

Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

**Nachhaltig nutzbare Potenziale für Biokraftstoffe in
Nutzungskonkurrenz zur Lebens- und Futtermittelproduktion,
Bioenergie sowie zur stofflichen Nutzung in Deutschland, Europa
und der Welt**

Zuwendungsempfänger:

nova-Institut für politische und ökologische Innovation GmbH

Förderkennzeichen:

22501112 bzw. 12BMU011

Laufzeit:

01.04.2013 bis 31.12.2014

Datum der Veröffentlichung:

19.08