingenieur Christian Küchli, der sich intensiv mit der Historie der europäischen Forstbäume beschäftigt hat, spricht daher von einem jahrhundertlangem Ausmerzen der Buche.



Parkettboden aus Buchenholz

Größere forstwirtschaftliche Bedeutung erlangte die Buche erst mit der Entdeckung, dass eine Teeröl-Imprägnierung aus Buchenholz gefertigte Eisenbahnschwellen 40 Jahre lang vor Pilzbefall schützt. Damit waren diese ebenso haltbar wie die aus Eichen gefertigten; die Forstbetriebe konnten für ihr Buchenholz so attraktive Preise erzielen, dass Aufforstungen mit dieser Baumart wieder lohnend erschienen. Um 1930 wurde nur noch die Hälfte des geschlagenen Buchenholzes verfeuert; die andere Hälfte wurde für Eisenbahnschwellen sowie Gebrauchsgegenstände wie Waschröge, Wäscheklammern, Bürsten oder Kochlöffel verwendet. Dies änderte sich signifikant, als fossile Energieträger das Brennholz zurückdrängten und gleichzeitig aus Öl Kunststoff gewonnen wurde, aus dem nun die vormals aus Buchenholz hergestellten Gebrauchsgegenstände gefertigt wurden.

Heute liefern Buchen ein wichtiges Nutzholz für die Möbelindustrie, Parkett- und Treppenbau. 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.<sup>[3]</sup> In der Schweiz wurden in der Mitte der 1980er Jahre 1 bis 2 Millionen Kubikmeter Buchenholz geschlagen. Lediglich sechs Prozent davon war hochwertig genug, um einer solchen Nutzung zugeführt zu werden.

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.<sup>[3]</sup> 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.<sup>[3]</sup>



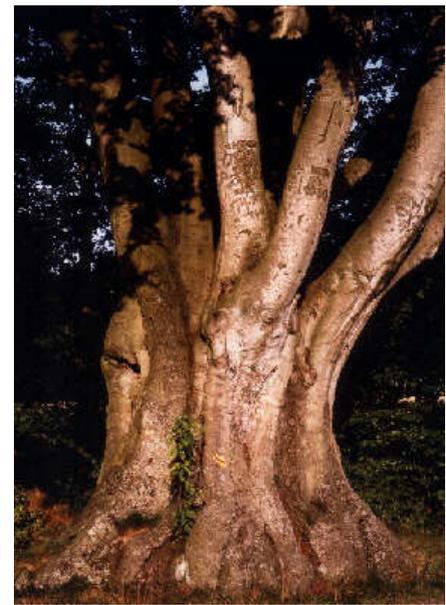
Spielzeug aus Buchenholz

## Nutzung als Brennholz

Buchenholz ist ein hervorragendes Brennholz mit einem Brennwert von 19,7 MJ/kg<sup>[4]</sup>, das sich durch sehr langes, ruhiges Brennen, starke Glutbildung und einen hohen Heizwert 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). **Büschelbuchen** und **Kopfbuchen** sind die Wuchsformen, die aus dieser Holzgewinnung resultieren.

Büschelbuchen entwickeln sich, wenn man entweder einen jungen Baum bis knapp über den Boden zurückschneidet und der Baum erneut austreibt oder man mehrere Setzlinge in ein Pflanzloch setzt. Heute gibt es nur noch wenige alte Büschelbuchen, häufig stehen diese als Naturdenkmäler unter Naturschutz. Von Kopfbuchen spricht man analog zu den Kopfweiden bei in Brusthöhe abgesägten Buchen, die man zur erneuten Holzgewinnung wieder nachwachsen lässt. Dies führt zu einem Krüppelwuchs, der den Bäumen ein bizarres Aussehen verleiht. Alte Exemplare sind unter anderem noch im Kottenforst der Stadt Bonn, sowie im Urwald Sababurg zu sehen.

Rotbuchen bilden gelegentlich sogenannte Trauerformen aus. Diese kennzeichnen sich durch eine kurze Hauptachse aus, von der viele Seitenzweige mit verstärktem Längen, aber geringem Dickenwachstum ausgehen. Die langen Seitenzweige hängen schleppenartig herab. Solche Trauer- oder Pendulaformen überdauern normalerweise im Unterstand der Wälder. Die an den schirmartig überhängenden Zweigen positionierten Blätter können die durch den Oberbestand durchtretende Streustrahlung besser nutzen. Ändert sich durch Lichteinfall, weil beispielsweise der Oberbestand nach Windbruch sich verringert, entwickeln solche Trauerformen normalerweise aus ruhenden Knospen einen steil aufrecht wachsenden Trieb, der aber häufig nach einem entsprechenden Längenwachstum erneut überhängt. Solche natürlich auftretenden Formen sind züchterisch Eingriffe verstärkt worden und finden sich gelegentlich als Solitärbäume in Parks und Grünanlagen.<sup>[5]</sup>



Die mittlerweile gefällte Riesenbuche bei Altmühl war eine sogenannte Büschelbuche



Büschelbuche im Urwald Sababurg mit wurzelndem Seitenast

## Die Buche und die Glasproduktion

Im Mittelalter und der frühen Neuzeit diente Holzasche zur Waschlaugenherstellung und zur Glasproduktion. Besonders zur Glasherstellung wurden Buchenbestände massiv abgeholzt. Zwei Teile Buchenasche mit einem Teil Sand ergab das grüne, so genannte Waldglas. Der Holzbedarf für die Glasherstellung war enorm. Für 100 Kilogramm reine Pottasche benötigten die Glaser rund 200 Kubikmeter Holz. Weitere 100 Kubikmeter waren notwendig, um die Pottasche zu Glas aufzuschmelzen. Auch dafür wurde bevorzugt Buchenholzkohle verwendet.

Die abgeholzten Buchholzbestände wurden bevorzugt mit Fichten aufgeforstet. Dabei entstand ein Waldtyp, den man als „Glaswald“, „Glastobel“ oder „Schmelzwald“ bezeichnete.

## Nutzung als Nahrungsmittel

Bucheckern spielten in der Vergangenheit in der menschlichen Ernährung eine Rolle. Trotz der leichten Giftigkeit wurde im 19. Jahrhundert und in den Notzeiten nach dem Zweiten Weltkrieg aus den Nüssen Öl gepresst, das sowohl beim Kochen als auch als Lampenöl Verwendung fand. Eine Handvoll Bucheckern kann wegen ihrer Inhaltsstoffe (Trimethylamin, auch Fagin genannt, und Blausäure-Glykoside) bereits Unwohlsein hervorrufen. Die essbaren Blätter der Buchen gelten als entzündungshemmend. So wurden sie bei Zahnfleischproblemen zerkaut oder bei Geschwüren als Wundauflagen genutzt.

## Nutzung des Laubs als Streu und Viehfutter

Die bodenverbessernden Eigenschaften des sich relativ langsam zersetzenden Buchenlaubs machte man sich früher in den Bergregionen nutzbar. In diesen Regionen konnten häufig keine Getreidearten angebaut werden, die ausreichend Stroh für die Stallhaltung lieferten. Bis auf die Buche waren in diesen Regionen außerdem andere Laubbaumarten nur selten zu finden. In vielen Regionen war es daher über Jahrhunderte hinweg Brauch, dass Frauen und Kinder das Buchenlaub sammelten, das anschließend als Stallstreu genutzt wurde. Dabei wurden die Wälder regelmäßig „leergefegt“ und Buchenlaub kam sogar in den Handel. So wurden zu Beginn des 19. Jahrhunderts Hunderte von Schiffsladungen vom schweizerischen Brienzersee aus in den Handel gebracht. Die Entfernung des Laubes verhinderte die natürliche Verjüngung, da den Buchenkeimlingen der natürliche Schutz vor den winterlichen Frösten fehlte. Für die Landwirte war sie jedoch eine Notwendigkeit, um ihre Höfe wirtschaftlich zu betreiben. Die Laubsammlung stand ähnlich wie die Eichelmast unter Forstwissenschaftlern schon in frühen 19. Jahrhundert in dem Ruf, die Wälder nachhaltig zu schädigen. Christian

Küchli führt die umfangreichen Lawinenverbauungen, die heute aufgrund eines fehlenden Schutzwaldes in der Region des Brienzersee notwendig sind, auf diesen jahrhundertelangen Raubbau zurück.

Zu Bündeln gebundene junge Buchenzweige, die noch Blätter trugen, wurden als Winterfutter für das Vieh getrocknet. Besonders Ziegen fraßen diese Zweige gerne. Aber auch im Frühjahr, wenn die Buchen austrieben, wurden Buchenzweige an das Vieh verfüttert, weil damit die Milchleistung gesteigert werden konnte.

## Sonstiges

In der Eifel, insbesondere im Monschauer Heckenland, werden Rotbuchen als Hecken zur Feldumzäunung und als haushoher Windschutz verwendet. Viele Häuser sind dort von mächtigen Hecken umgeben.

Die Buche reagiert äußerst empfindlich auf Erdanschüttungen im Wurzelbereich. Schon eine Anhebung des Bodenniveaus um 10 cm um den Stamm kann die Buche mittelfristig zum Absterben bringen.

Die wahrscheinlich meistfotografierte Buche Deutschlands ist die Bavaria-Buche in Oberbayern.



Millais, *Herbstlaub*, Öl auf Leinwand, 1856,  
Manchester, City Art Hall



Rotbuchenhecken als Wetterschutz für Haus und Hof, in der Eifel, bei Monschau

## Variationen

Von der Rotbuche existieren zahlreiche Park- und Gartenformen, die sich in der Laubfärbung, Blattform oder im Wuchs voneinander unterscheiden. Die bekanntesten Variationen sind:

- Trauer- oder Hänge-Buche (*Fagus sylvatica* forma *pendula*), eine züchterische Weiterentwicklung der natürlichen Pendulaform
- Blutbuche (*Fagus sylvatica* forma *purpurea*)
- Süntel-Buche (*Fagus sylvatica* forma *tortuosa*)
- Säulen-Buche (*Fagus sylvatica* Kultivar 'Dawyck')
- Schlitzblättrige Rotbuche (*Fagus sylvatica* forma *laciniata*)
- Farnblättrige Buche (*Fagus sylvatica* forma *asplenifolia*)



Farnblättrige Buche (*Fagus sylvatica* forma *asplenifolia*)

- Gold-Buche (*Fagus sylvatica* Cultivar 'Zlatia')

## Quellen

### Literatur

- Horst Bartels: *Gehölzkunde*. Ulmer, Stuttgart 1993. ISBN 3-8252-1720-5, ISBN 3-8001-2648-6
- Gerhard Dönig: *Die Park- und Gartenformen der Rotbuche - Fagus sylvatica L.* Gartenbild, Rinteln 1994, ISBN 3-928521-05-5
- Heinz Ellenberg: *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen aus ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. Ulmer, Stuttgart 1996, ISBN 3-8252-8104-3
- Norbert Kessel: *Das Wachstum von Buchenwildlingen und Baumschulpflanzen (untersucht wurde die Wirkung von Sproßschnitt, Wurzelschnitt, Konkurrenzregelung, Pflanzverband)*. Dissertation, Freiburg 1994. (abstract <sup>[6]</sup>)
- Reinhard Schober: *Die Rotbuche 1971*. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und Mitteilungen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Bd 43/44. Sauerländer, Frankfurt am Main 1972, ISBN 3-7939-0200-5
- Gerhard Veldmann, Helmut Vogt: *Die Krankheiten und Schädlinge der Rotbuche (Fagus silvatica L.)*. Universitätsbibliothek, Jena 1985.
- ÖNORM B 3012: Holzarten - Benennungen, Kurzzeichen und Kennwerte

### Weblinks

Rotbuche. <sup>[7]</sup> In: *FloraWeb.de* <sup>[4]</sup>.

- Die Rotbuche - tragende Rolle für den Waldumbau im Klimawandel <sup>[8]</sup>
- Steckbrief der Art <sup>[9]</sup>
- Dossier zur Rotbuche: Ökologie, Waldbau und Forstschutz <sup>[10]</sup>
- Waldbauliche Charakteristik der Rotbuche <sup>[11]</sup> (erfordert JavaScript)
- Schutzgemeinschaft Deutscher Wald: Die Buche <sup>[12]</sup>
- Information rund um die Rotbuche (www.wald.de) <sup>[13]</sup>
- Aktion Buchenrotkern des Bund Naturschutz <sup>[14]</sup>

## Referenzen

- [1] B. Felbermeier, R. Mosandl: *Fagus sylvatica*, in: Schütt, Weisgerber, Schuck, Lang, Stimm, Roloff: *Enzyklopädie der Laubbäume*. Nikol, Hamburg 2006, S. 241-260. ISBN 978-3-937872-39-1
- [2] Jean-Denis Godet: *Bäume und Sträucher*. Neumann-Neudamm, Melsungen 1989, S. 30, ISBN 3-7888-0583-8
- [3] D. Grosser, W. Teetz: *Buche*. In: Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. (Hrsg.): *Einheimische Nutzhölzer (Loseblattsammlung)*. Nr. 7, Informationsdienst Holz, Holzabsatzfond – Absatzförderungsfonds 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>).
- [4] Martin Kaltschmitt, Hans Hartmann und Hermann Hofbauer (Hrsg.): *Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Springer Verlag 2009, 2. Auflage, S. 360, ISBN 9783540850946.
- [5] Dietrich Böhlmann: *Warum Bäume nicht in den Himmel wachsen – Eine Einführung in das Leben unserer Gehölze*, Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim 2009, ISBN 978-3-494-01420-3, S. 7
- [6] [http://www.forstbuch.de/L\\_Diss.htm](http://www.forstbuch.de/L_Diss.htm)
- [7] <http://www.floraweb.de/pflanzenarten/artenhome.xsql?suchnr=2357&>
- [8] <http://www.lwf.bayern.de/waldbewirtschaftung/waldbau/aktuell/2009/35220/index.php>
- [9] <http://pages.unibas.ch/botgarten/fagus/index.shtml>
- [10] [http://www.waldwissen.net/dossier/bfw\\_dossier\\_buche\\_DE](http://www.waldwissen.net/dossier/bfw_dossier_buche_DE)
- [11] <http://waldbau.boku.ac.at/lehre/menu/main.php?dbf=1&tbl=9>
- [12] [http://www.sdw.de/wald/baum\\_infos/faltblatt-buche/fagus.htm](http://www.sdw.de/wald/baum_infos/faltblatt-buche/fagus.htm)
- [13] <http://www.wald.de/die-rotbuche-fagus-sylvatica/>
- [14] <http://www.bund-naturschutz.de/projekte/buchenrotkern-aktion/index.html>

## Rundholz

**Rundholz** wird in der Forstwirtschaft auch als **Derbholz** und in Österreich auch als **Bloch(holz)** (mhd. *ploch* „großes Stück“, „zusammenhängendes Stück“) bezeichnet. Zum Rundholz gehören die Stammstücke (das *Stammholz* bzw. der *Mittelstamm*) eines stehenden oder eines gefällten, unverarbeiteten Baumes bezeichnet, einschließlich dem starken *Astholz*. Nicht als Rundholz gilt das *Zopfstück* (der Wipfelbereich), *Reisigholz* (unter 7 cm Durchmesser) und *Stockholz* (Baumstumpf und Wurzelwerk).

Rundholz wird auch nach dem Durchmesser in Starkholz, Mittelholz und Schwachholz unterschieden.



Buchen-Rundholz am Weg zum Verkauf gelagert

## Holzanteile

In der Forstwirtschaft werden für die einzelnen Anteile eines Baumes verschiedenen Begriffe verwendet:<sup>[1]</sup>

- Stock, bestehend aus
  - Wurzel (auch Wurzelwerk) und
  - Stubben (auch Baumstumpf)
- Stammholz (auch Stammstücke/ Mittelstamm)
- Schlagabraum, auch unterteilt in
  - Kronen-Derbholz (starkes, schönes Astholz) und
  - Reisholz (auch Reisigholz/ Zopf(stück))

Das Rundholz (auch Derbholz/Bloch(holz)) umfasst das Stammholz und das Kronen-Derbholz.

## Nutzung

Die Stämme werden auf bestimmte Längen geschnitten (*gelängt*) und vermessen. *Langholz* steht für Stücke über 5 oder 6 Meter, *Kappholz* für den Verschnitt beim Ablängen.

Rundholz ist als Rohholz ein forstwirtschaftliches Produkt. Es dient als Rohstoff für die Holzwirtschaft und wird zu Schnittholz (z. B. Bauholz), Industrieholz oder Energieholz weiter verarbeitet. Bei Energieholz werden die Bezeichnungen *Rundholz* und *Blochholz* auch für ungespaltenes, gelängtes Brennholz (*Prügel*, als Meterholz oder kürzer, in Unterscheidung zum gespaltenen *Scheitholz*) verwendet.



Abtransport von Langholz

## Unterscheidung in Stark-, Mittel- und Schwachholz

Eine Besonderheit beim Rundholz stellt das *Starkholz* (Holz mit Durchmesser von mindestens 40 cm) dar. Dünneres („schwächeres“) Holz mit Durchmessern unter 20 cm (forstlich Stangenholz) wird dementsprechend als *Schwachholz* oder *Dünnholz* (auch *Knüppelholz*) bezeichnet. Als *Mittelholz* wird das bevorzugt von der Holzindustrie abgenommene Holz mit 20 bis 40 cm Durchmesser bezeichnet.<sup>[2]</sup> Während Starkholz bei entsprechender Qualität in der Regel als Sägeholz (Schnittholz) gehandelt wird, wird das Schwachholz auf den Industrie- oder Energieholzmärkten angeboten. Auch langes, schönwüchsiges Stangenholz unter 7 cm, wie es in der Jungwald-Durchforstung anfällt, gilt meist als Rundholz (etwa als Zaunmaterial).

## Standards

Zu Jahresanfang 2005 unterzeichneten der Deutsche Forstwirtschaftsrat (DFWR) und der Verband der Deutschen Säge- und Holzindustrie (VDS) die gemeinsam geschaffene „Rahmenvereinbarung Werksvermessung“ als bundesweit gültiges Regelwerk für die automatisierte Rundholz-Vermessung, die den gemeinsamen Anforderungskatalog zur Werksvermessung aus dem Jahr 1994 ersetzte.<sup>[3]</sup>

## Siehe auch

- Natürliche Altersstufe – Klassifizierung der Bestandssichtung im stehenden Forst

## Literatur

- Rolf Grammel: *Forstbenutzung. Technologie, Verwertung und Verwendung des Holzes*. Pareys Studentexte Nr. 67. Parey, Hamburg und Berlin 1989, 193 S., ISBN 3-490-03716-2
- Autorenkollektiv: *Die Rohholzsortierung*. Wirtschafts- und Forstverlag Euting, Straßenhaus/Westerwald 1990, 104 S., ISBN 3-88428-009-3 (formal falsche ISBN)
- Autorenkollektiv: *Messung und Sortierung von Rohholz*. Sächsisches Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten, Referat 64 „Betriebswirtschaft und Holzmarkt“, Dresden 1994, 96 S.
- Heinz Frommhold: *Kommentar zu „Rohholzaushaltung, Rohholzverkauf“ (Handelsklassensortierung, HKS Brandenburg) in seiner 2. überarbeiteten Auflage vom 30. November 1995*. Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (Presse- und Öffentlichkeitsarbeit), Potsdam 2001, 68 S., ISBN 3-933352-40-1

## Referenzen

- [1] 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.
  - [2] Kurzreferat zu *Starkholz - Schwachholz* (<http://www.geiger-holz.de/02-material/01-ueberuns/05-aktuell/starkh-schwachh/starkholz-schwach.pdf>), abgerufen am 05.01.2010
  - [3] N.N.: *Neuer gemeinsamer Standard für die Werksvermessung. Einigung zwischen Sägeindustrie und DFWR*. In: *AFZ/DerWald*, 60. Jahrgang Heft 6/2005, S. 287, ISSN 1430-2713 (<http://dispatch.opac.d-nb.de/DB=1.1/CMD?ACT=SRCHA&IKT=8&TRM=1430-2713>)
-

# 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

**Langfaser** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64043296> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Denis Barthel (WMDE), Florian Gerlach (Nawaro), Mike Krüger, Napa, Sen

**Längsfaser** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64043334> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Denis Barthel (WMDE), Florian Gerlach (Nawaro), Århus

**Lärchen** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66103283> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Aglarech, Aka, Avoided, BK-Master, BLueFiSH.as, Bb001, Ben-Zin, Bierdimpfl, Blaubahn, Branka France, Bright Idea, Bubo bubo, Bullenwächter, C-Lover, C-M, ChristianBier, Christopher, Cinik, Complex, Conny, Daniel 1992, Darkone, DerHexer, Euphoriceyes, Fristu, Gerhard wien, Grevy, Harpagophytum, Herbert W., Hinrich, Hydro, JFKCom, Johann Jaritz, Karl-Henner, Klaus Wagner, Krawi, Kwer Wolf, Liuthalas, Lotron, MPF-UK, Margo basilo, Martin Bahmann, MauriceKA, Max Plenert, MichaelER, Migas, Mike Krüger, Mirek256, Muscari, Mates, Nockel12, Nolispanmo, Olei, Paddy, Palnatoke, Peter200, Radio 24, Schewek, Schlurcher, Schnulli00, Sinn, SpaceJ, Stacharczyk, Stefan, TP12, Taliopo, Tigerente, Tomi, Ulfinger, Vic Fontaine, Wkrautter, Zangala, 78 anonyme Bearbeitungen

**Lärchenholz** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66026007> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Andim, Firefox13, IKAI, Muscari

**Laubholz** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=72805417> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Alter Fritz, Bötsy, Cottbus, Griensteidl, Heiner Brookman (Nawaro), Tom.koehler

**Laurinöl** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=63375632> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Florian Gerlach (Nawaro), 1 anonyme Bearbeitungen

**Lecithine** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68072424> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Alexander ehmann, Arf, Armin P., Ayacop, Be.here.now, Crazybyte, Cvf-ps, Dalmas, Der Lange, Djebrail, Don Magnifico, Don Quichote, Doudo, Fedi, Fgb, Gandalf, Georg-Johann, Hannes Röst, Hardcoreraveman, Hati, Heinte, Henning Ihmels, Herbert Ortner, Hermannthomas, Hoffmeier, Hubertl, Hydro, Ilja Lorek, Janurah, Jens Lang, Kibert, Klaus Höpfner, Lanzi, Leopard, Leyo, Linuxfreck, Löschfx, Magnus, Matthias M., Menrathu, Mhlusi, Midimuda, Mubed, NEUROtiker, Necrosausage, Puppensocke, RanuKanu, Rjh, Roland.chem, Schubbay, Simplificus, Speck-Made, Sprachpfleger, Ticketautomat, Turgon, Ziko, 71 anonyme Bearbeitungen

**Leder** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66534944> *Bearbeiter:* 32X, Acf, Achim Raschka (Nawaro), Aerinsol, Aglarech, Aka, Amonsul, AndreasL, Andy king50, Angie, Anwiha, Ar-ras, Asdert, Avatar, BS Thurner Hof, Baumfreund-FFM, Bernhard Wallisch, Blaufisch, Borsi 12, Buteo, Cattshey, ChrisHamburg, Chrissie, Clemensfranz, Cokeser, Complex, Cottbus, Cymothoa exigua, D, Dagdor, DasBee, Dave81, Dellex, Der Rabe Ralf, Der.Trauemor, DerHexer, Diba, Don Hartmann, Don Magnifico, Engeser, Engie, Enslin, Ephraim33, Euku, Evershagen, FlugTurboFan, Fontifex, FriedhelmW, Fubar, Gernichtsoefach, GeorgVollmers, Gerbil, G1961, Ghoraidh, Gillberga, Gnarr, Gohnarch, Guettler, Gurt, HÖtte, Heiner Grillenberger, Heinte, Helge Sternke, Henning Ihmels, Hermannthomas, Howwi, Hydro, J11, Jarihelm, Jeo, Jeses, Jesi, Jkü, Jodo, Johnny Yen, Jpp, Jutta234, Karl-Henner, Knopfkind, Krakatid, Krawi, Krokofant, Kürschner, L3nnox, La Corona, Louis Bafrance, Maclemo, Martin-vogel, Media lib, Merlissimo, Michael Hobi, MichaelDiederich, Mikue, Mo WNB, Napa, Negotiationsrat, Nemissimo, Neuroca, Nikkis, Ninahotzenplotz, Nolispanmo, Norbert zeescouts, Numbo3, Peter200, Philippendula, Polaris, Procyon42, Ra'ike, Ramsch, Rauenstein, Regi51, RobertLechner, Roland Berger, Roland Scheicher, Roo1812, Roterraecher, Rufus46, Ruppert, S.Didam, S1, STBR, Schewek, Schlurcher, Senip2, Serviceman, Sihel, Sinn, Skriptor, Ssd, Stepro, Supermartl, Tango8, Thornard, Tim Keding, Tragant, Traitor, Trg, Tschäfer, Tzor, Tönjes, Uecke, Unscheinbar, Urbanus, Varina, Ventru, W'Be, WAH, Wahrerwattwurm, Walter Falter, Wiegels, WikiCare, Winge, Wolfgang H.W., Wst, Wurgl, Wurstendbinder, Xocolatl, Zahnstein, Zisler, Zoelomat, ZorkNika, °, 220 anonyme Bearbeitungen

**Leim** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=72360343> *Bearbeiter:* Aglarech, Azdak, Blutgretchen, C.Löser, Carol.Christiansen, Curvededge, DiplomBastler, Drbreznjev, FredericII, Hadhuey, Haneburger, Herrick, Himmelsfisch, Ilja Lorek, KAMiKAZOW, Kku, Martina Kolarek, Numbo3, Osterheck, Peng, Opaly, Silenus, Sonix, Spuk968, Stefan Kühn, Ulrich.fuchs, Update, Vigala Veia, Wofl, Wst, YourEyesOnly, Zellreder, 30 anonyme Bearbeitungen

**Leindotter** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=62604527> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Bjb, Denis Barthel, EPei, Florian Gerlach (Nawaro), Gerd Fahrhorst, Griensteidl, Lanmar, Liuthalas, Markus Steiner, Mike Krüger, Muck31, Olaf Studt, Priwo, SirPrize, Wesener, Wivoelke, Wurgl, 6 anonyme Bearbeitungen

**Leindotteröl** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69512672> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Density, EPei, Florian Gerlach (Nawaro), Klamsr, Koerpertraining, Moguntiner, Painterman, RainerB., Regi51, Romann, Roo1812, Sitacuisses, UlrichJ, YourEyesOnly, 2 anonyme Bearbeitungen

**Leinöl** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69161545> *Bearbeiter:* (127.0.0.1), 32X, 44Pinguine, Achim Raschka (Nawaro), Ahellwig, Aineias, AlMa77, AlexR, Ata, Ayacop, BerZerK, Bernburgerin, Blah, Cat, Chemiewikibw, DaB., Dairy Steward, Denis Barthel, Denis Barthel (WMDE), Der ohne Benutzername, Dicky Arts, Dinah, Don Magnifico, Dundak, Ein halboffener Duschvorhang, Eistretter, Empro2, Ephraim33, Fixlink, Florian Gerlach (Nawaro), Fonzie, Geiserich77, Gerfriede, Gnuke, Griensteidl, Hadhuey, Hafenbar, Heinte, Hermannthomas, Iridos, JD, Jahn Henne, Jörg Preisendörfer, Jüppken, Kai 11, Krawi, Lalar23, Lenny222, Leyo, Linuxfreck, M.ottenbruch, Maikel, Metzner, Michael Carus (Nawaro), Mr.bloom, NiTenlchiRyu, Nobart, Olaf Studt, Orci, Pathomed, Pflaser, Regi51, RobertLechner, Roland Berger, Rufus46, SPBR, Schekinow Alexey Victorovich, Schewek, SiIP, Sleepingbeauty, Steschke, Stoffi, Subn, Tabalooa, Thomas S., ThomasPusch, Traumrune, Vietinghoff, Viktorschauberger, WAH, WinfriedSchneider, Wofl, Wst, Xocolatl, Zahnstein, Zapyon, Zenon, 109 anonyme Bearbeitungen

**Leinölfirnis** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71630587> *Bearbeiter:* (127.0.0.1), Achim Raschka (Nawaro), Allesmüller, Atseog, Bioke, Cornelia-etc., Dairy Steward, Dr.cueppers, Flassig Reiner, Geiserich77, Heiner Brookman (Nawaro), Joachim Schnitter, Maikel, Manecke, Nyks, Quarz, SVL, SebastianoK, SoIssetEben!, Svens Welt, Tom S, Tschäfer, Winfried Mueller, 13 anonyme Bearbeitungen

**Lignin** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64436237> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Andim, Ayacop, Boonekamp, Cactus26, Coatlex, Conny, Cvf-ps, Cymothoa exigua, Das Ohr, Density, Dlobiel, Dnalor, Dschanz, Emergency144, Eschenmoser, Euphoriceyes, Florian Gerlach (Nawaro), Fristu, Griensteidl, Gyoergi, Jocian, Karol007, Kku, KnightMove, Kuebi, Leyo, Linksfluss, Lipstar, MARK, Magnus Manske, Marcel1984, Matthias M., Matthias.Wolf, Penarc, Peter adamicka, Pygmalion, Reinhard Kraasch, Reissdorf, Relus, Roo1812, Saibo, Scooter, Sentae6, Sinn, Sr. F, Stf, Streifengrasmaus, Thomasgl, Update, Vux, Yikrazuul, YourEyesOnly, Zahnstein, 40 anonyme Bearbeitungen

**Lignocellulose** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=60054239> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Florian Gerlach (Nawaro), Heiner Brookman (Nawaro), Jodo, Kuebi, Matthias M.

**Linden (Botanik)** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67840436> *Bearbeiter:* 2micha, A1bi, Achim Raschka (Nawaro), Aglarech, Aka, Andante, Andim, ArtMechanic, BKSlink, Baumfreund-FFM, Bernhard55, Bodenseemann, Boronian, Bubo bubo, Capriccio, Centic, Chrysemys, Church of emacs, Claus Ableiter, CommonsDelinker, Complex, Crux, D, Daaavid, Delian, Der Wolf im Wald, DerHexer, Don Magnifico, Dr. Meierhofer, Engie, Famaflj, Flohbude, Florian Adler, Franz Xaver, Geolina163, Griensteidl, HaeB, Hajothu, HansCastorp, Henrik Buschmann, Hermann Luyken, Hinrich, Howwi, Hubertl, Hydro, Ibn Battuta, Immanuel Giel, Ireas, J budissin, J.-H. Janßen, J11, JFKCom, Jbergner, Jens Liebenau, JochenK, JohannWalter, Jonas, Kai Henning Krüger, Karion, Karl-Henner, Katharina, Klubi, LKD, Lascorz, Leckerchen, Liesel, LoKiLeCh, Ma.Thu, Maltser.de, Martin Bahmann, Martin-vogel, Michael Fiegle, Michael w, Mike Krüger, Murtasa, Muscari, Naddy, Nasenbär, Nina, Oberfoerster, Olaf Studt, Olaf2, Olag, Onkelkoeln, Ot, PDD, Paddy, Peter200, Peterwilhelm, Phil41, Philippendula, Philipp Wetzlar, Philip-Hip, Pitichinaccio, RJensch, RaconomyRE, Rainer Lippert, Ralfonso, Regi51, Renekaemmerer, Roo1812, Seelenstaub, Septembermorgen, SpaceJ, Stefan Scharf, Steinbach, Stephf, Steschke, Succu, Svičková, TableSitter, TheK, TheWolf, Theonly1, Thogo, Thommess, Tullius, Tönjes, Ulf.johannes, Verita, Vic Fontaine, Wikitoni, Wolfgang1018, Xario, Xocolatl, YourEyesOnly, Ökologix, 183 anonyme Bearbeitungen

**Lindenholz** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67691754> *Bearbeiter:* IKAI

**Linoleum** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68156203> *Bearbeiter:* -jha-, 3268zauber, 888344, ADK, APPER, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Admiral, Alltagsfluechtling, AndreasPraefcke, Ayacop, Baern, BesondereUmstaende, Bukk, Cactus26, Capaci34, Chaddy, Cholo Aleman, Chrssff, Ckeen, Concord, Cvf-ps, Dachris, Denis Barthel, DiVers, Diba, Dietze165, Don Magnifico, Enyavar, EvaK, Florian Gerlach (Nawaro), Fuerst R., Gamsbart, Geiserich77, Georg-Johann, Gerhard51, Griensteidl, Gyoergi, Holger.Ellgaard, Idler, Ixitel, Joehen2707, Johnny S., Jpp, Jutta234, Linksfluss, Lofor, Lucarelli, Millbart, Mps, NiTenlchiRyu, Nicor, Oberfoerster, Olei, Ot, Peng, Peterlustig, Pibwl, Pflaser, Pitichinaccio, Regi51, RobertLechner, Roterraecher, S.K., S1, STEHTimHAGEL, Sbaitz, Schekinow Alexey Victorovich, Sinn, Sir James, Southpark, Stefanwege, Tayllerand, Teddychen81, Thgoiter, ThoR, ThomasPusch, Tohma, Tokikake, TomAlt, Ulli Purwin, Ulz, Voyager, Wiegels, WikiJourney, Wolfgang1018, Xeph, Zipferlak, 88 anonyme Bearbeitungen

**Linolsäure** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69173558> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Arneb, Ayacop, Bernhard Wallisch, Cvf-ps, DennisExtr, DerSchim, Docht, Eloquant, Eschenmoser, EvaK, FrankOE, Hermann Luyken, Hubertl, IbeX.ja, Ingosp, Iridos, Jagaloisl, Kobban, LoFi28, Löschfx, M3ax, Mathemaster, Mow-Cow, Olei, Onkelkoeln, Orci, Patrickgo, Reinhard Kraasch, Roland.chem, Sbaitz, SchallundRauch, Stefanja, Da, Unges, WS62, YourEyesOnly, Zaxxon, 32 anonyme Bearbeitungen

**Liste der Holzarten** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73426575> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aglarech, Ahoerstemeier, Aka, BMK, Balü, Brya, ConstantinSander, Dansker, Das Ohr, Denis Barthel (WMDE), Dionoia, Don Magnifico, Eingangskontrolle, El., Flominator, Florian.Keßler, Gerbil, Gruß Tom, Hinrich, JCS, Kaleko, Kettenfangbolzen, Kh555, Krje, LC, Manoc, Mazbln, Mates, Nina, Oberfoerster, Olaf Studt, Ordnung, Parakletes, Parrho, Pittmann, Ralf Roletschek, Randonneur, Regi51, Robb, Robert Stingl,

RobertLechner, Roest, Rufus46, Seewolf, Svenboatbuilder, Tim Pritlove, Tsor, Uwe Gille, W!B., Wiki-Hypo, 97 anonyme Bearbeitungen

**Liste der Kunststoffe** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71876707> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Allesmüller, Androl, Andy king50, Bautsch, Bubo bubo, Complex, Diba, Don Magnifico, Doudo, Eschenmoser, Florian Gerlach (Nawaro), Hendrik J., Hydro, Kabelsalat, Krawi, Krem21, Leyo, Loh, Maroe99, Moebius1, MovGPO, Niteshift, PDD, Parakletes, Paul6684, Ra'ike, RedPiranha, Roland.chem, Sargoth, SchaubM, Schwalbe, Sixsifoma, TyborBe1, Uwe Gille, 45 anonyme Bearbeitungen

**Lyoell** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=61682734> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Aka, Codc, Delfinin, Dschanz, Florian Gerlach (Nawaro), Menandros, Pelz, Tolliver, 5 anonyme Bearbeitungen

**Mais** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66688872> *Bearbeiter:* 3268zauber, A.bit, A.mann, AHZ, Abc2005, Achates, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aglarech, Aka, Alba7, Alexander.stohr, Allesmüller, Appaloosa, Atamari, Avatar, Avoided, BK, BMK, Baumfreund-FFM, Bdk, Ben-Zin, Bettenburg, Birger Fricke, Bjc, Björn Bornhöft, Bodenseemann, Bouwe Brouwer, Brackenheim, Btr, Burgkirsch, Buteo, Bzzz, Bärski, Carstor, Chaddy, ChrisHamburg, Chrisa50, Complex, Conversion script, Crazybyte, Crux, Cyrus Grisham, Daniel 1992, Darkone, DasBee, Decius, Denis Barthel, Der.Traeumer, Dickbauch, Die zuckerschmute, Don Magnifico, Don Vincenzo, Dr. Reinhard Medicus, Dufresne77, Dundak, Dvda92, Eloquence, Engie, Erdal Ronahi, EricS, Fafner, Feloidea, Fgb, Fice, Florian Adler, Florian Gerlach (Nawaro), Franz Xaver, Gamma9, Georg-Johann, Gerbil, Gereon K., Giocosio, Grashüpfer, Grey Geezer, Griensteidl, Guisquil, Gulp, HaeB, Hagen Graebner, HansCastorp, Head, Heiner Brookman (Nawaro), Heinte, Himmelsgarten, Holger I., Holscher, Horsefreund, Howwi, Hubertl, HudriwudriS, Hydro, Informatik, Ipers, JFKCom, Jackcwt, Jackie Chan, Jed, Jivee Blau, Joadl, Johann Jaritz, Jordi, Juess, Juesch, KOchstudIO, Kalli R, Karl Gruber, Katach, Kenji, Kleinjakob, KnightMove, Koerpertraining, KollerShaker, Kontrollstellekundl, Krawi, Krtek76, Kuebi, LKD, LeonardoRobot0, Limbonic., Linksfuss, LosHawlos, Louis Bafrance, MGR, Ma'ame Michu, Macgalk, Manecke, MarkusHagenlocher, Martin Bahmann, Martin Stettler, Martin-vogel, Mdangers, Menoliti, MickiMedia, Mijobe, Mikano, Mikue, MsChaos, Nahabedere, Neitram, Nepenthes, Nerd, NineBerry, Nolispanmo, Oberbefehlshaber, Oberfoerster, Ot, OttoBauer, Paddy, Paramecium, Pege,founder, Pelz, Pendulin, Peregrinus, Peter200, PhJ, PhilippWeissenbacher, Pierre gronau, Pittmann, Pm, Prolineserver, Prolinesurfer, Qhx, Raubsaurier, Raymond, RealBorg, Regi51, Reinhard Kraasch, Ri st, Robert Kropf, RobertLechner, Roest, Rolf H., Rondoo, Roo1812, Rosenzweig, Rrdd, S1, SHPT, STBR, Saibo, Schewek, SchirmerPower, Schorschski, Sebastian V, Seewolf, Segantini, Sempser, Shannon, Sicherlich, Sinn, Sionnach, Sol1, Solid State, Spuk968, Stefan Ratschan, Stefan h, Steffen, Sven-steffen arndt, Symbiose-BW, Tafkas, TheWolf, Tigereute, Tilman Kluge, Timohummel, Tlustulimu, Tobnu, Trac3R, Tschäfer, Tsui, Tönjes, V.R.S., Verum, Vic Fontaine, Vulture, W.J.Pilsak, WaldiR, Wbgerner, Webkid, Weiacher Geschichte(n), Wernazuma, Wiedemann, Wilske, WodyS, Wolfgang1018, Wst, Würstchenkönigin, XJamRastafire, Yak, Youandme, YourEyesOnly, Zapyon, Zerohund, 294 anonyme Bearbeitungen

**Maissilage** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65323197> *Bearbeiter:* AHZ, Achim Raschka (Nawaro), Andreas aus Hamburg in Berlin, Axel Farr, Baitronic, Eckart Müller, Schwerigen, Florian Gerlach (Nawaro), Heiner Brookman (Nawaro), Klaus Frisch, UlrichJ, WodyS, YourEyesOnly, 1 anonyme Bearbeitungen

**Maistroh** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65323789> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Happolati, Jergen, Lohan, Papa1234, Rallig, Rita2008, THWZ

**Maniok** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73378125> *Bearbeiter:* A1000, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Alchemie, Amphibium, Andromedus, Atamari, BMK, Beyer, Bierdimpfl, Biologos, Birger Fricke, Blaustein, Burgkirsch, Ceroman, Chemikus001, Christoph D, DelleX, Der.Traeumer, DerHexer, Dietzel, Eichhorn, El., Elya, Engie, Frankee 67, Frankrae, Franz Xaver, G-C, Giftmischer, Giocosio, Halbarath, Heiner Brookman (Nawaro), Hendrik J., HenrikHolke, Herr Klugbeisser, Hofres, Hubertl, Inkowik32, Ixitxel, JFKCom, Jivee Blau, Joerg Winkelmann, JonBs, Jost Riedel, Jotfried, Kakoui, Karl-Henner, Kingruedi, KnightMove, Leyo, Lofor, Marlazwo, Martin-vogel, Marvin79, Mnh, Mr.crispy, Musbay, Nichtbesserwisser, Olaf Studt, Onkelkoeln, OsGr, PartnerSweeny, Peter200, Pill, Pohl, Pschlueter, Renato Cianiati, RobertLechner, Rohi, Ron63, Saperaud, SchallundRauch, Sei Shonagon, Shisha, Spuk968, Stefanhanoi, Stephan Piotrowski (Nawaro), Stfn, Succu, Sven-steffen arndt, Thoken, Thomas E, Thuringius, Tigereute, Tlustulimu, Tönjes, Vic Fontaine, Wesener, Wiktator, 70 anonyme Bearbeitungen

**Matratze** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70273582> *Bearbeiter:* 08-15, A.bachthaler, AHZ, AVG, Achim Raschka, Aka, Akkad, Akl, Albrechtleben, AndreasPraefcke, Andy king50, Arne1085, Asdfj, BLueFiSH.as, Bierdimpfl, Biezl, Böke-14, Carpet69, Cat Scan, Ciciban, CosmoKramer, DALIBRI, DJSPotlight, DaSch, Darkone, DasBee, Diba, Dietmar Wagner, Dinetop, DrSeehas, Dynaglobe, Einfach-Schlafen, Engie, Euphoriceyes, FNORD, Florian Gerlach (Nawaro), Frau Holle, Fristu, Fullhouse, Gemüsebürger, Gnom, Hadhuey, Hedwig in Washington, Hofres, Hubertl, Ilja Lorek, Informatik, JKS, JWBE, Jaques, Jodelhuber, Kku, Klaus2569, Kletterbuxe, Korpsvart, LKD, Leyo, Logograph, Louis Bafrance, Lukas (Admin), MPrucha, Man77, Manuae, MarkusHagenlocher, Marlazwo, Matze6587, Mnh, Mootros, Mps, O-fey, PaterMcFly, PeeCee, Pelz, Perrak, Peter in s, Pfaerich, Philipendula, Poc, ProfessorX, Rimshot, Robin Goblin, STBR, Shogazi, Simplicious, Sir James, Slamdark ru, Sr. F. Steevie, Stilfehler, Suiress, SwordSmurf, Thorbjoern, Toolittle, Touch.and.go, Tönjes, Ubongo azul, Vodimivado, Volkmar Schoen, Wasserseelie, WikiJourney, Wolfgang1018, Zillermann, 216 anonyme Bearbeitungen

**Melasse** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66360671> *Bearbeiter:* A.Rhein, Achim Raschka (Nawaro), Antrios, Ayacop, BLueFiSH.as, BMK, BSide, Bierdimpfl, Chrisfrenzel, Dein Freund der Baum, DocMario, Ediphil, Eike sauer, Elmschrat, Fossa, Frits, Geof, HaSee, Hannes Röst, Head, Hunding, JPense, Julbe, Kat Mandu, Katharina, Koplotra, Kurt Jansson, Landwirt, Leipnizkes, Löschfux, MGLa, MarcelMelzer, Martin-vogel, Matzefn1, Narvalo, Nmoas, Numbo3, Oliver S.Y., PanchoS, Parakletes, Purp, Rainer Zenz, Raki123, Rdb, RobertLechner, S.K., Small Axe, Soebe, Strohhut, Superbass, Thomas Rabold, Thorbjoern, Tilla, Tobnu, Wesener, YourEyesOnly, 46 anonyme Bearbeitungen

**Methanbildung** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68352298> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Aka, Ayacop, Brudersohn, Buteo, Cvf-ps, Don Magnifico, Gleiberg, Heiner Brookman (Nawaro), Hydro, J C D, Jimynu, Jüppken, Paramecium, Succu, Tetris L, Tilla, Uwe Gille, Wiki-Hypo, Zahnstein, 14 anonyme Bearbeitungen

**Methylcellulose** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=60586464> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Crazy-Chemist, Don Magnifico, Dschanz, FK1954, Fasten, Florian Gerlach (Nawaro), Inkogn'to, Jörg-Peter Wagner, Leyo, Ljfa-ag, Matthias M., Mgehrmann, NEUROtiker, Orci, Patmann, Querverplänker, Rjh, Schnulli00, Speck-Made, Uwe Gille, 10 anonyme Bearbeitungen

**Milchsäure** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66596788> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Afri, An.andre, Augiasstallputzer, Autan, Avoided, Ayacop, BKSlink, Barbullo, Berlin-Jurist, BlauKatze, Boemmels, Chemiewikibm, Chemiker, Church of emacs, Complex, Crazy-Chemist, Cvf-ps, D, DerHexer, Dirk Nolting, Don Brot, Drahreg01, Drpagel, Dullnraamer, Elzecko, Eschenmoser, Euku, FK1954, Fedi, Firsthuman, Fkoch, Heinte, HenHei, Hoffmeier, Hubertl, Hubi, Invisigoth67, JCS, Janz, Johnny Controletti, Johnny Yen, Juergen Bode, Juesch, Juliana da Costa José, Jü, Krawi, Lax, Leichtbau, Leyo, Lictuel, Lupinoid, Magnus, Mardil, Mathemaster, Matthias M., Mhliu, Muck, NEUROtiker, Nb, Oliver Frick, Orci, Otets, P373rLu5719, PvQ, Rhododendronbusch, RobertLechner, Roland.chem, Roland1952, Roo1812, RoswithaC, Rrdd, S1, STBR, Schmidtdtchen, Sebastian Raible, Shahriyar alavi, Speck-Made, Stefan da, Steffen 962, Subn, SuckXez, Suiress, Symposiarch, Trickycockyto, Uwe Gille, WeißNix, Westiandi, Wickie37, Wikipartikel, YourEyesOnly, Zep, Zerohund, 105 anonyme Bearbeitungen

**Mindergetreide** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=51239867> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), AwOc, BMK, Denis Barthel, Florian Gerlach (Nawaro)

**Miscanthus** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69855629> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Anglo-Araneophilus, Bdk, Cebylon, Cymothoa exigua, Denis Barthel, Felix Stember, Hydro, Mike Krüger, Muscari, Olaf Studt, Pinof, Richarddd, Rongoku, Tetris L, Wiedemann, WissensDürster, 4 anonyme Bearbeitungen

**Mitteldichte Holzfaslerplatte** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71644728> *Bearbeiter:* -jkb-, 1-1111, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Avoided, Cepheiden, ChrisHamburg, Das Ohr, Dinah, DiplomBastler, Dnalor, Dstern, Entlinkt, Ettus, Florian Gerlach (Nawaro), Flothi, Grimmis9 rade, Gruni07, Hermannthomas, Ikiwaner, Kalli R, Katerasrael, Kuebi, Label5, LonelyPixel, Lukian, Magnummandel, Martina Kolarek, MatthiasKabel, Mikue, Nemissimo, Oberfoerster, Peter200, Pittmann, Roterraecher, Rsdrrs, SWAN.dp, Secular mind, Stauba, Steffi 55, Telly, Tomte, Walter.pinter, WeSchKR, Wilske, 73 anonyme Bearbeitungen

**Mohrenhirse** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68039220> *Bearbeiter:* APPER, Accipiter, Achim Raschka (Nawaro), Aineias, Aka, Blaufisch, Bugdream, Denis Barthel, Denis Barthel (WMDE), Florian Gerlach (Nawaro), Gerbil, Griensteidl, Hydro, Irmgard, JWBE, Jordi, Kramlinger, Maxwell st, Mnh, Nipisiquit, Paunaro, Raubfisch, Rigadoun, Rubel(nawaro), S.K., Sgasser, Stephan Piotrowski (Nawaro), Vitellaria, WikiJourney, Wolfgang1018, WortUmBruch, Woste63, 15 anonyme Bearbeitungen

**Molke** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68396061> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Alexander Z., Amilamia, Bierdimpfl, Calderwood, Cholo Aleman, Cosal, DerHexer, Engie, Florian Gerlach (Nawaro), FotoFux, Gerd Breitenbach, HT12, HaSee, Highdelbeere, Ilja Lorek, Kickof, Koch-Matzi, Konzales, Kurt Jansson, Magnus Manske, Maikel, Matt1971, Mhi, Nerd, Neuschwabenland, Peterlurig, Pm, Poppei, Purp, Rainer Zenz, Redecke, SKopp, Sansculotte, Schubbay, Steevie, Streifengrasmaus, TRS, Utziopi, Varina, WikiNight, Wikinger08, Wikipartikel, Wuzel, YourEyesOnly, Zawumm, Zerohund, 60 anonyme Bearbeitungen

**Mulchfolie** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=59294884> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Birgit Herrmann (FNR), Florian Gerlach (Nawaro), Jü, PM3, Succu

**Nachwachseder Rohstoff** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73280723> *Bearbeiter:* 7Pinguine, A.Rhein, Abe Lincoln, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aineias, Aka, Alaska, Aloiswuest, Asthma, Avoided, Avron, Boatcopy, Bobbl, Brummfuss, Btr, Cethegus, Chesk, Chrisfrenzel, ChristophDemmer, Clemensfranz, Conny, Crazybyte, Crux, Dapete, Darkone, DasBee, DelleX, Denis Barthel, Denis Barthel (WMDE), Der Rabe Ralf, Der.Traeumer, DerHexer, Diba, DocTrax, Don Magnifico, Dr.cueppers, Elmschrat, Engywuck, Ephraim33, Euku, Euphoriceyes, FEXX, Felix Stember, Florian Adler, Franz Halac, Geof, Ghw, Giftmischer, Gpeterk, HH58, Hadhuey, HaeB, Halbarath, Hans Koberger, HansCastorp, Heavyweather, Heiner Brookman (Nawaro), Heinte, Hempstar, Herbertweidner, Herr Meier, Hinrich, Holscher, Horger, Ixitxel, J.-H. Janßen, JOE, JakobVoss, Jashuah, Joschun, Karlkrieger, Kickof, Kku, Klimper, Kliv, KommX, Krawi, Käpten Balu, Kürschner, LAK Ioho, LKD, Leider, Liberal Freemason, Linveggie, LittleChemist, Logograph, LuLiSchen, Lyzzy, Macby, MalteAhrens, Marcus Beyer, Martin Bahmann, Mgmmax, Michaelruderals, Mnh, Motiko98, MsChaos, Muscari, NEUROtiker, Nikai, Nolispanmo, Oberfoerster, Oceanetaceen, OecherAlemagne, Oktober, Olaf Studt,

Onee, PM3, Parrho, Peter200, Pittimann, Pm, Polarllys, Polentario, Poupée de chaussette, Redf0x, Richarddd, Rongoku, RudolfSimon, Rufus46, STBR, Salevin18, Salmi, Schmitty, Senfmann2, Sinn, Sogethcity, Speedo83, Spritzendorfer, Spuk968, Steffen, Stephan Piotrowski (Nawaro), Suirenn, Summ, Svens Welt, TheK, TobiasGr, Togo, Tragant, Tschäfer, Tönjes, Udo Schuldt, Van Flamm, Verum, Vonsoeckchen, W!B:, WAH, Widescreeen, Wissen, Wladmeister, Wolf32at, Zahnstein, 199 anonyme Bearbeitungen

**Nadelholz** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71611606> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Oberfoerster, 3 anonyme Bearbeitungen

**Nahwärme** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71143394> *Bearbeiter:* Acky69, Arnulf zu Linden, Conny, Emkaer, Florian Gerlach (Nawaro), Friedrichheinz, Hydro, Joise, Mawa, Mef.ellington, Tetris L, Zahnstein, 9 anonyme Bearbeitungen

**Naturhaustoff** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73433309> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Ahellwig, BLueFiSH.as, ChristophDemmer, Christophe Watier, Dinah, Gottie, Griensteidl, Henning Ihmels, Hundsstern, Korn1989, Krawi, Kwer Wolf, Muck31, Napa, Nepenthes, Olaf Studt, Pelz, Spritzendorfer, TomAlt, Zahnstein, 7 anonyme Bearbeitungen

**Naturdämmstoff** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69159388> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Aka, ChristianGlaeser, Cymothoa exigua, Denis Barthel, Engelbaet, Florian Gerlach (Nawaro), Freedom Wizard, HenrikHolke, Martin H., Nils Simon, PM3, Pelz, RolandS, Willy80, 4 anonyme Bearbeitungen

**Naturfarbe (Anstrichmittel)** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=62285526> *Bearbeiter:* ANKAWÜ, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Florian Gerlach (Nawaro), Gpeterek, Hardcoreraveman, PM3, Roland1952

**Naturfaser** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71909269> *Bearbeiter:* 20percent, Achim Raschka (Nawaro), Andy king50, DaB., DerHexer, Don Magnifico, Gerbil, HaSee, Ikiwaner, Lucyd, Martina Kolarek, Napa, RolandS, Spinnerin, Spuk968, Stephan Piotrowski (Nawaro), Zoelomat, 15 anonyme Bearbeitungen

**Naturfaser-Spritzguss** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69201289> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), AndrewPoison, Dormira, Florian Gerlach (Nawaro), HAL Neuntausend, HaSee, Slartibartfass, Tim Huber (Nawaro), Weissbier, WolfgangS, ZweiBein

**Naturfaserverstärkter Kunststoff** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73332765> *Bearbeiter:* A.Haider, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Andreas aus Hamburg in Berlin, Chrisfrenzel, Denis Barthel (WMDE), Don Magnifico, Gyoergi, HaSee, Hanns-ulrich, Heinte, Hlambert63, Martina Kolarek, Nassauer27, QualiStatQuanti, Rufus46, Stephan Piotrowski (Nawaro), Tim Huber (Nawaro), Uwe Gille, 7 anonyme Bearbeitungen

**Naturkautschuk** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71162602> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Amphibium, Andrew-k, Anhi, Asketix, Avoided, Ayacop, BK-Master, Bertonymus, Blaubahh, Blauebirke, Brina-81, Catfisheye, Cherubino, Chieggie, Cjmatset, Crux, Cvf-ps, Cymothoa exigua, D, Der Wolf im Wald, Diba, Don Magnifico, EIRaki, Engie, EvaK, Fab, Feba, Felix Stember, Frankrae, Gmhofmann, Goldzahn, Hadhuey, Hannes Röst, HardDisk, He3nry, Heiner Brookman (Nawaro), Hgr, Horst74, Hubertl, JAF, Jossi, Jpp, Karl-Henner, Krawi, Kuebi, LKD, LabFox, Lofor, MFM, Matt1971, MatthiasKohrs, Mazbln, Mikue, Mr. Anderson, Nolispanmo, Olei, Oratio, PRA, Parvus77, Pedi, Peter Steinberg, Pischdi, Pizzaboy1, Pm, Polykarbon, Primus von Quack, Regi51, Rhaessner, Robodoc, RokerHRO, Rolf H., Roo1812, S1, Schwalbe, Semper, Shogazi, Sinn, Soebe, Sr. F, Srbauer, Sritau, St.Krekeler, Staro1, Steevie, Stepa, Stern, Stuffi, Supermartl, Surfacecleanerz, Swoon, Talpa, Tauriel, Temistokles, Togo, Toolittle, Trotamundos, Tsor, Tönjes, Ureinwohner, Ussschrotti, Uwe Gille, Vic Fontaine, Wiedemann, WikiJourney, Wittkowsky, Wst, X-Weinzar, Xario, YourEyesOnly, Zahnstein, Zapyon, Zenit, Zillermann, Zundelfrieder, 176 anonyme Bearbeitungen

**Naturkosmetik** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73332987> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Buteo, ChiemseeMan, Christianmaria, Der.Traeumer, Dinah, Drifty, Erzbischof, Florian Gerlach (Nawaro), Frommsel, Helehne, Kungfuman, LKD, Louis Bafrance, Madita123, Nepomucki, PM3, Philophax, Reinhard Mussik, Renekaemmerer, Robertkniedel, Samy2, Umschattiger, Wikifreund, 11 anonyme Bearbeitungen

**Nawaro-Bonus** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66461499> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Blacks7, Density, Heiner Brookman (Nawaro), Pionic, Sa-se

**Nichtholzprodukt** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64043484> *Bearbeiter:* 32X, Achim Raschka (Nawaro), Cat, Denis Barthel (WMDE), Florian Gerlach (Nawaro), Mathiasb, Soll, Wladmeister

**Niembaum** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70078454> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Aka, Amurtiger, Andante, Azadirachta, Birger Fricke, Chichichevere, Cholo Aleman, Code, Dellex, Density, DerHerrMigo, DerHexer, Dolos, DrSeehas, Echolot, Ephraim33, EricPoehlsen, Ericsteinert, Firetwister, Florian Gerlach (Nawaro), Fortress, Franz Xaver, Frosty79, Fujicolor, Georg-Johann, GeorgVollmers, Gilliamjf, Gleiberg, Howwi, Hydro, Idler, JFKCom, Javaprog, Jörg Knappen, Koerpertraining, Larf, MFM, Man-u, Media lib, Michael w, Muscari, Neon02, Oberfoerster, Olaf Studt, Onkelkoeln, Pfmeurer, Phil41, Philipendula, Pill, Pm, Rolf Maria Rexhausen, Rudflodur, SchokoZumFrystyck, SchriftJaeger, Schusch, SiIP, Uwe Gille, Wopo, Xquenda, Yelzin, Yuszuv, Zaphodia, Zaungast, Zotteli, 46 anonyme Bearbeitungen

**Nutzhanf** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64882264> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Armin P., Belowhumor, DKruse, Dellex, Denis Barthel, Denis Barthel (WMDE), Diba, DrJunge, EisfeeNRW, Florian Gerlach (Nawaro), Ghw, Guffi, He3nry, Hemmed, Henning Ihmels, Heribert87, High Contrast, Hubertl, IKAl, Jemandanderes, Jtrog, Jörg der Wikinger, Karsten11, Kippi70, Kuru, Lehrer Lämpel, Maikel, Marcus Cyron, Mitteleuropäer, Mms, Morphopos, Muscari, Napa, Nicor, Oliver S.Y., Polentario, Rapober, Regi51, Roo1812, Scandi, Schlesinger, Simplicius, Sophophileros, Stadtschrat, Stulfelher, Talaris, Tarantoga, Transmind, Tribble, Tönjes, Wiegels, Wikipeded, Yikrazuul, 23 anonyme Bearbeitungen

**Nutzpflanze** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73503457> *Bearbeiter:* 1st.chaperon, 80686, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Agathenon, Aglarech, Ahellwig, Ai, AlexR, Alexander Sommer, Alfredovic, AndreasE, Aph, Aragorn05, Arundel, Avoided, Ayacop, BJ Axel, BLueFiSH.as, BS Thurner Hof, Baldhur, Birger Fricke, Blortz, Bsmuc64, Burgkirsch, Carstor, Cjesch, Claus Ableiter, Commons, Convallaria, Conversion script, Crux, Cvf-ps, Dagdor, Daniel FR, Density, Don Magnifico, Düsentrieb, E-prinz, Ejfis, Engie, Ephraim33, Ericsteinert, Felix Blum, Flominator, Florian Gerlach (Nawaro), Florian77, Frankrae, Franz Xaver, Fristu, Gerbil, Gerhard Elsnor, Giosoco, Griensteidl, Guisquil, HaSee, Hadhuey, Hafenbar, Hagen Graebner, Hardenacke, Harro von Wuff, He3nry, Hedwig Storch, Heiner Brookman (Nawaro), Heinte, Hempstar, HenrikHolke, Herrick, Hoffmeier, Howwi, Hyssopus, JFKCom, Julo, Knoerz, Kulac, L3XL0GiC, LKD, M mb, MGR, Ma-Lik, MarkusHagenlocher, MarsmanRom, Max Plenert, Mbc, Migas, Mijobe, Milvus, Muscari, NEUROtiker, Nicor, Ninjamask, Numbo3, OTTO.R.M., Olaf Studt, Olei, Onee, PM3, PetHer, Peter200, Peterlustig, Phil41, Philipendula, Pittimann, Pm, Presse03, Rainer Lewalter, Rainer Zenz, Ralf.heete, Re-mark, Renekaemmerer, Riemenschneider, RobertLechner, Roest, Roo1812, Rs newhouse, Rufus46, SabineCretella, Schmitty, Schnulli00, Scooter, Sdo, Septembermorgen, Sinn, Southpark, Stefan Kühn, Stefan Ruehrup, Stefan64, Stummvoll, Supermartl, TTY, Terabyte, Tobias Bergemann, Trac3R, TropischesFruchZwergal, Tsui, Uwe Gille, Vic Fontaine, W!B:, Westiandi, Wilske, Wirthi, Wissen, Wivoecke, Wst, Yeahx3, YourEyesOnly, Zahnstein, Zaphiro, Zinmann, Zundelfrieder, ArmaXpncr, 236 anonyme Bearbeitungen

**Ökologisches Bauen** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71135881> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Aruck, Bertramz, Bfroh, Biotek, DasBee, Dirk Scharmer (Nawaro), Docmo, Erdhummel, Flominator, Florian Gerlach (Nawaro), Forevermore, GreenBuilding, Hadhuey, Holgermoos, Hydro, Jed, Kubrick, LKD, MBq, Mailtosaf, Martin Zeumer, Martin.Schnellinger, RG1421, Roland Kaufmann, Roo1812, S1, Saibo, Semper, Silenus, Sinn, Spritzendorfer, Stern, Th., TomAlt, Tsor, Tönjes, Wilske, YourEyesOnly, Zollernalb, 54 anonyme Bearbeitungen

**Oleochemie** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70826735> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Cvf-ps, Florian Gerlach (Nawaro), Heiner Brookman (Nawaro), Linksfuss, Nepomucki, SabineCretella, Tuxman, 1 anonyme Bearbeitungen

**Ölertrag** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=60225077> *Bearbeiter:* Abubiju, Ciciban, Flominator, Florian Gerlach (Nawaro), Günter Barten (Nawaro), Hadhuey, Jaellee, Mike Krüger, Oliver S.Y., Thomas S., Wolfgang1018, Wst, Zahnstein, 3 anonyme Bearbeitungen

**Ölmühle** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69201030> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Acky69, Alex Anlicker, AusbauBär, BMK, Bahmoeller, Bdk, Begw, BjKa, Blaufisch, Daniela Rätz (NaWaRo), Dominik Vogt (Nawaro), Don Magnifico, Florian Gerlach (Nawaro), Gnom, Günter Barten (Nawaro), Hadhuey, Hans-Peter Scholz, HelgeRieder, Hydro, Ikiwaner, JD, Jodo, Johnny Controletti, JuergenL, Leyo, Müller Andreas, Ovidverband, R.Schuster, Ramsch, Raymond, Rosenzweig, Septembermorgen, Soerga, Stefanb, Tbachner, Tetris L, TotoAG, Tronicum, Ulsimitsuki, Victor-H, Vralph, WOBES333, Wst, Zumbo, 34 anonyme Bearbeitungen

**Ölpalme** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66676312> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Aka, Andrvoss, Atamari, Ayacop, Birger Fricke, Björn Bornhöft, Blaufisch, Blech, Civvi, Danares, Denis Barthel, DerHexer, EdytaT, Fabian7351, Florian Gerlach (Nawaro), Frankrae, GDK, Geiserich77, Griensteidl, Guisquil, HaeB, HansCastorp, Heinte, Hydro, Inkowik32, JFKCom, JennelBerlin, Jens Lallensack, Juesch, Martin-vogel, Mike Krüger, Muscari, Necrophorus, Nobikles, Nockel12, Olaf Studt, Paddy, Peter200, Pizzaboy1, Ray Lomas, Revvar, RobertLechner, Schubbay, Septembermorgen, Simplicius, Speifensender, Thunfischpizza, Uwe Gille, Vic Fontaine, Vitellaria, Vodimivado, Vux, Wesener, Wladmeister, Wolfgang1018, Zaungast, 46 anonyme Bearbeitungen

**Ölpresse** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=62307135> *Bearbeiter:* Daniela Rätz (NaWaRo), Florian Gerlach (Nawaro), Friedrichheinz, Günter Barten (Nawaro), Hofres, RobertLechner

**Ölsaar** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64111006> *Bearbeiter:* Abubiju, Achim Raschka, Aglarech, Aka, Alex Anlicker, Anaximander, DTeez, Denis Barthel (WMDE), Don Magnifico, Dormira, Flominator, Florian Gerlach (Nawaro), Griensteidl, Günter Barten (Nawaro), Jaellee, JuergenL, Mkleine, Nobikles, Oberfoerster, Olaf Studt, Ovidverband, Schewek,



Togo, TotoAG, Trainspotter, Wiki-Hypo, Wimox, Wolfgang1018, Wst, YourEyesOnly, Zahnstein, 148 anonyme Bearbeitungen

**Pflanzenölkocher** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64286929> *Bearbeiter:* Der Rabe Ralf, Florian Gerlach (Nawaro), Günter Barten (Nawaro), Krawi, Leonach, Menoliti, Millbart, Papa1234, Tetris L, 7 anonyme Bearbeitungen

**Pflanzenzüchtung** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73203131> *Bearbeiter:* Achates, Achim Raschka, Average Man, BMK, Blortz, Brummfuss, ChrisHamburg, CyborgMax, Cyrus Grisham, Dimitrios, Discomycet, El., Ephraim33, Eynre, FMoecel, Ffichtner, GFJ, Ghghg, Gleiberg, Hydro, Jarlhelm, Judit Franke, Kku, Letdemsay, MGR, Mnh, Mo4jolo, Muck31, Nb, Nikkis, Oberfoerster, Peter200, Radunze, STBR, Sinn, T.M.L.-KuTV, Tilman Kluge, Tobi B., TomKidd, Trac3R, Tschasensky, Tönjes, Uwe Gille, WAH, WOBEx3333, YourEyesOnly, 84 anonyme Bearbeitungen

**Phytopharmakon** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70826635> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Com, EbbeSand, Heiner Brookman (Nawaro), Hernani, JCS, Kater Karlo, KurtR, Lefcant, McKaot, Moros, Nolispanno, Omphalos, Peterlustig, Sven Jähnichen, Uwe Gille, 4 anonyme Bearbeitungen

**Plastiktüte** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64769064> *Bearbeiter:* AHZ, Abubiju, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Andreas56, AndreasPraefcke, CatX3000, Crux, Daniel FR, Dellex, Erdhummel, FEXX, Fasten, HaeB, Hartmann Schedel, JCS, Jef-Infojef, Jordi, Kuebi, Laubbaum, LaubfroschBlues, LeonardoRob0t, Linus Pogo, Martin-vogel, Matt1971, Menrathu, Mnh, Mo4jolo, Mopelia, NormanK, Offroad4fun, Parakletes, Pilawa, Plastikvernichter, Richard L, Rita2008, Roland.chem, S1, Schramme, Schwalbe, SibFreak, Sicherlich, Stefan h, Thorbjørn, Tillwe, Tim Simms, Tirkon, Tohma, Tulkas, Tux2000, UKGB, Uka, Verum, Wolfgang1018, Wst, Zaphiro, 33 anonyme Bearbeitungen

**Polyethylen** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65998516> *Bearbeiter:* ADwarf, Achim Raschka, Aka, Allesmüller, Arnulf zu Linden, Avoided, Baumanns, Bbenrath, Bernhard Wallisch, Bierdimpfl, Cepheiden, ChristophDemmer, Cvf-ps, Daboss, Dellex, DerHexer, Diba, Die kleine Petze, Diwas, Don Magnifico, Drpagel, Echoray, Engie, Entlinkt, Ephraim33, Eschenmoser, Euku, Fabian Schödel, Fedi, Felix Stember, FelixP, Fjmi, Flo-ohne-h, Florian Adler, Freudissimo, Gardini, Gartenflo, Gkai, Gpf, Hadhuey, Harrywiki, Henning Ihmels, Ironix, Jackcwr, Januarh, Jaques, JaynFM, Jms, Johannes Mockenhaupt, Jörn, Kubrick, Kuebi, Leyo, LinStattWin, Linksfluss, LinveggieLÄ, Ljfa-ag, LovelyActress, Lumbar, M.Ebner, Macki, Martin-vogel, Master of Chess, Maxus96, Merlissimo, Michail, Mikue, Moguntiner, Moino, Nagy+, Olei, Oliver Tölkes, Orci, Ot, Philipendula, Postman Lee, Ralf Roletschek, RedPiranha, Rob Irgendwer, Robert M., RokerHRO, Rq, Rs newhouse, Salino01, Sambale, Schatzmaus, SchaubM, Schwalbe, Scooter, Septembormorgen, Simisa, Soebe, Taimon, Thogo, Thomas, Tommy Kellas, Totenmontag, Tönjes, Ulfbastel, Uwe W., Van Flamm, Volker E., Wela49, WikipediaMaster, Wolfgang1018, Wolfy, Wunderland, YourEyesOnly, Zaungast, 190 anonyme Bearbeitungen

**Polyhydroxyalkanoate** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=61371895> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Ayacop, Cvf-ps, Denis Barthel, DoriWi, Florian Gerlach (Nawaro), Frankreinecke, FriedhelmW, Heinte, Jü, Mnh, MsChaos, Orci, Rjh, Schwalbe, Sts, Wiegels, 7 anonyme Bearbeitungen

**Polyhydroxybuttersäure** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69158707> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Albertr, Ayacop, Callibso, Cvf-ps, Denis Barthel, DoriWi, Florian Gerlach (Nawaro), Freedom Wizard, Jü, Matthias M., Minderbinder, Mnh, Orci, PDCA, SchokoZumFrystyc, 5 anonyme Bearbeitungen

**Polyactide** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=68302716> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Andreas aus Hamburg in Berlin, Bsteinmann, Chemiewikibm, Dominix, Eschenmoser, Friedrichheinz, Gereon, Hannes Röst, Heinte, Jens-uwe, Krevuf, Markus Götz (Biopolymere), Markus Schweiß, Nassauer27, Numbo3, Orci, Peter200, RedPiranha, Roterraecher, Rwrith, Sa-se, Schwalbe, Shavarsh, Stepa, Thiesi, Tim Huber (Nawaro), Tox, Video2005, Wikiman123, Willich (Nawaro), °, 32 anonyme Bearbeitungen

**Polyole** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70274032> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Basilicofresco, Cvf-ps, He3nry, Hydro, Keigauna, Leichtbau, Leyo, Ligulem, MarcoBorn, Plehn, Rjh, Rolf, Schwalbe, Steffen, Thiesi, 19 anonyme Bearbeitungen

**Polyurethane** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71642926> *Bearbeiter:* A-4-E, AVG, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Adibeyeler, Aka, Allesmüller, Arnulf zu Linden, BadPhil, Bigkahuna, BjKa, Bojo, Cepheiden, Chatter, Chemiewikibm, ChrisHamburg, Codeispoetry, Cvf-ps, DerHexer, DerRaoul, Dnalor, Don Magnifico, Doudo, Dr.cueppers, Dymowant, Emil Bild, Engie, Entlinkt, Eschenmoser, Euphoriceyes, FK1954, Fedi, FeiYuQing, Fentanyll, Fouk, Francisco Pallás, Fristu, Gamma9, Garfilius, Geiserich77, Geist, der stets vermeint, Geja, HCass, Hans Kobberger, HenrikHolke, Highspeed, Holleseppe, Igge, Ikiwaner, Jensbarthelmes, Jmsanta, Johnny Controlletti, KM1980, KarlUdo, Kickof, Kirchm, Kku, Kleiner Elektriker, Koerpertraining, Kreislm, LKD, Leyo, MarioP, MarkusZi, Matthias M., Mnh, Moebius1, Momo, NEUR0tiker, Nikkis, Noip, Orci, PU53, Pascal Auricht, Peter200, Philipendula, Pilzmann, Pinguin-Papa, Politics, Psz, R Grimmig, Rastaman8889, RazorGER, Rjh, RobertLechner, Roland.chem, Roland1952, Rq, S nova, Saibo, Sauron Chris, Schnargel, SchorSch, Schwalbe, Semper, Skorpion87, Solid State, Talos, Taxiarchos228, The Invisible, Thiesi, Thomasgl, Tobias1983, Toutiorix, Trommelwoelfe, Tsd32, U.Name.Me, Umschattiger, Vmgd, Werner-k, Wermtec, Wispanow, Xocolatl, YourEyesOnly, Zeldia F. Scott, 196 anonyme Bearbeitungen

**Presskuchen** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=62334530> *Bearbeiter:* Flominator, Florian Gerlach (Nawaro), Günter Barten (Nawaro), Hadhuey, Juliana da Costa José, PDCA, Peterlustig, Silberchen, UsualRedAnt, Wikipeditor, Wst, 1 anonyme Bearbeitungen

**Purgiernuess** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71970748> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Aph, BMK, Bera, Blablappa, Bobblewik, Buch-t, Burgkirsch, Buteo, CommonsDelinker, Denis Barthel, Don Magnifico, Elzecko, Ephraim33, Florian Gerlach (Nawaro), Franz Xaver, Gsälbär, Guisquil, Hausmaus, Hawk14@gmx.de, Head, Heihei, Heiner Brookman (Nawaro), High Contrast, Hydro, Ies, Ixitixel, JFKCom, LKD, Marsianer, Nipisiquit, Pechristener, Ray Lomas, RobertLechner, Robtro, Seestaernli, Shugal, Stuffi, Th., Threedots, Tigerente, Tomperoni, Ty von Sevelingen, Uwe Gille, Video2005, Vitellaria, Wikinero, 33 anonyme Bearbeitungen

**Pyrolyse** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71641241> *Bearbeiter:* ASK, Achim Raschka, Allesmüller, Awaler, Brudersohn, Cdang, Cepheiden, Chemiewikibm, Christian2003, Cjesch, Claus Ableiter, Conny, Curtis Newton, Cvf-ps, DGEEngineering, DerHexer, Echoray, Ephraim33, Florian Gerlach (Nawaro), Gerbil, Hagbardhack, Haruspex, Hfverner, Hob Gading, Holzgaszer, Horemu, Itti, JogyB, LKD, Lateiner, Lindi44, Linksfluss, Markus Schweiß, MichaelDiederich, Michelvoss, NCC1291, Nagy+, Niteshift, Numbo3, Onee, Pc, Pentachlorphenol, Polarilys, Roland.chem, Roo1812, Rotkaeppchen68, Skiclub, Spuk968, Stefan Kühn, Suirenn, Talaris, Tetris L, Thiesi, Thomasgl, Timiger, Timmelbimmel, Ulfbastel, VanGore, WWSS1, Wilske, Xzaranos, Zaphodia, 79 anonyme Bearbeitungen

**Pyrolysegas** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=62748219> *Bearbeiter:* Codc, Ew-h2002, Florian Gerlach (Nawaro), Linksfluss, Ljfa-ag

**Pyrolyseöl** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=63586578> *Bearbeiter:* AwOc, Carbenium, Don Magnifico, Florian Gerlach (Nawaro), Irrgarten, JFKCom, Jbergner, JohannWalter, Linksfluss, Orci, Schweiß, UW, Wiegels, ° the Bench °, 5 anonyme Bearbeitungen

**Raffination** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=64550706> *Bearbeiter:* Aka, Anderl1976, BMK, Codc, DerHexer, Dr.cueppers, Entlinkt, Eschenmoser, Florian Gerlach (Nawaro), Frits, Günter Barten (Nawaro), HALsixsixsix, Hans Chr. R., Hans Kobberger, JakobVoss, Jü, Kickof, Leyo, Liberatus, Lonegunman, Maikel, Mike Krüger, Nomen3, Obersache, OecherAlemanna, Ot, Otto Normalverbraucher, Reinhard Kraasch, Roterraecher, Seewolf, Soebe, TheWolf, Toffel, Westiandi, YourEyesOnly, Zooloo, 28 anonyme Bearbeitungen

**Ramie** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=62438296> *Bearbeiter:* 217, Achim Raschka (Nawaro), Claus Ableiter, Denis Barthel, Denis Barthel (WMDE), Entlinkt, Florian Adler, Florian Gerlach (Nawaro), Hydro, Ies, KMJ, Kibert, PhilippWeissenbacher, Steevie, Tsor, Zenit, 5 anonyme Bearbeitungen

**Ramiefaser** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67840791> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Aka, Stephan Piotrowski (Nawaro)

**Raps** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71585556> *Bearbeiter:* 1-1111, 1000, AHZ, Abena, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aglarech, Aka, Alkibiades, Aseufert, Aton, Avoided, BJ Axel, BLueFiSH.as, BS Thurner Hof, Bera, BerlinerBaer, Bertonymus, Blablappa, Blaue Orchidee, Blaufisch, Bodoklecksell, Burgkirsch, C-Lover, C-M, C.Löser, Callipides, Chatter, ChikagoDeCuba, Chin tin tin, Chpagenkopf, ChrisHamburg, Clemensfranz, Cleverboy, Cliff Clock, Complex, Copolymer, Crazybyte, Crux, Cvf-ps, Cybercraft, Danny-w, DarkScipio, DasBee, Denis Barthel, Denis Barthel (WMDE), DerHexer, Don Magnifico, Drassanes, Ekab, Elya, Engie, Ephraim33, Euphoriceyes, EvaK, Fabelfroh, Florian Gerlach (Nawaro), Fomafix, FritzG, Geist, der stets vermeint, Giocoso, GoldenIce, Griensteidl, Günter Barten (Nawaro), HCQ, HaeB, Heiner Brookman (Nawaro), Heinte, Hinnerk, Holger Gruber, Holstenbär, Hwman, IKAI, Isebill, Ireas, JFKCom, JeanValjean, Jergen, JHumann, JoJan, Jonas C. E., Jordi, Jutta234, Jörg-Peter Wagner, Katak, Koch-Matzi, Koerpertraining, Krawi, Kubrick, LC, LKD, Leyo, Logograph, Lorn10, Lütke, MFM, Magnummandel, Magnus, Manecke, MarkusHagenlocher, Mike Krüger, Mrodrig, MsChaos, Muscari, Naddy, Nicolas17, Noebse, Nogideck, Ot, Oxymoron83, Parakletes, Peter200, Plehn, Pm, Primus von Quack, Q'Alex, Rabe19, Regi51, RehderZMP, RobertLechner, Roo1812, Rr2000, Rsh, STBR, SVL, Sansculotte, Saxo, Schnargel, Scooter, Skippy1411, Solid State, Splayn, STYxXX, Stefan Kühn, Stephan Hense, Succu, Suirenn, Supermartl, T34, Tafkas, Taxiarchos228, Terabyte, Theonly1, Thomas S., ThomasPusch, TiHa, Tigerente, Tilman Kluge, Timm, Tlusta, Tlustulimu, TobiWanKenobi, Toffel, Trg, Tsui, Tuvic, Tönjes, Udo Schuldt, Ulsimitsuki, Uwe Gille, Vic Fontaine, Vigala Veia, W.J.Pilsak, Wassertäger, Wellenwriter, Wmeinhardt, WodyS, WortUmBruch, Yanman, YourEyesOnly, Zangala, Zaungast, Ziko, Zinnmann, تاش تازر رادت سود, 234 anonyme Bearbeitungen

**Rapsasphalt** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69201180> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Florian Gerlach (Nawaro), Gpeterek, Jbergner, Mailtosap, Nepomucki, Oldnag85, PM3, Vialit, WolfgangS

**Rapsextraktionsschrot** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65113785> *Bearbeiter:* 32X, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Freedom Wizard, Greki79, Stephan Piotrowski (Nawaro)

**Rapskuchen** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=62305019> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), B. Wolterding, Florian Gerlach (Nawaro), Roo1812, 2 anonyme Bearbeitungen

**Rapsmethylester** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=63000954> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Binter, DrJunge, Dschanz, Engelbaet, Florian Gerlach (Nawaro), Florian Weber-alt, 1 anonyme Bearbeitungen

**Rapsöl** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70172862> *Bearbeiter:* -jha-, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Achimh, Aka, AndreasE, Andy king50, Ariser, Avoided, Baumanns, Bernburgerin, Bertonymus, Birger Fricke, BjKa, Blaufisch, ChrisHamburg, Concept1, Crazybyte, DarkScipio, DerHexer, Dinah, DocMario, Don Magnifico, DrJunge, ElRaki, Erik Warmelink, Euphoriceyes, F GX, Felix Stember, Florian Adler, Florian Gerlach (Nawaro), Geos, Gleiberg, Gmhofmann, Grapelli, Günter Barten (Nawaro), Hadhuey, Heiner Brookman (Nawaro), Hgulf, JD, Jü, Koch-Matzi, Kreusch, LKD, LucaLuca, Löschfix, Lütke, Masegand, Michael w, Müiich, Mistaluna, Mnh, Mudd1, Neu1, Nicke L, Nikkis, Nogideck, Nolispanno, Nowic, Olaf Studt, Ot, PDD, Plehn, Pm, Ppeeddeerr, Regi51, RobertLechner, RokerHRO, Roo1812, Rr2000, RudolfSimon, SilP, Sinn, Sophophilotos, Southpark, Stefan64, Steffen, Stepa, TaoTePuh, Tetris L, Thukydidies, Tischbeinahe, Tobnu, Verita, Viericks, Wladmeister, Wolfgang H., Wst, Zaphiro, Zeitlupe, 97 anonyme Bearbeitungen

**Rapsstroh** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=65322944> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Blaufisch, Denis Barthel (WMDE), Florian Gerlach (Nawaro), Skippy1411, Vux, Zahnstein, 1 anonyme Bearbeitungen

**Raufen** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71649775> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Besenwesen, D, Kungfuman, PumpingRudi

**Reet** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=67841296> *Bearbeiter:* -jkb-, Achim Raschka (Nawaro), Aggi, Aka, Androl, Armin P., BBlueFISH.as, BSide, Ben Ben, Bukk, Bücherhexe, Carbidfischer, Cefaclor, Circa, Dealerofsalvation, Elbe1, Elkawe, Ephraim33, Euphoriceyes, FelixReimann, Fiselgrulm, Grimm159 rade, Guinsoo, HCass, HJJHolm, Hadhuey, Hagen Graebner, Herrick, Holofernes, IP-Adresse, Jom, Korinth, Laberbacke, MaKoLine, Martin Windischhofer, Montag, Mudd1, Nepenthes, Nikater, Noot, Okapi, Peter200, Philippendula, Philipoo077, Pierre gronau, Rdb, Sasper, Schmitzy, Sinn, Southpark, Strandräuber, Stuby, Sukram2007, Timt, TomAlt, Tönjes, Túrelío, Vorstadtleipziger, W wie wiki, Wkrautter, Wossi111, X-Weinzar, YourEyesOnly, Zarbi, Zeuke, Zollernalb, ^icewind^, 63 anonyme Bearbeitungen

**Regeneratfaser** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73122742> *Bearbeiter:* 1-Byte, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Allesmüller, Alleswissender, Andreas aus Hamburg in Berlin, Hydro, Jergen, MarkusHagenlocher, Martina Kolarek, NormanK, Spinnerin, Sunshine22, 5 anonyme Bearbeitungen

**Reinbiokraftstoff** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=63729408> *Bearbeiter:* Florian Gerlach (Nawaro), Nobart, Tetris L

**Reinigungsmittel** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=72887022> *Bearbeiter:* Abdull, Aka, Apophis27, Benjaminssties, BirgitLachner, Cae, ClemiMD, Der ohne Benutzername, Diba, Drostea, Dschen, El., GiordanoBruno, Glottis, Hadhuey, Heiner Brookman (Nawaro), Hydro, Jergen, Juliana da Costa José, Jü, Kirsch, Krawi, Lemsih, Malech, Nordelch, OffsBlink, Orci, Ordnung, Paperworld, Polarlys, Roland.chem, Rotterraecher, S.K., Sechmet, Seewolf, Siehe-auch-Löschler, Sinn, Suricata, Tillmo, Wolfgang1018, Zahnstein, 27 anonyme Bearbeitungen

**Restholz** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73333126> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Heiner Brookman (Nawaro), Jaellee, Oberfoerster, S.m.a.s.h, Tetris L, Wissen, Wst, 1 anonyme Bearbeitungen

**Riesen-Chinaschiff** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=66689458> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Christophe Neff, Denis Barthel, Denis Barthel (WMDE), Engelbaet, FeddaHeiko, Florian Gerlach (Nawaro), JFKCom, MsChaos, Muscari, Rotkaeppchen68, 5 anonyme Bearbeitungen

**Rinde** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=63860616> *Bearbeiter:* 24-online, AHZ, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aglarech, Antaios, Bierdimpfl, Blablapapa, Boronian, Brans, Böhringer, Cactus26, ChristophDemmer, Ckeen, César, Dergreg., Florian Gerlach (Nawaro), Franz Xaver, Gan, Gerbil, Griensteidl, HenrikHolke, Holger I., Jespinos, Naddy, Nagy+, Necrophorus, Ninjamask, Nize, Oberfoerster, Pöt, Rosenzweig, Rpunkt, Rufus46, Rundfeile, Saperaud, Sarkana, Southpark, Speedator, Stefan Kühn, Steffen, Supermart, Ty von Sevelingen, Umehlig, W!B.; Wolfgang1018, Wollentier123, Wst, 15 anonyme Bearbeitungen

**Rizinusöl** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70436326> *Bearbeiter:* Achim Raschka, Ahellwig, Aka, Amidala88, Ampholyte, Andante, BJ Axel, Carl Steinbeißer, Chemiewikibm, ChrisHamburg, Crazy-Chemist, Cuthbertwong, Cvf-ps, Didicher, Dinah, Don Magnifico, Doudo, Duckbill2000, Engie, Eschenmoser, Florian Gerlach (Nawaro), Freedom Wizard, Garnichtsoefach, Gleiberg, HCaas, Helfmann, Hendrik J., JHeuser, Kuebi, Lanmar, Leyo, Marcel1984, Markus Prokott, Mbdortmund, Nocke112, Penarc, Peng, Peter200, Robert M., RobertLechner, RokerHRO, Roo1812, Schahrimmir, Sponk, StYxXx, ThiloK, UlrichJ, Varina, Vond, Wolfgang1018, Yikrazuul, 41 anonyme Bearbeitungen

**Roggen** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=73698810> *Bearbeiter:* Abu-Dun, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aka, Allesmüller, Axelfarr, Ayacop, BKSlink, BMK, BS Thurner Hof, Balú, Batke, Ben-Zin, Bertonymus, Blaufisch, Burgkirsch, Ceeemm, Cepheiden, Codeispoetry, Conversion script, Crux, Cyrus Grisham, Daniel 1992, Dansker, Denis Barthel (WMDE), Diba, Doktorhase, Dwoakee, Erik Warmelink, Euphoriceyes, Flominator, Florian Gerlach (Nawaro), Franz Xaver, Funkelchen, Gauss, Geher, Giocoso, Grabenstedt, Griensteidl, H-P, HH58, Heiner Brookman (Nawaro), Hinrich, Hydro, Infvwl, Irmgard, Ithunn, Itti, Jed, Jet82, JohannGerdes, Johnny Controletti, Juno05, Jörg Knappen, KOchstud10, Katharina, Koethnig, Krawi, Lupussy, M. Kirchherr, MFM, MGR, MarkusHagenlocher, Maxwell st, Monachus, Mvb, Orci, OsGr, Peter200, Qateel Shifai, RainerB., Roo1812, SHPT, Sarang, Scherben, Schewek, SchirmerPower, Schrnagel, Scooter, Sinix, Sinn, Sklusesener, Sol1, Sophophilotos, Spritzendorfer, Stauba, Stephan Piotrowski (Nawaro), Symposiarch, Tabacha, TeunSpaans, TheBeast, TheWolf, Tigerente, Tilla, Tilman Kluge, Tlustulium, Trudylan, Velbert2, Vic Fontaine, Vogelfreund, WAH, Webkid, WodyS, Wolfgang1018, Wurlly-hh, Yoda1893, YourEyesOnly, €pa, 113 anonyme Bearbeitungen

**Rohstoff** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=72502489> *Bearbeiter:* 142857, ABF, Aka, Akirom, Akkarin, AllianzGI, Amodorro, Art Carlson, Avoided, BJ Axel, Brummfuss, Btr, C-M, Centipede, Cethegus, Charlyx, ChrisHamburg, Christian Lindecke, D, DasBee, DerHexer, Diba, Diwas, Don Magnifico, Dpsek, Ejjis, Engie, Entlinkt, Eschenmoser, Este, Euphoriceyes, Feliz, Flominator, Florian Adler, Florian Gerlach (Nawaro), Flups, Fristu, Gardini, Geoz, Gerhard wien, Gleneagles, Gratisaktie, Henr!k, Hoss, Hozro, Hydro, JOE, JakobVoss, Jergen, K@r1, Kku, Knoerz, Krawi, LKD, M.L, Magnummandel, Markscheider, Markus Schweiß, Matt1971, Maxliebscher, Metaxa, Mineraloge, Mo4jolo, Nicor, Nikkis, Nobart, Odin, Olei, Omi's Törtchen, Onee, Onliner, Orci, Otto Normalverbraucher, Oxymoron83, PCBoy, Pendulin, Peter200, Pittimann, Qdr, Ra'ike, Redlukas, Reissdorf, RobertLechner, Roo1812, S1, Sallynae, Samtrot, Sargoth, Schewek, Schusch, SchwarzerKrauser, Shadak, Shoshone, Sinn, Smial, Spuk968, Stern, Tafkas, TheK, Tinz, Tob1 B., Tobnu, TruebadiX, Tönjes, Udo Schuldtt, Umweltschützen, Ursbau, Vinci, W!B.; WAH, WaltR, Weede, Wikicaes, Wolfgang1018, Wst, Xeph, Y, YMS, YourEyesOnly, Zahnstein, Zaphiro, 199 anonyme Bearbeitungen

**Rohstoffwende** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=63974249> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Eingangskontrolle, Florian Gerlach (Nawaro), Herr Meier, Nils Simon, Olei, PM3, Polentario, S12345678901234567890, Sefo, W!B.; 1 anonyme Bearbeitungen

**Röste** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=71647337> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Bera, Catrin, Empro2, Engelbaet, Hydro, KM1980, Napa, Nina, Olaf Studt, PumpingRudi, Saxo, Tribble, Wasmunt, Xenoo6, 2 anonyme Bearbeitungen

**Rotbuche** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=70792571> *Bearbeiter:* A0QToF, AF666, Accipiter, Achim Raschka, Achim Raschka (Nawaro), Aineias, Aka, Alephalpa, Alexander Z., Allesmüller, Andrvoss, Ar291, Ardo Beltz, Arittner, Arnomane, Avoided, B.gliwa, BBlueFISH.as, BS Thurner Hof, Baumfreund-FFM, Birger Fricke, Brummfuss, Bsmuc64, Bubo bubo, BurghardRichter, Cactus26, Caronna, Chesk, ChrisHamburg, Christian gigge, Ckeen, Clemensfranz, Complex, D, Darkone, Das Ohr, DasFliewatüüt, Der Wolf im Wald, DerHexer, Diba, Dietzel, Dirk Bindmann, Dohnesorge, Don Magnifico, DorisAntony, Dr. Shaggeman, Dundak, El, Elfentritt, Elwe, ErikDunsing, Eryakaas, Euphoriceyes, Factumquintus, Farbenfreude, Ferenc, Fice, Firefox13, Fischerro, Flo 1, Florian Adler, Florian Gerlach (Nawaro), Floste, Franz Xaver, Fristu, Fullhouse, Gancho, Griensteidl, Guisquil, Gyoergi, H-st, HaeB, Hannes Röst, Hans546, HansCastorp, Head, Henrik A., Hinrich, Howwi, Hubertl, Hystrix, Ies, Ilion, Inkowiki32, Itti, J.-H. Janßen, JFKCom, Jivee Blau, Jom, Jonna, Jpp, Juesch, Kaisersoft, Karlo, Kku, Klaus Wagner, Kookaburra, Krawi, Kuebi, LKD, Lanoman, Lebrac, Lektor, Liuthalas, Louis Bafrance, Luha, Löschfix, MFM, MPF-UK, Magnummandel, Marcono, MarkusHagenlocher, Martin Aggel, Martin Sell, MatthiasKabel, Matzematik, Mesenchym, Michael Sch., Michael w, Migas, Mike Krüger, Morten Haan, Mr. Dolk, Muck31, Muscari, Necrophorus, Neon02, Nepenthes, Neu1, Nikkis, Nils Lindenberg, Ninety Mile Beach, Oberfoerster, Olei, Panellet, Papa1234, Peter Steinberg, Peter200, Phil41, Pill, Pittimann, Popie, Rainer Lippert, Regi51, Reinhard Kraasch, RobertLechner, Roest, Roo1812, Rufus46, S1, STBR, Sancho Panza, Schewek, Schnulli00, Sdo, Seewolf, Semper, Shisha, Sicherlich, Sinn, Sippel2707, Small Axe, Smith909, Snapsi, Soebe, Solid State, Spacebirdy, Spuk968, St.Krekele, Stacharczyk, Stephele, Stuby, Stw, T34, Temistokles, Terabyte, TheWolf, Thorbojoern, Thrasymachos., Thurfur, Tigerente, Tortuosa, Trg, Tsor, Tönjes, Umehlig, Umweltschützen, Uwe Rumberg, Vic Fontaine, Volker Detering, WAH, Wildfeuer, YPS, Yardsrules, YourEyesOnly, Zaungast, Zeno Gantner, Zirpe, 279 anonyme Bearbeitungen

**Rundholz** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=69190963> *Bearbeiter:* Achim Raschka (Nawaro), Andres, Christian2003, Elkawe, Gerdthiele, Grimm159 rade, Heiner Brookman (Nawaro), J.-H. Janßen, Kibert, Lyzzy, Mdhope, Oberfoerster, Peter200, Roest, Sargoth, Tsor, Tönjes, Unerheblich, W!B.; Wolfgang1018, YMS, 8 anonyme Bearbeitungen

# Quellen, Lizenzen und Autoren der Bilder

**Bild:Hanfstengel.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hanfstengel.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* <http://cs.wikipedia.org/wiki/Wikipedista:Ryj>

**Datei:Koeh-216.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Koeh-216.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Franz Eugen Köhler, Köhler's Medizinal-Pflanzen

**Bild:Larix.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Larix.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* MPF, Maksim, Nova, Rüdiger Wölk, 1 anonyme Bearbeitungen

**Image:Skarbin Laerchen Mischwald 17112006 03.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Skarbin\\_Laerchen\\_Mischwald\\_17112006\\_03.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Skarbin_Laerchen_Mischwald_17112006_03.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Johann Jaritz

**Bild:Fiore di larice.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fiore\\_di\\_larice.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fiore_di_larice.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Giallopolenta

**Bild:Pokácený modřín opadavý.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pokácený\\_modřín\\_opadavý.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pokácený_modřín_opadavý.JPG) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Mirek256

**Datei:Wood Larix decidua.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_Larix\\_decidua.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_Larix_decidua.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**Datei:Mélèze en Automne.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mélèze\\_en\\_Automne.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mélèze_en_Automne.JPG) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Antony.sorrento at fr.wikipedia

**Datei:Larix decidua crosssection.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Larix\\_decidua\\_crosssection.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Larix_decidua_crosssection.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Lumbar

**Datei:EicheQuerschnitt.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:EicheQuerschnitt.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* <http://de.wikipedia.org/wiki/Benutzer:ConstantinSander>

**Datei:Lipo 1.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lipo\\_1.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lipo_1.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arne HöpfnerOriginal uploader was Klaus Höpfner at de.wikipedia

**Datei:Phospholipid.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Phospholipid.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Lennert B

**Datei:Lecithine.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lecithine.svg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Roland.chem. Original uploader was Roland.chem at de.wikipedia

**Datei:Lecithine-palmitin-ölsäure.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lecithine-palmitin-ölsäure.svg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Roland.chem. Original uploader was Roland.chem at de.wikipedia

**Datei:TensidOel.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:TensidOel.svg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Roland.chem. Original uploader was Roland.chem at de.wikipedia

**Datei:Liposom.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Liposom.svg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Roland.chem. Original uploader was Roland.chem at de.wikipedia

**Datei:Sphingomyelin-horizontal-2D-skeletal.png** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sphingomyelin-horizontal-2D-skeletal.png> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Benjah-bmm27, 1 anonyme Bearbeitungen

**Datei:Cholin.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cholin.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker

**Datei:Ethanolamin - Ethanolamine.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ethanolamin\\_-\\_Ethanolamine.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ethanolamin_-_Ethanolamine.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker

**Datei:Serin - Serine.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Serin\\_-\\_Serine.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Serin_-_Serine.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker

**Datei:Myo-Inositol.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Myo-Inositol.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker

**Datei:Lec 3a.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lec\\_3a.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lec_3a.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Helge Höpfner. Original uploader was Klaus Höpfner at de.wikipedia

**Datei:Lec 2.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lec\\_2.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lec_2.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Helge Höpfner. Original uploader was Klaus Höpfner at de.wikipedia

**Datei:FD 1.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FD\\_1.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FD_1.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was Klaus Höpfner at de.wikipedia (Original text : Helge Höpfner)

**Datei:FD 2a.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FD\\_2a.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FD_2a.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Helge Höpfner. Original uploader was Klaus Höpfner at de.wikipedia

**Datei:FD 3.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FD\\_3.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FD_3.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was Klaus Höpfner at de.wikipedia (Original text : Helge Höpfner)

**Bild:leathertools.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Leathertools.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Bohème, Dodo

**Bild:Guertelschnalle fcm.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Guertelschnalle\\_fcm.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Guertelschnalle_fcm.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 Germany *Bearbeiter:* Frank C. Müller

**Datei:Old egyptian furriers.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Old\\_egyptian\\_furriers.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Old_egyptian_furriers.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Paul Larisch

**Bild:LittleBigMouth.1869.ws.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LittleBigMouth.1869.ws.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Duesentrieb, Infrogmaton, Jmabel, Origiameensch, Ronaldino, Wames, 4 anonyme Bearbeitungen

**Bild:Studded bangle.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Studded\\_bangle.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Studded_bangle.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Bohème, Nosferatu it, Schekinov Alexey Victorovich, 1 anonyme Bearbeitungen

**Datei:Häutemarkt in Fez- Marokko.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Häutemarkt\\_in\\_Fez\\_Marokko.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Häutemarkt_in_Fez_Marokko.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 Germany *Bearbeiter:* 32X, Chrissie, Daniel 1992, Jodo

**Datei:Fish skins.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fish\\_skins.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fish_skins.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Kürschner

**Bild:Wiesmann Produktion 2 Leather.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wiesmann\\_Produktion\\_2\\_Leather.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wiesmann_Produktion_2_Leather.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Bitplane, Bohème, Frank C. Müller, Stahlkocher

**Bild:Pokerwürfel.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pokerwürfel.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Original uploader was Roland Scheicher at de.wikipedia (Original text : )

**Bild:Caligae from side.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Caligae\\_from\\_side.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Caligae_from_side.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Flamarande, MatthiasKabel, 2 anonyme Bearbeitungen

**Bild:Handschuhe fcm.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Handschuhe\\_fcm.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Handschuhe_fcm.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* AndreasPraefcke, Frank C. Müller, Skipjack

**Bild:Fussball.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fussball.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* ALE!, Danielk2, Factumquintus, Indech, Lumijaguuari, Pepito, Pseudomoi, 1 anonyme Bearbeitungen

**Bild:Browning HP shoulder stock 1782.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Browning\\_HP\\_shoulder\\_stock\\_1782.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Browning_HP_shoulder_stock_1782.jpg) *Lizenz:* Attribution *Bearbeiter:* Bitplane, Nemo5576, Skipjack

**Bild:Dressurpertsche.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Dressurpertsche.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Dbenzhuser, Thyl

**Bild:Bristol.zoo.crocskin.handbag.arp.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bristol.zoo.crocskin.handbag.arp.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Arpingstone, Gabbe, TwoWings

**Bild:Chamois-natural.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Chamois-natural.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Johan

**Bild:Oldbooks-03.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Oldbooks-03.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Liam Quin

**Bild:Clubsessel\_cognac.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Clubsessel\\_cognac.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Clubsessel_cognac.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Didouner

**Datei:Camelina sativa eF.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Camelina\\_sativa\\_eF.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Camelina_sativa_eF.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Fornax, Quadell

**Bild:Spreewald\_Leinoelpresse.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Spreewald\\_Leinoelpresse.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Spreewald_Leinoelpresse.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* Angela M. Arnold, Berlin

**Bild:LeinPresskuchen-CBIO.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LeinPresskuchen-CBIO.jpg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Viktorschauberger 01:11, 27. Aug. 2007 (CEST). Original uploader was Viktorschauberger at de.wikipedia

**Bild:Brötchen mit Leinöl und Zucker.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Brötchen\\_mit\\_Leinöl\\_und\\_Zucker.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Brötchen_mit_Leinöl_und_Zucker.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter:* User:SPBer

**Datei:ALAnumbering.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:ALAnumbering.svg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Rhadamante, Slashme

**Datei:Triacylglycerin.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Triacylglycerin.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker

**Datei:Lignin structure.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lignin\\_structure.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lignin_structure.svg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Hystrix, JWBE, Karol007

**Datei:Sequoiadendron giganteum at Kenilworth Castle.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sequoiadendron\\_giganteum\\_at\\_Kenilworth\\_Castle.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sequoiadendron_giganteum_at_Kenilworth_Castle.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Ayacop, Jdforrester, MPF, Quadell, 1 anonyme Bearbeitungen

**Datei:Bikollaterales Leitbündel cucurbita pepo.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bikollaterales\\_Leitbündel\\_cucurbita\\_pepo.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bikollaterales_Leitbündel_cucurbita_pepo.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* [http://de.wikipedia.org/wiki/Spezial:Beitr%C3%A4ge/Bamading\\_selbst\\_fotografiert](http://de.wikipedia.org/wiki/Spezial:Beitr%C3%A4ge/Bamading_selbst_fotografiert)

**Datei:Monolignols general.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Monolignols\\_general.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Monolignols_general.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Yikrazuul

**Datei:Synthesis Lignin.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Synthesis\\_Lignin.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Synthesis_Lignin.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Yikrazuul

**Datei:Synthesis Lignin II.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Synthesis\\_Lignin\\_II.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Synthesis_Lignin_II.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Yikrazuul

**Datei:Trametes.versicolor.-lindsey.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Trametes.versicolor.-lindsey.jpg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* James Lindsey

**Datei:Braun- und Weißfäule.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Braun-\\_und\\_Weißfäule.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Braun-_und_Weißfäule.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Mates. Original uploader was Mates at de.wikipedia

**Datei:Kraft process.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kraft\\_process.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kraft_process.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Yikrazuul

**Datei:Black Liquor.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Black\\_Liquor.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Black_Liquor.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* High Contrast, Tungsten

**Datei:Arboform-2.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Arboform-2.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**Bild:Lignin structure.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lignin\\_structure.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lignin_structure.svg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Hystrix, JWBE, Karol007

**Bild:Cellulose Haworth.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cellulose\\_Haworth.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cellulose_Haworth.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker

**Datei:Tilia-tomentosa.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Tilia-tomentosa.JPG> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Franz Xaver, JoJan, MPF, Siebrand, Sten, 1 anonyme Bearbeitungen

**Datei:Tilia euchlora1.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Tilia\\_euchlora1.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Tilia_euchlora1.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Don Pedro28

**Datei:Tilia x vulgaris11.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Tilia\\_x\\_vulgaris11.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Tilia_x_vulgaris11.JPG) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* JoJan, Orchi, Romanm, 1 anonyme Bearbeitungen

**Datei:Seehase aus Friedrichshafen.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Seehase\\_aus\\_Friedrichshafen.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Seehase_aus_Friedrichshafen.JPG) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Claus Ableiter

**Datei:Lindenblüten.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lindenblüten.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:ArtMechanic

**Datei:Querschnitt einer Linde.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Querschnitt\\_einer\\_Linde.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Querschnitt_einer_Linde.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter:* User:SpaceJ

**Datei:Unter den Linden im Herbst.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Unter\\_den\\_Linden\\_im\\_Herbst.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Unter_den_Linden_im_Herbst.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.0 *Bearbeiter:* FlickreviewR, Gryffindor, MPF, Robert Weemeyer, Zzyzx11

**Datei:Kaiser-Lothar-Linde.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kaiser-Lothar-Linde.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:ArtMechanic

**Datei:Linde von linn.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linde\\_von\\_linn.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linde_von_linn.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Stef

**Datei:SchaumburgLinde.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:SchaumburgLinde.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Tortuosa

**Datei:Kaiserlinde.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kaiserlinde.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Johannes1024

**Datei:Wood Tilia platyphyllos gedreht.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_Tilia\\_platyphyllos\\_gedreht.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_Tilia_platyphyllos_gedreht.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka, User:IKAl

**Datei:Creglingen-002.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Creglingen-002.JPG> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Tilman2007

**Datei:LinoleumDOBedit.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LinoleumDOBedit.jpg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Benutzer:Denis Barthel

**Datei:Linoleum der Linoleum AB Forshaga Göteborg (jha).jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linoleum\\_der\\_Linoleum\\_AB\\_Forshaga\\_Göteborg\\_\(jha\).jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linoleum_der_Linoleum_AB_Forshaga_Göteborg_(jha).jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* -jha-

**Datei:Linoleum Zusammensetzung.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linoleum\\_Zusammensetzung.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linoleum_Zusammensetzung.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Tokikake

**Datei:Linoleum Querschnitt.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linoleum\\_Querschnitt.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linoleum_Querschnitt.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Lyzzy

**Datei:HAWIG-Bohnermaschine Victor von 1912.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:HAWIG-Bohnermaschine\\_Victor\\_von\\_1912.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:HAWIG-Bohnermaschine_Victor_von_1912.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* unknown

**Datei:Sprungballwiki.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sprungballwiki.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Die silberlocke

**Datei:Michael nairn-2.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Michael\\_nairn-2.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Michael_nairn-2.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Denis Barthel (Nawaro)

**Datei:Fred Walton.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fred\\_Walton.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fred_Walton.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Adrem68, AndreasPraefcke, Schekinov Alexey Victorovich, TomAlt

**Datei:Lincrusta 3.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lincrusta\\_3.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lincrusta_3.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* 8mobili. Original uploader was 8mobili at de.wikipedia

**Datei:Linoleum Produktion.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linoleum\\_Produktion.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linoleum_Produktion.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**Datei:Dominion Oilcloth and Linoleum Building.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Dominion\\_Oilcloth\\_and\\_Linoleum\\_Building.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Dominion_Oilcloth_and_Linoleum_Building.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* Colin Rose

**Datei:Linoleum 003.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linoleum\\_003.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linoleum_003.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Concord

**Datei:DLW-Aktie 1933.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:DLW-Aktie\\_1933.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:DLW-Aktie_1933.jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Achim Raschka

**Datei:TarkettSiteNarni.gif** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:TarkettSiteNarni.gif> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Original uploader was Mhaggar at en.wikipedia

**Datei:Linoleum Giubiasco TI jetzt FORBO Dobedit.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linoleum\\_Giubiasco\\_TI\\_jetzt\\_FORBO\\_Dobedit.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Linoleum_Giubiasco_TI_jetzt_FORBO_Dobedit.jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Denis Barthel

**Datei:LinoleumfabrikZaanstad1899-1903.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LinoleumfabrikZaanstad1899-1903.jpg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Denis Barthel

**Datei:LinoleumHansa1895Teppichdekor.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LinoleumHansa1895Teppichdekor.jpg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Benutzer:Denis Barthel

**Datei:HeinzStoffregenLinoleum oJ.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:HeinzStoffregenLinoleum\\_oJ.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:HeinzStoffregenLinoleum_oJ.jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Denis Barthel

**Datei:Peter Behrens, um 1913.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Peter\\_Behrens,\\_um\\_1913.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Peter_Behrens,_um_1913.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Waldemar Titzenthaler (died 1937)

**Datei:Making a linocut.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Making\\_a\\_linocut.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Making_a_linocut.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Iffcool

**Datei:Zumfrischenwasserlinol.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Zumfrischenwasserlinol.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Denis Barthel

**Datei:LAnumbering.png** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LAnumbering.png> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Original uploader was Edgar181 at en.wikipedia

**Datei:Douglasie Holz.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Douglasie\\_Holz.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Douglasie_Holz.JPG) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Das Ohr, Erik Baas, Skipjack

**Datei:Wood taxus baccata.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_taxus\\_baccata.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_taxus_baccata.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**Datei:Wood picea abies.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_picea\\_abies.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_picea_abies.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**File:Kiefer Holz.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kiefer\\_Holz.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kiefer_Holz.JPG) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Das Ohr, MPF, Ranveig, Skipjack

**Datei:Wood Abies alba.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_Abies\\_alba.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_Abies_alba.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**Datei:Wood pinus strobus.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_pinus\\_strobus.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_pinus_strobus.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**Datei:Wood Acer platanoides.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_Acer\\_platanoides.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_Acer_platanoides.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**File:Birke Holz.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Birke\\_Holz.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Birke_Holz.JPG) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Bdesham, Das Ohr, Ies, MPF, Skipjack, Yareite

**Datei:Buche Holz 1.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Buche\\_Holz\\_1.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Buche_Holz_1.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Matt314, Rasbak, Skipjack

**Datei:Wood Quercus robur.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_Quercus\\_robur.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_Quercus_robur.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**Datei:Wood Alnus glutinosa.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_Alnus\\_glutinosa.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_Alnus_glutinosa.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**File:Esche gemeine Holz.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Esche\\_gemeine\\_Holz.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Esche_gemeine_Holz.JPG) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Das Ohr, Quadell, Skipjack

**Datei:Wood prunus avium.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_prunus\\_avium.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_prunus_avium.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**Datei:Wood Tilia platyphyllos.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_Tilia\\_platyphyllos.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_Tilia_platyphyllos.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**Datei:Wood platanus.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_platanus.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_platanus.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**Datei:Teak Holz.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Teak\\_Holz.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Teak_Holz.JPG) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* CarolSpears, Das Ohr, Julio, Skipjack

**Datei:Wood Ulmus glabra.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_Ulmus\\_glabra.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_Ulmus_glabra.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**Datei:Wood juglans regia.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_juglans\\_regia.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_juglans_regia.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**Datei:Wood Carpinus betulus.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood\\_Carpinus\\_betulus.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood_Carpinus_betulus.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Achim Raschka

**Datei:Maispflanze.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Maispflanze.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* burgkirsch

**Datei:Illustration Zea mays0\_clean.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Illustration\\_Zea\\_mays0\\_clean.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Illustration_Zea_mays0_clean.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Kilom691

**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

**Datei:Maisfeld Juli 2009.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Maisfeld\\_Juli\\_2009.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Maisfeld_Juli_2009.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:3268zauber

**Datei:Zea mays.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Zea\\_mays.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Zea_mays.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Conscious, Dbenbenn, Joadl, Lemmikipuu

**Datei:Maiszuechtung.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Maiszuechtung.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Gerhard Elsnr

**Datei:Ustilago maydis de\_3.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ustilago\\_maydis\\_de\\_3.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ustilago_maydis_de_3.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Kai Hirdes

**Datei:Flag of the United States.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_the\\_United\\_States.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_the_United_States.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Dbenbenn, User:Indolences, User:Jacobolus, User:Technion, User:Zscout370

**Bild:Flag of Canada.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Canada.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Canada.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:E Pluribus Anthony, User:Mzajac

**Bild:Flag of the People's Republic of China.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_the\\_People's\\_Republic\\_of\\_China.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_the_People's_Republic_of_China.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Denelson83, User:SKopp, User:Shizhao, User:Zscout370

**Datei:Flag of Italy.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Italy.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Italy.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* see below

**Bild:Flag of Brazil.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Brazil.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Brazil.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Brazilian Government

**Bild:Flag of Hungary.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Hungary.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Hungary.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:SKopp

**Bild:Flag of Mexico.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Mexico.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Mexico.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:AlexCovarrubias, User:Zscout370

**Bild:Flag of Nigeria.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Nigeria.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Nigeria.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Jhs

**Bild:Flag of Argentina.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Argentina.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Argentina.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Dbenbenn

**Bild:Flag of South Africa.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_South\\_Africa.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_South_Africa.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:SKopp

**Bild:Flag of India.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_India.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_India.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:SKopp

**Bild:Flag of France.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_France.svg](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

**Bild:Flag of Indonesia.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Indonesia.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Indonesia.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Gabbe, User:SKopp

**Datei:Maisprodukte BMK.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Maisprodukte\\_BMK.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Maisprodukte_BMK.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:BMK

**Datei:Maisprodukte BMK.png** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Maisprodukte\\_BMK.png](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Maisprodukte_BMK.png) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:BMK

**Bild:Silage tractors.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Silage\\_tractors.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Silage_tractors.JPG) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Felagund

**File:CornShocksForestvilleMinnesota2006.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:CornShocksForestvilleMinnesota2006.JPG> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Anthere, Ies, Joadl, Jonathunder

**Datei:Koeh-090.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Koeh-090.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Franz Eugen Köhler, Köhler's Medizinal-Pflanzen

**Datei:Iwata kenichi cassava.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Iwata\\_kenichi\\_cassava.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Iwata_kenichi_cassava.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Ies, Kenic, Quadell

**Bild:Flag of Niger.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Niger.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Niger.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:verdy\_p

**Bild:Flag of Thailand.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Thailand.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Thailand.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Andy Dingley, Betacommand, Chaddy, Emerentia, Gabbe, Gurch, Homo lupus, Juiced lemon, Klemen Kocjancic, Mattes, Neq00, Paul 012, Rugby471, TOR, Teetaweepeo, Zscout370, 22 anonyme Bearbeitungen

**Bild:Flag of the Democratic Republic of the Congo.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_the\\_Democratic\\_Republic\\_of\\_the\\_Congo.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_the_Democratic_Republic_of_the_Congo.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Anime Addict AA, AnonMoos, ChongDae, Denelson83, Drieskamp, Ed veg, Fry1989, Homo lupus, Klemen Kocjancic, LA2, Mattes, Moyogo, Nagy, Neq00, Nightstallion, ThomasPusch, Urhixidur, Vz83, Zscout370, 5 anonyme Bearbeitungen

**Bild:Flag of Ghana.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Ghana.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Ghana.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Fry1989, Homo lupus, Indolences, Jarekt, Klemen Kocjancic, Neq00, SKopp, ThomasPusch, Torstein, Zscout370, 4 anonyme Bearbeitungen

**Bild:Flag of Vietnam.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Vietnam.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Vietnam.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* user:Ltú Ly

**Bild:Flag of Angola.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Angola.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Angola.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:SKopp

**Bild:Flag of Tanzania.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Tanzania.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Tanzania.svg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* User:SKopp

**Bild:Flag of Uganda.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Uganda.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Uganda.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Anime Addict AA, Emijip, Ezeu, J. Patrick Fischer, Klemen Kocjancic, Kookaburra, Madden, Mattes, Mxn, Neq00, Nightstallion, Ninane, Rechta, Reisio, Str4nd, ThomasPusch, Wikiborg, 9 anonyme Bearbeitungen

**Bild:Flag of Mozambique.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Mozambique.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Mozambique.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* AFBorchert, Anime Addict AA, FedericoF, Fry1989, Haultala, Homo lupus, Klemen Kocjancic, Kookaburra, Mattes, Nemo5576, Nightstallion, Ratatosk, ThomasPusch, 3 anonyme Bearbeitungen

**Bild:Flag of Paraguay.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Paraguay.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Paraguay.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Republica del Paraguay

**Bild:Flag of Cambodia.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Cambodia.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Cambodia.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Nightstallion

**Datei:Manihot esculenta dsc07325.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Manihot\\_esculenta\\_dsc07325.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Manihot_esculenta_dsc07325.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* User:David.Monniaux

**Bild:Pillowtop-mattress.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pillowtop-mattress.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter:* User:JVinocur

**Bild:Matratzenkern.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Matratzenkern.jpg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Benutzer:Pfaerrich

**Bild:Simone Martini 042.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Simone\\_Martini\\_042.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Simone_Martini_042.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* AndreasPraefcke, Eugene a, Infrogmaton, Saiko, Shakko, Xenophon

**Bild:Bonnell-Federkern.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bonnell-Federkern.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 Germany *Bearbeiter:* Flominator, Matt314, Pfaerrich

**Bild:Latexkern.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Latexkern.jpg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Benutzer:Pfaerrich

**Bild:Schaumstoffmatratze.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Schaumstoffmatratze.jpg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Ahellwig, Pfaerrich

**Datei:Blackstrapmolasses.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Blackstrapmolasses.JPG> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter:* User:Badagnani

**Datei:Three rums jvp.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Three\\_rums\\_jvp.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Three_rums_jvp.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Gentgeen

**Datei:Biogasentstehung.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biogasentstehung.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Saith

**Datei:Faulturm Oberzell.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Faulturm\\_Oberzell.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Faulturm_Oberzell.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.0 *Bearbeiter:* User:Factory X

**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:Milchsäure.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Milchsäure.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker

**Datei:Hazard X.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hazard\\_X.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hazard_X.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* BLueFiSH.s, Herbythyme, Leyo, MarianSigler, Matthias M., Phrood, W.B., 4 anonyme Bearbeitungen

**Bild:D-Milchsäure.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:D-Milchsäure.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker

**Bild:L-Milchsäure.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:L-Milchsäure.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker

**Datei:Joghurt.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Joghurt.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Rainer Zenz, 1 anonyme Bearbeitungen

**Datei:Shopping Bag made of PLA-Blend Bio-Flex.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Shopping\\_Bag\\_made\\_of\\_PLA-Blend\\_Bio-Flex.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Shopping_Bag_made_of_PLA-Blend_Bio-Flex.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter:* F. Kesselring, FKUR Willich

**Bild:Roggen mit Mutterkorn.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Roggen\\_mit\\_Mutterkorn.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Roggen_mit_Mutterkorn.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* Burgkirsch at de.wikipedia

**Datei:Miscanthus sinensis ja01.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Miscanthus\\_sinensis\\_ja01.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Miscanthus_sinensis_ja01.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.1 *Bearbeiter:* User:Miyam

**Datei:Miscanthus-5676.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Miscanthus-5676.jpg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Ceylon

**Datei:MDF Sample.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:MDF\\_Sample.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:MDF_Sample.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was Vaderluck at en.wikipedia

**Datei:MDF-Production by Regions.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:MDF-Production\\_by\\_Regions.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:MDF-Production_by_Regions.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:WeSchKR

**Datei:Sorghum\_bicolor\_(Moench).JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sorghum\\_bicolor\\_\(Moench\).JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sorghum_bicolor_(Moench).JPG) *Lizenz:* Free Art License *Bearbeiter:* [Daniel Georg Döhne]

**Datei:Sorghum durra01.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sorghum\\_durra01.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sorghum_durra01.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:pethan

**Datei:Sorghum bicolor02.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sorghum\\_bicolor02.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sorghum_bicolor02.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:pethan

**Datei:Whey.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Whey.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.0 *Bearbeiter:* Jason Riedy

**Datei:Milch.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Milch.svg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was WikiNight at de.wikipedia Later version(s) were uploaded by Andreas 06, Dapete, Cyrotux at de.wikipedia. (Original text : WikiNight, Übersicht selbst erstellt)

**Datei:Grib\_skov.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Grib\\_skov.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Grib_skov.jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* See below

**Datei:FourHuileBaleineTrankessel.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FourHuileBaleineTrankessel.JPG> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Makemake at de.wikipedia

**Datei:Ginter Fehrenbacher 04 außen vk.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ginter\\_Fehrenbacher\\_04\\_außen\\_vk.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ginter_Fehrenbacher_04_außen_vk.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Bobthebuilder82

**Datei:fuelwood.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fuelwood.JPG> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Gerhard Elsner

**Datei:Feld mit reifer Baumwolle.jpeg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Feld\\_mit\\_reifer\\_Baumwolle.jpeg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Feld_mit_reifer_Baumwolle.jpeg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Franz Xaver, Ikiwaner, Ranveig, Raphael.lorenzeto, Wst

**Datei:Industrialhemp.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Industrialhemp.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Aleks

**Datei:RapeFields.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:RapeFields.JPG> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Brookie, Ies, Man vyi, Metoc, SchröterJulitta, Thgoiter, Wst

**Datei:Cut sugarcane.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cut\\_sugarcane.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cut_sugarcane.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* Rufino Uribe

**Datei:Harvesting opium.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Harvesting\\_opium.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Harvesting_opium.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Smooth O, Yarl, 2 anonyme Bearbeitungen

**Datei:Rubber tree.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rubber\\_tree.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rubber_tree.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Original uploader was Fishdecoy at en.wikipedia

**Datei:leathertools.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Leathertools.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Bohème, Dodo

**Datei:Honey comb.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Honey\\_comb.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Honey_comb.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Original uploader was Merdal at tr.wikipedia

**Datei:Neuhaus oste biogasanlage 03.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Neuhaus\\_oste\\_biogasanlage\\_03.jpg](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:Fichte\_Holz.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fichte\\_Holz.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fichte_Holz.JPG) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Das Ohr, Skipjack

**Datei:Nahwärme Verteilung.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Nahwärme\\_Verteilung.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Nahwärme_Verteilung.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter:* User:Florian Gerlach (Nawaro)

**Bild:Holzhaus Esmarchstraße 3 (schräg aus 1. OG).jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzhaus\\_Esmarchstraße\\_3\\_\(schräg\\_aus\\_1.\\_OG\).jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzhaus_Esmarchstraße_3_(schräg_aus_1._OG).jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Standardizer

**Image:Hanfdaemnstoff CG.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hanfdaemnstoff\\_CG.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hanfdaemnstoff_CG.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* Christian Gahle, nova-Institut GmbH

**Datei:Holzfaserdaemmlatte.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzfaserdaemmlatte.JPG> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Florian Gerlach (Nawaro)

**Datei:STEICO flex Natural Wood Fibre Insulation.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:STEICO\\_flex\\_Natural\\_Wood\\_Fibre\\_Insulation.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:STEICO_flex_Natural_Wood_Fibre_Insulation.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* thingermjig

**Bild:Holzwohle-Leichtbauplatte\_Laibung.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzwohle-Leichtbauplatte\\_Laibung.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzwohle-Leichtbauplatte_Laibung.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Florian Gerlach (Nawaro)

**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:A Baumwolle Kapsel offen1.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:A\\_Baumwolle\\_Kapsel\\_offen1.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:A_Baumwolle_Kapsel_offen1.JPG) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Benutzer:Begonia

**Datei:Hennepvezel Cannabis sativa fibre.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hennepvezel\\_Cannabis\\_sativa\\_fibre.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hennepvezel_Cannabis_sativa_fibre.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* D-Kuru, Rasbak, Tamorlan

**Datei:Abaca sachsenleinen 01.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Abaca\\_sachsenleinen\\_01.jpg](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:Wool.www.usda.gov.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wool.www.usda.gov.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Photo by Ken Hammond

**Datei:Khotan-fabrica-seda-d06.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Khotan-fabrica-seda-d06.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Colegota

**Datei:Anthophyllite asbestos SEM.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Anthophyllite\\_asbestos\\_SEM.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Anthophyllite_asbestos_SEM.jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Howcheng, Mogelzahn, NEON ja, Pumbaa80, Ra'ike, Romary

**Datei:GreenwichMarketClothes bordercropped.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:GreenwichMarketClothes\\_bordercropped.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:GreenwichMarketClothes_bordercropped.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Neep

**Datei:Handdaemmstoff CG.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Handdaemmstoff\\_CG.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Handdaemmstoff_CG.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* Christian Gahle, nova-Institut GmbH

**Bild:Türinnenverkleidung Hanf-PP nova.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Türinnenverkleidung\\_Hanf-PP\\_nova.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Türinnenverkleidung_Hanf-PP_nova.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* Christian Gahle, nova-Institut GmbH

**Image:Handschuhfach PP-NF CG.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Handschuhfach\\_PP-NF\\_CG.jpg](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

**Bild:Trabant601K.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Trabant601K.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Christoph Neumann

**Datei:Natural\_fibre\_polymer\_nabasco.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Natural\\_fibre\\_polymer\\_nabasco.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Natural_fibre_polymer_nabasco.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Florian Gerlach (Nawaro)

**Datei:Rubbertrees malaysia.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rubbertrees\\_malaysia.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rubbertrees_malaysia.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Pizzaboy1

**Datei:Kautschukplantage.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kautschukplantage.JPG> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was Rhaessner at de.wikipedia

**Datei:Latex - Hevea - Cameroun.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Latex\\_-\\_Hevea\\_-\\_Cameroun.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Latex_-_Hevea_-_Cameroun.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:PRA

**Datei:Charles Goodyear.png** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Charles\\_Goodyear.png](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Charles_Goodyear.png) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Conscious, Daderot, Infrogmaton, Mattes, Pmsyyz, Schimmelreiter

**Datei:Latex.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Latex.JPG> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Maksim, Pieter Kuiper

**Datei:KarteNaturkautschukerzeugung.png** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:KarteNaturkautschukerzeugung.png> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was St.Krekeler at de.wikipedia. Later version(s) were uploaded by Mr. Anderson at de.wikipedia.

**Datei:Philippinen basilan latex fabric ph05p13.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Philippinen\\_basilan\\_latex\\_fabric\\_ph05p13.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Philippinen_basilan_latex_fabric_ph05p13.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Dr.A.Hugentobler

**Bild:Bamboo forest.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bamboo\\_forest.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bamboo_forest.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Jordi Coll Costa, Kamakura, Pixeltoo

**Bild:Blåbær 2.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Blåbær\\_2.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Blåbær_2.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Banangraut

**Datei:Neem.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Neem.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* EricPoehlsen, Forrester

**Datei:Neemtree2.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Neemtree2.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter:* pinay06

**Datei:Azadirachta indica flowers.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Azadirachta\\_indica\\_flowers.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Azadirachta_indica_flowers.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* user:Tau'olunga

**Datei:Rose-ringed Parakeet (Psittacula krameri) feeding on Azadirachta indica (Neem) W IMG 8122.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rose-ringed\\_Parakeet\\_\(Psittacula\\_krameri\)\\_feeding\\_on\\_Azadirachta\\_indica\\_\(Neem\)\\_W\\_IMG\\_8122.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rose-ringed_Parakeet_(Psittacula_krameri)_feeding_on_Azadirachta_indica_(Neem)_W_IMG_8122.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter:* User:J.M.Garg

**Datei:Expeller (4).jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Expeller\\_\(4\).jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Expeller_(4).jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Original uploader was Jaipuria at en.wikipedia

**Datei:Hemp bunch-dried out -seeds close up Δ0063.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hemp\\_bunch-dried\\_out\\_-\\_seeds\\_close\\_up\\_Δ0063.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hemp_bunch-dried_out_-_seeds_close_up_Δ0063.JPG) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* D-Kuru

**Datei:Marijuana 2.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Marijuana\\_2.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Marijuana_2.jpg) *Lizenz:* GNU General Public License *Bearbeiter:* User:Alfst, User:Common Good

**Datei:Tetrahydrocannabinol.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Tetrahydrocannabinol.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Yikrazuul

**Datei:Cannabis sativa.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cannabis\\_sativa.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cannabis_sativa.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* BLueFISH.as, D-Kuru, Greatpatton, Hiippo, Timeshifter, WayneRay, 8 anonyme Bearbeitungen

**Datei:Theodor von Hörmann Hanfeinlegen.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Theodor\\_von\\_Hörmann\\_Hanfeinlegen.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Theodor_von_Hörmann_Hanfeinlegen.jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* AndreasPraefcke, D-Kuru, Photohound

**Datei:Hemp-rope.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hemp-rope.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.0 *Bearbeiter:* Travis Isaacs from Grapevine, TX, USA

**Datei:Türinnenverkleidung Hanf-PP nova.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Türinnenverkleidung\\_Hanf-PP\\_nova.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Türinnenverkleidung_Hanf-PP_nova.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* Christian Gahle, nova-Institut GmbH

**Datei:Hemp-sack.asabukuro.japan.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hemp-sack.asabukuro.japan.JPG> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter:* katorisi

**Datei:B-Säule PP-NF CG.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:B-Säule\\_PP-NF\\_CG.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:B-Säule_PP-NF_CG.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* Christian Gahle, nova-Institut GmbH

**Datei:Handschuhfach PP-NF CG.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Handschuhfach\\_PP-NF\\_CG.jpg](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

**Bild:Madeira bananenplantage Madalena do Mar südküste 5-07.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Madeira\\_bananenplantage\\_Madalena\\_do\\_Mar\\_südküste\\_5-07.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Madeira_bananenplantage_Madalena_do_Mar_südküste_5-07.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Hedwig Storch

**File:Arzneipflanzen in Brockhaus.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Arzneipflanzen\\_in\\_Brockhaus.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Arzneipflanzen_in_Brockhaus.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* user:Julo

**Datei:S-House\_Stohballen\_Passivhaus\_Südseite\_im\_Winter.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:S-House\\_Stohballen\\_Passivhaus\\_Südseite\\_im\\_Winter.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:S-House_Stohballen_Passivhaus_Südseite_im_Winter.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Fips

**Datei:Norskfolkemuseum 1.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Norskfolkemuseum\\_1.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Norskfolkemuseum_1.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Kjetil Bjørnsrud

**Datei:Zonnebloemolie (Sunflower oil).jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Zonnebloemolie\\_\(Sunflower\\_oil\).jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Zonnebloemolie_(Sunflower_oil).jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* PDH, Rasbak

**Datei:Triolein.PNG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Triolein.PNG> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Original uploader was Shoynrud555 at en.wikipedia

**Bild:Sucrose\_monostearate.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sucrose\\_monostearate.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Sucrose_monostearate.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Ayacop, Benjah-bmm27, Edgar181, Yikrazuul

**Datei:Transesterification FAME.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Transesterification\\_FAME.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Transesterification_FAME.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Ertua

**File:Ester hydrolysis.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ester\\_hydrolysis.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ester_hydrolysis.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:WhiteTimberwolf

**Datei:Dodecan-1-ol Skelett.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Dodecan-1-ol\\_Skelett.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Dodecan-1-ol_Skelett.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker

**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:Oelmuehle.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Oelmuehle.JPG> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Alex Original uploader was Alex Anlicker at de.wikipedia

**Datei:Ölmühle Halverde.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ölmühle\\_Halverde.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ölmühle_Halverde.JPG) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Ramsch

**Datei:Koeh-056.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Koeh-056.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Franz Eugen Köhler, Köhler's Medizinal-Pflanzen

**Datei:Elaeis guineensis0.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Elaeis\\_guineensis0.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Elaeis_guineensis0.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Eugène van der Pijll

**Image:Oilpalm malaysia.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Oilpalm\\_malaysia.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Oilpalm_malaysia.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Pizzaboy1

**Bild:Elaeis guineensis MS 2049.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Elaeis\\_guineensis\\_MS\\_2049.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Elaeis_guineensis_MS_2049.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Marco Schmidt

**Datei:Palm oil production in Jukwa Village, Ghana-02.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Palm\\_oil\\_production\\_in\\_Jukwa\\_Village\\_Ghana-02.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Palm_oil_production_in_Jukwa_Village_Ghana-02.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* oneVillage Initiative

**Datei:Palmöltanks.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Palmöltanks.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* User:MB-one

**Datei:Plantacion-Palma-Fumi-Bosqu.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Plantacion-Palma-Fumi-Bosqu.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* Klaus Schenck

**Datei:723px-Orang-utan\_bukit\_lawang\_2006.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:723px-Orang-utan\\_bukit\\_lawang\\_2006.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:723px-Orang-utan_bukit_lawang_2006.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Tbachner

**Datei:oeipresse\_teile.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Oelpresse\\_teile.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Oelpresse_teile.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Günter Barten (Nawaro)

**Datei:Oleic-acid-skeletal.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Oleic-acid-skeletal.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Benjah-bmm27, Edgar181

**Datei:Rape\_cake.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rape\\_cake.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rape_cake.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* Florian Gerlach

**Datei:Fruit oil palm.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fruit\\_oil\\_palm.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fruit_oil_palm.JPG) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Maksim, Martin H., Sanbec

**Datei:Oilpalm malaysia.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Oilpalm\\_malaysia.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Oilpalm_malaysia.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Pizzaboy1

**Datei:FileStack retouched.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FileStack\\_retouched.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FileStack_retouched.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* User:Gerolsteiner91

**Datei:Egypt.Papyrus.01.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Egypt.Papyrus.01.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* G.dallorto, Hajor, Ilse@, J.LCA, JMCC1, Kajok, Skeezix1000

**Image:Making\_Paper\_1.PNG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Making\\_Paper\\_1.PNG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Making_Paper_1.PNG) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* outlined by Cai Lun in 105 AD

**Image:Making\_Paper\_2.PNG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Making\\_Paper\\_2.PNG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Making_Paper_2.PNG) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* outlined by Cai Lun in 105 AD

**Image:Making\_Paper\_3.PNG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Making\\_Paper\\_3.PNG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Making_Paper_3.PNG) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* outlined by Cai Lun in 105 AD

**Image:Making\_Paper\_4.PNG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Making\\_Paper\\_4.PNG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Making_Paper_4.PNG) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* outlined by Cai Lun in 105 AD

**Image:Making\_Paper\_5.PNG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Making\\_Paper\\_5.PNG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Making_Paper_5.PNG) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* outlined by Cai Lun in 105 AD

**Datei:11091ba.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:11091ba.jpg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Louis le Grand

**Datei:Paperfibersar.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Paperfibersar.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Akroti

**Datei:Papiermacher.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Papiermacher.jpg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* AndreasPraefcke, Bahmoeeller

**Datei:Reaumur 1683-1757.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Reaumur\\_1683-1757.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Reaumur_1683-1757.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* J. Pizzetta

**Datei:Holzschleifer1.gif** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzschleifer1.gif> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Die zuckerschnuteOriginal uploader was Die zuckerschnute at de.wikipedia Later version(s) were uploaded by Stw at de.wikipedia.

**Datei:Bergisch Gladbach - Papiermühle Alte Dombach 13 ies.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bergisch\\_Gladbach\\_-\\_Papiermühle\\_Alte\\_Dombach\\_13\\_ies.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bergisch_Gladbach_-_Papiermühle_Alte_Dombach_13_ies.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Frank Vincentz

**Datei:Acid tower (aka).jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Acid\\_tower\\_\(aka\).jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Acid_tower_(aka).jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* user:Aka

**Datei:Kugelkocher\_schema.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kugelkocher\\_schema.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kugelkocher_schema.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Die zuckerschnute, Stefan Kühn

**Datei:Bergisch Gladbach - Papiermühle Alte Dombach 07 ies.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bergisch\\_Gladbach\\_-\\_Papiermühle\\_Alte\\_Dombach\\_07\\_ies.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bergisch_Gladbach_-_Papiermühle_Alte_Dombach_07_ies.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Frank Vincentz

**Datei:Langsieb\_masch1\_sw.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Langsieb\\_masch1\\_sw.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Langsieb_masch1_sw.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was Die zuckerschnute at de.wikipedia Later version(s) were uploaded by Stw at de.wikipedia.

**Datei:Papiermaschine.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Papiermaschine.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Benutzer:Stahlkocher

**Datei:Paper usage.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Paper\\_usage.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Paper_usage.jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* User:Manfred Heyde

**Datei:Macro Biro writing2.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Macro\\_Biro\\_writing2.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Macro_Biro_writing2.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Dschwen

**Datei:Pappel Holz.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pappel\\_Holz.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pappel_Holz.JPG) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Das Ohr, Skipjack

**Datei:Wooden Shoes-willow-plain wood.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wooden\\_Shoes-willow-plain\\_wood.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wooden_Shoes-willow-plain_wood.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Andre Engels, Daniel 1992, Kuchen

**Datei:Populier Populus canadensis.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Populier\\_Populus\\_canadensis.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Populier_Populus_canadensis.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Rasbak

**Datei:Aspen-leaves.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Aspen-leaves.jpg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Original uploader was MPF at en.wikipedia

**Datei:Populus tremula crosssection.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Populus\\_tremula\\_crosssection.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Populus_tremula_crosssection.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Lumbur

**Datei:Illustration\_Populus nigra0.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Illustration\\_Populus\\_nigra0.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Illustration_Populus_nigra0.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Rtc

**Datei:Populier mannelijke bloeiwijze (Populus canadensis male inflorescens).jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Populier\\_mannelijke\\_bloeiwijze\\_\(Populus\\_canadensis\\_male\\_inflorescens\).jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Populier_mannelijke_bloeiwijze_(Populus_canadensis_male_inflorescens).jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Beentree, Rasbak

**Datei:Populus (Populier zaadpluis en zaden)1.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Populus\\_\(Populier\\_zaadpluis\\_en\\_zaden\)1.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Populus_(Populier_zaadpluis_en_zaden)1.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Rasbak

**Datei:Saperda carcharias02.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Saperda\\_carcharias02.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Saperda_carcharias02.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:KarlR

**Datei:Fuerth grillplatz rednitz v-so.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fuerth\\_grillplatz\\_rednitz\\_v-so.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fuerth_grillplatz_rednitz_v-so.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was Keichwa at de.wikipedia

**Datei:Populus-maximowiczii.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Populus-maximowiczii.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Uwe Thobae

**Datei:Kurzumtriebskultur Pappel.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Kurzumtriebskultur\\_Pappel.jpg](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:Pappel im Winter.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pappel\\_im\\_Winter.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pappel_im_Winter.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Dennis, MarianSz, Quedel

**Bild:Pellets hand.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pellets\\_hand.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pellets_hand.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Tom Bruton

**Bild:Nuclear fuel pellets.jpeg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Nuclear\\_fuel\\_pellets.jpeg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Nuclear_fuel_pellets.jpeg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Coyau, Crochet.david, D-Kuru, Paddy, TarmoK, Tungsten

**Bild:Futterpellets für Schafe und Ziegen.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Futterpellets\\_für\\_Schafe\\_und\\_Ziegen.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Futterpellets_für_Schafe_und_Ziegen.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:3268zauber

**Datei:Ringmatrize BMK.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ringmatrize\\_BMK.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ringmatrize_BMK.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* Original uploader was BMK at de.wikipedia

- Datei:Pelletkessel\_in\_Wohnhaus.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pelletkessel\\_in\\_Wohnhaus.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pelletkessel_in_Wohnhaus.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Florian Gerlach (Nawaro)
- Datei:Modell\_Pelletheizung.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Modell\\_Pelletheizung.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Modell_Pelletheizung.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter:* User:Florian Gerlach (Nawaro)
- Image:Wood-pellet heater.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood-pellet\\_heater.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wood-pellet_heater.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* User:Vesta
- Datei:Brennraum\_Pelletkessel.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Brennraum\\_Pelletkessel.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Brennraum_Pelletkessel.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Florian Gerlach (Nawaro)
- Bild:PelletTruckOnBoardScale.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PelletTruckOnBoardScale.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* User:Vesta
- Bild:Pellets\_hand.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pellets\\_hand.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pellets_hand.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Tom Bruton
- Datei:Laubsauger-LKW.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Laubsauger-LKW.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* FlickreviewR, Head, MB-one, Štj
- 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:FS-zusammensetzung\_BMK.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FS-zusammensetzung\\_BMK.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FS-zusammensetzung_BMK.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:BMK
- Datei:Pflanzenoel am Docht verbrennen 2009-01-24.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pflanzenoel\\_am\\_Docht\\_verbrennen\\_2009-01-24.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pflanzenoel_am_Docht_verbrennen_2009-01-24.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Wimox
- Bild:Plastiktueten.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Plastiktueten.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Bionet, Gveret Tered, Muriel Gottrop, Pfctdayelise, Ranveig, Tawbabolve
- Bild:Plastic bag trashcan Paris Vigipirate dsc00718.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Plastic\\_bag\\_trashcan\\_Paris\\_Vigipirate\\_dsc00718.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Plastic_bag_trashcan_Paris_Vigipirate_dsc00718.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* User:David.Momniaux
- Bild:Eintuetmaschine.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Eintuetmaschine.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* Thorsten Schramm [www.thorsten-schramm.de](http://www.thorsten-schramm.de)
- Bild:Bio-K Abfallbeutel Kompostbeutel CG.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bio-K\\_Abfallbeutel\\_Kompostbeutel\\_CG.jpg](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:Verwehter Mull Crau.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Verwehter\\_Mull\\_Crau.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Verwehter_Mull_Crau.jpg) *Lizenz:* Attribution *Bearbeiter:* Original uploader was Kalilo at de.wikipedia (Original text : Ann- Kathrin Rehse)
- Bild:Netz.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Netz.jpg> *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Dellex
- Datei:Polyethylene-repeat-2D-flat.png** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Polyethylene-repeat-2D-flat.png> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Benjah-bmm27, Edgar181, Luigi Chiesa, Sarregouset
- Datei:Polyethylene-3D-vdW.png** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Polyethylene-3D-vdW.png> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Benjah-bmm27, Ephemeronium, Luigi Chiesa
- Datei:Polyethylene-repeat-2D.png** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Polyethylene-repeat-2D.png> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Benjah-bmm27, Edgar181, Luigi Chiesa, Sarregouset
- Datei:Petrochemical plant - Norway.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Petrochemical\\_plant\\_-\\_Norway.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Petrochemical_plant_-_Norway.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Bitjungle
- Datei:LLDPE.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LLDPE.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Cjp24
- Datei:PE-LD\_Granulat.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PE-LD\\_Granulat.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PE-LD_Granulat.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Arnulf\_zu\_Linden
- Datei:Plastic-recyc-02.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Plastic-recyc-02.svg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter:* User:Tomia
- Datei:Plastic-recyc-04.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Plastic-recyc-04.svg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter:* User:Tomia
- Datei:PEX-Rohr.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PEX-Rohr.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Arnulf\_zu\_Linden
- Datei:LDPE\_bottle.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LDPE\\_bottle.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LDPE_bottle.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Cjp24
- Datei:PHB-Biosynthese.png** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PHB-Biosynthese.png> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Frank Reinecke. Original uploader was Frankreinecke at de.wikipedia
- Bild:Poly-(R)-3-hydroxybutyrat.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Poly-\(R\)-3-hydroxybutyrat.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Poly-(R)-3-hydroxybutyrat.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker
- Bild:Poly-3-hydroxyvalerat.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Poly-3-hydroxyvalerat.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker
- Bild:Poly-4-hydroxybutyrat.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Poly-4-hydroxybutyrat.svg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker
- Datei:Poly-(R)-3-hydroxybutyrat.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Poly-\(R\)-3-hydroxybutyrat.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Poly-(R)-3-hydroxybutyrat.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:NEUROtiker
- Datei:PLA Schwindlerl.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PLA\\_Schwindlerl.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PLA_Schwindlerl.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Achim Raschka
- 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](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
- Bild:2008-07-14 Biodegradable cups at Chubby's Tacos.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2008-07-14\\_Biodegradable\\_cups\\_at\\_Chubby's\\_Tacos.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2008-07-14_Biodegradable_cups_at_Chubby's_Tacos.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Specious
- Datei:Blow film PLA-Blend Bio-Flex.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Blow\\_film\\_PLA-Blend\\_Bio-Flex.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Blow_film_PLA-Blend_Bio-Flex.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter:* F. Kesselring, FKUR Willich
- Bild:PLApolymerisation.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PLApolymerisation.JPG> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Karelj, Polimerek, Shavarsh, 1 anonyme Bearbeitungen
- Bild:PLA-Kugelschreiber NatureWorks CG.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PLA-Kugelschreiber\\_NatureWorks\\_CG.jpg](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
- Datei:Jar made of PLA-Blend Bio-Flex.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jar\\_made\\_of\\_PLA-Blend\\_Bio-Flex.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jar_made_of_PLA-Blend_Bio-Flex.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter:* F. Kesselring, FKUR Willich
- Datei:Air Pillow made of PLA-Blend Bio-Flex.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Air\\_Pillow\\_made\\_of\\_PLA-Blend\\_Bio-Flex.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Air_Pillow_made_of_PLA-Blend_Bio-Flex.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](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:Straws made of PLA-Blend Bio-Flex.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Straws\\_made\\_of\\_PLA-Blend\\_Bio-Flex.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Straws_made_of_PLA-Blend_Bio-Flex.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter:* F. Kesselring, FKUR Willich
- Datei:Teebeutel Polylactid 2009.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Teebeutel\\_Polylactid\\_2009.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Teebeutel_Polylactid_2009.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:elya
- Datei:Ball Pen made of PLA-Blend Bio-Flex.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ball\\_Pen\\_made\\_of\\_PLA-Blend\\_Bio-Flex.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ball_Pen_made_of_PLA-Blend_Bio-Flex.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter:* F. Kesselring, FKUR Willich
- Datei:Knife Handle made from reinforced PLA.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Knife\\_Handle\\_made\\_from\\_reinforced\\_PLA.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Knife_Handle_made_from_reinforced_PLA.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Germany *Bearbeiter:* F. Kesselring, FKUR Willich
- Datei:Haushaltsschwamme.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Haushaltsschwamme.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Moebius1
- Datei:Polyole.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Polyole.svg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Talos

**Datei:Urethansynthese.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Urethansynthese.svg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter:* Roland Mattern. Original uploader was Roland1952 at de.wikipedia

**Datei:Polyurethane\_insulator.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Polyurethane\\_insulator.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Polyurethane_insulator.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:KVDP

**Datei:Polyurethane2.gif** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Polyurethane2.gif> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Lax1

**Bild:Rape cake.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rape\\_cake.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rape_cake.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* Florian Gerlach

**Datei:Jatropha curcas1 henning.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jatropha\\_curcas1\\_henning.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jatropha_curcas1_henning.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Ies, Quadell

**Datei:J curcas seed ies.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:J\\_curcas\\_seed\\_ies.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:J_curcas_seed_ies.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Frank Vincentz

**Datei:Jatropha in Paraguay Chaco.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jatropha\\_in\\_Paraguay\\_Chaco.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jatropha_in_Paraguay_Chaco.jpg) *Lizenz:* Attribution *Bearbeiter:* Helmut von Brandenstein

**Bild:Jatropha curcas3 knodt.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jatropha\\_curcas3\\_knodt.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jatropha_curcas3_knodt.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Ies, Quadell

**Bild:Jatropha curcas5 henning.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jatropha\\_curcas5\\_henning.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jatropha_curcas5_henning.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Ies, Quadell

**File:Jatropha curcas MS 4317.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jatropha\\_curcas\\_MS\\_4317.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jatropha_curcas_MS_4317.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Marco Schmidt

**Bild:Jatropha curcas2 henning.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jatropha\\_curcas2\\_henning.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Jatropha_curcas2_henning.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Ies, Quadell

**Datei:Corn Stover Tar from Pyrolysis by Microwave Heating.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Corn\\_Stover\\_Tar\\_from\\_Pyrolysis\\_by\\_Microwave\\_Heating.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Corn_Stover_Tar_from_Pyrolysis_by_Microwave_Heating.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter:* User:Tunheim

**Datei:Charcoal.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Charcoal.jpg> *Lizenz:* Attribution *Bearbeiter:* Arnomane, Bender235, EvaK, Fred J, Head, 1 anonyme Bearbeitungen

**Datei:Holzvergasung.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Holzvergasung.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter:* Gerfried, Nikai, Petri Krohn, 1 anonyme Bearbeitungen

**Datei:Boehmeria nivea 1.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Boehmeria\\_nivea\\_1.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Boehmeria_nivea_1.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Ayacop, Eugene van der Pijll, Kilom691, Sfan00 IMG

**Bild:Boehmeria\_nivea.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Boehmeria\\_nivea.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Boehmeria_nivea.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter:* A. Barra

**Bild:Radevormwald Dahlerau - Wülfingmuseum 29 ies.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Radevormwald\\_Dahlerau\\_-\\_Wülfingmuseum\\_29\\_ies.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Radevormwald_Dahlerau_-_Wülfingmuseum_29_ies.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Frank Vincentz

**Datei:Koeh-169.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Koeh-169.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Franz Eugen Köhler, Köhler's Medizinal-Pflanzen

**Datei:Brassica napus 2.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Brassica\\_napus\\_2.jpg](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

**Datei:Rapsfeld\_2007.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rapsfeld\\_2007.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rapsfeld_2007.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Dschwen

**Datei:Wohlenberger Wiek.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wohlenberger\\_Wiek.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wohlenberger_Wiek.JPG) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:chpagenkopf

**Datei:Raps Frühjahr.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Raps\\_Frühjahr.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Raps_Frühjahr.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Benutzer:MarkusHagenlocher

**Datei:Raps01.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Raps01.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Bodoklecksel

**Datei:Raps1.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Raps1.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* 2004 Original uploader was Burgkirsch at de.wikipedia

**Datei:Raps2.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Raps2.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* Ayacop, BMK, Dodo, Wst

**Datei:RapsSchote1.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:RapsSchote1.JPG> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* böhringer friedrich

**Datei:Winterrapsertrag\_Deutschland\_2002-2006.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Winterrapsertrag\\_Deutschland\\_2002-2006.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Winterrapsertrag_Deutschland_2002-2006.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Florian Gerlach (Nawaro)

**Datei:Biodiesel.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Biodiesel.JPG> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Shizhao

**Bild:Henningsleben Biodiesel.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Henningsleben\\_Biodiesel.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Henningsleben_Biodiesel.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* www.agrar.hu-berlin.de

**Bild:Production of Biodiesel Fuel.png** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Production\\_of\\_Biodiesel\\_Fuel.png](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Production_of_Biodiesel_Fuel.png) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Jü

**Datei:Ironageroof.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ironageroof.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.0 *Bearbeiter:* User:Nicklott

**Datei:Reetdach\_Cornwall\_hc.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Reetdach\\_Cornwall\\_hc.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Reetdach_Cornwall_hc.jpg) *Lizenz:* Free Art License *Bearbeiter:* User:Holger Casselmann

**Datei:Reetdach P8120039.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Reetdach\\_P8120039.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Reetdach_P8120039.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* Joachim Müllerchen. Original uploader was Jom at de.wikipedia

**Datei:Reetdachschemata.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Reetdachschemata.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter:* User:-jkb-

**Datei:Bundesarchiv Bild 183-S81947, Siedler beim Dachdecken.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bundesarchiv\\_Bild\\_183-S81947,\\_Siedler\\_beim\\_Dachdecken.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Bundesarchiv_Bild_183-S81947,_Siedler_beim_Dachdecken.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Diedrich

**File:Fotothek df ps 0004889 Dächer ^ Dachdeckungen ^ Reetdächer ^ Arbeitende ^ Handwe.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fotothek\\_df\\_ps\\_0004889\\_Dächer\\_^\\_Dachdeckungen\\_^\\_Reetdächer\\_^\\_Arbeitende\\_^\\_Handwe.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fotothek_df_ps_0004889_Dächer_^_Dachdeckungen_^_Reetdächer_^_Arbeitende_^_Handwe.jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* ++gardenfreund++, Horst-schlaemma, JotaCartas, Man vyi

**Datei:Reet\_Pilzmycel.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Reet\\_Pilzmycel.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Reet_Pilzmycel.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Wossi111

**Bild:Haus auf fuenen.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Haus\\_auf\\_fuenen.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Haus_auf_fuenen.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Mahlum, Maksim, Überraschungsbilder

**File:Amrum-Nebel-Oeoemranghues- P5252499jm.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Amrum-Nebel-Oeoemranghues-\\_P5252499jm.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Amrum-Nebel-Oeoemranghues-_P5252499jm.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.0 *Bearbeiter:* at da.wikipedia Original uploader was Angelboer at da.wikipedia Later version(s) were uploaded by MGA73 at da.wikipedia.

**Bild:Roter haubarg1.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Roter\\_haubarg1.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Roter_haubarg1.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* User:Southgeist

**Bild:ReetdachHausKampenerHeideSylt.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:ReetdachHausKampenerHeideSylt.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Türelino

**Datei:cupro.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Cupro.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* CarolSpears, Durova, Niemayer, TommyBee

**Datei:Diskflaskor.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Diskflaskor.JPG> *Lizenz:* Creative Commons Attribution 3.0 *Bearbeiter:* User:Nordelch

**File:FairyBottles.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:FairyBottles.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:Kristian Ovaska

**Bild:Schlagabraum.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Schlagabraum.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Gerhard Elsnr

**Bild:Schwarten.JPG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Schwarten.JPG> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Gerhard Elsnr

**Datei:Miscanthus Crop.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Miscanthus\\_Crop.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Miscanthus_Crop.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.0 *Bearbeiter:* nationalrural

**Bild:Chinaschilf.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Chinaschilf.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:MarkusHagenlocher

**Bild:Chinaschilf 460px jn.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Chinaschilf\\_460px\\_jn.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Chinaschilf_460px_jn.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* Justus Nussbaum 19:44, 19. Okt. 2006 (CEST). Original uploader was Justus Nussbaum at de.wikipedia

**Bild:Robinia pseudacadia (Cortex).jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Robinia\\_pseudacadia\\_\(Cortex\).jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Robinia_pseudacadia_(Cortex).jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Atamari

**Datei:Castor\_oil.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Castor\\_oil.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Castor_oil.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* Pete Markham from Loretto, USA

**Datei:Castor beans.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Castor\\_beans.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Castor_beans.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Ayacop, Franz Xaver, Ies, Mayhem, Quadell, Slinger, WayneRay

**Datei:Triricinolein numbering.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Triricinolein\\_numbering.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Triricinolein_numbering.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Yikrazuul

**Datei:Illustration\_Secale\_cereale0\_clean.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Illustration\\_Secale\\_cereale0\\_clean.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Illustration_Secale_cereale0_clean.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Original book source: Prof. Dr. Otto Wilhelm Thomé Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz 1885, Gera, Germany

**Bild:Roggen.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Roggen.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Benutzer:MarkusHagenlocher

**Bild:Secale cereale - ear (aka).jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Secale\\_cereale\\_-\\_ear\\_\(aka\).jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Secale_cereale_-_ear_(aka).jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* user:Aka

**Bild:Germinated rye.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Germinated\\_rye.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Germinated_rye.jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* M. Kirchherr. Original uploader was M. Kirchherr at de.wikipedia

**Bild:Roggen\_mit\_Mutterkorn.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Roggen\\_mit\\_Mutterkorn.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Roggen_mit_Mutterkorn.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Bearbeiter:* Burgkirsch at de.wikipedia

**Bild:Roggenkoerner.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Roggenkoerner.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Ies

**Bild:Secale cereale shock (aka).jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Secale\\_cereale\\_shock\\_\(aka\).jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Secale_cereale_shock_(aka).jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* user:Aka

**Datei:Flag of Russia.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Russia.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Russia.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* AndriusG, Davepape, Dmitry Strotsev, Driekamp, Enbéká, Fred J, Gleb Borisov, Herbythyme, Homo lupus, Kiensvay, Klemen Kocjancic, Kwj2772, Mattes, Maximamax, Miyokan, Nightstallion, Ondřej Žváček, Pianist, Pumbaa80, Putnik, R-41, Radziun, Rainman, Reisio, Rfc1394, Rkt2312, Rocket000, Sasa Stefanovic, SeNeKa, SkyBon, Srtxg, Stianbh, Wikiborg, Winterheart, Zscout370, Zyido, OöJL, 34 anonyme Bearbeitungen

**Datei:Flag of Germany.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Germany.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Germany.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Pumbaa80

**Datei:Flag of Poland.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Poland.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Poland.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Mareklug, User:Wanted

**Bild:Flag of Belarus.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Belarus.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Belarus.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Andrew c, Bender235, Denelson83, Gmaxwell, Homo lupus, Joey-das-WBF, Klemen Kocjancic, Lifarn, Neq00, Nightstallion, Permjak, Pianist, Pumbaa80, Sir Iain, SndrAndrss, Str4nd, Takadraka, Vzb83, Zscout370, 11 anonyme Bearbeitungen

**Bild:Flag of Ukraine.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Ukraine.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Ukraine.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Jon Harald Søby, User:Zscout370

**Bild:Flag of Spain.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Spain.svg](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 Turkey.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Turkey.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Turkey.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Dbenenn

**Datei:Flag of Austria.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Austria.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Austria.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](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.

**Bild:Flag of Lithuania.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Lithuania.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Lithuania.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](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Latvia.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:SKopp

**Datei:Flag of Sweden.svg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag\\_of\\_Sweden.svg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Flag_of_Sweden.svg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Hejsa, Herbythyme, J buidiss, Jon Harald Søby, Klemen Kocjancic, Lefna, Mattes, Meno25, Odder, Peeperman, Quilbert, Reisio, Sir Iain, Str4nd, Tabasco, Tene, Thomas Blomberg, Thuresson, Wiklas, 31 anonyme Bearbeitungen

**Datei:Hanfstengel.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hanfstengel.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* <http://cs.wikipedia.org/wiki/Wikipedista:Ryj>

**Datei:09-12-14 Hanfverarbeitung Hecheln.png** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:09-12-14\\_Hanfverarbeitung\\_Hecheln.png](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:09-12-14_Hanfverarbeitung_Hecheln.png) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Stephan Piotrowski (Nawaro)

**Datei:Buchenwald 1.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Buchenwald\\_1.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Buchenwald_1.jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Darkone, Greatpatton, MPP, Ulrichstill, Überraschungsbilder

**Bild:Keimling\_Rotbuche.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Keimling\\_Rotbuche.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Keimling_Rotbuche.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Überraschungsbilder

**Bild:Fagus sylvatica 019.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus\\_sylvatica\\_019.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus_sylvatica_019.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter:* Willow

**Bild:Steinbuche.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Steinbuche.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Gerhard Elsner

**Bild:Fagus sylvatica leaf 002.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus\\_sylvatica\\_leaf\\_002.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus_sylvatica_leaf_002.jpg) *Lizenz:* Attribution *Bearbeiter:* Willow

**Bild:Fagus sylvatica leaf 001.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus\\_sylvatica\\_leaf\\_001.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus_sylvatica_leaf_001.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution 2.5 *Bearbeiter:* Willow

**Bild:Illustration Fagus sylvatica0\_clean.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Illustration\\_Fagus\\_sylvatica0\\_clean.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Illustration_Fagus_sylvatica0_clean.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Kilom691

**Bild:Buche-fruchtansatz.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Buche-fruchtansatz.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Gerhard Elsner

**Bild:Buchecker.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Buchecker.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Gerhard Elsner

**Bild:Fagus sylvatica2.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus\\_sylvatica2.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus_sylvatica2.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Luis Fernández García, Pixeltoo

**Bild:Rotbuchenhecke in der Eifel.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rotbuchenhecke\\_in\\_der\\_Eifel.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rotbuchenhecke_in_der_Eifel.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Cmapn, Ies, Überraschungsbilder

**Bild:Windbuchencom.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Windbuchencom.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Richardfabi

**Bild:Grib\_skov.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Grib\\_skov.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Grib_skov.jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* See below

**Bild:Rhoen Buchonia mg-k.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rhoen\\_Buchonia\\_mg-k.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rhoen_Buchonia_mg-k.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Andrew-k, Geofrog, Henkvd, Ies, Kurpfalzbilder.de, MPP, Mg-k, Paddy, 1 anonyme Bearbeitungen

**Bild:Woodland English Autumn Sunlit.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Woodland\\_English\\_Autumn\\_Sunlit.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Woodland_English_Autumn_Sunlit.JPG) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Herbythyme, MPP, PatMcD, Verica Atrebatum

**Bild:Buche\_Holz\_1.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Buche\\_Holz\\_1.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Buche_Holz_1.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Matt314, Rasbak, Skipjack

**Bild:Fagus sylvatica\_bark.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus\\_sylvatica\\_bark.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus_sylvatica_bark.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Lumbar

**Bild:Fagus sylvatica\_crosssection.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus\\_sylvatica\\_crosssection.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus_sylvatica_crosssection.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Lumbar

**Bild:Rotkern.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rotkern.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 Germany *Bearbeiter:* Dohnesorge, S1, 1 anonyme Bearbeitungen

**File:Fagus sylvatica Beukenhout.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Fagus\\_sylvatica\\_Beukenhout.jpg](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

**Bild:ALTMUGL1.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:ALTMUGL1.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was W.J.Pilsak at de.wikipedia

**Bild:Rotbuche Reinhardswald.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rotbuche\\_Reinhardswald.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rotbuche_Reinhardswald.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Lebrac

**Bild:Millais - Herbstblätter.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Millais\\_-\\_Herbstblätter.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Millais_-_Herbstblätter.jpg) *Lizenz:* unbekannt *Bearbeiter:* Diomede, Kilom691, Olivier2, Terabyte

**Bild:Höfen hecke1.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Höfen\\_hecke1.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Höfen_hecke1.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Steffen Heinz

**Bild:Farnblattridge Buche-1.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Farnblattridge\\_Buche-1.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Farnblattridge_Buche-1.jpg) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Rufus46

**Bild:Rundholz-buche.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rundholz-buche.jpg> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Gerhard Elsner

**Datei:Langholz LKW mit MB 22.240.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Langholz\\_LKW\\_mit\\_MB\\_22.240.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Langholz_LKW_mit_MB_22.240.jpg) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* selbst

# Lizenz

## Wichtiger Hinweis zu den Lizenzen

Die nachfolgenden Lizenzen beziehen 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 Autorenlister 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](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. Secondly, 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 implements 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 Transparent formats 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 modification and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- 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.
- 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.
- State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- Preserve all the copyright notices of the Document.
- Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- 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.
- Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- Include an unaltered copy of this License.
- Preserve the section Entitled "History". Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- 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 to 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 not 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.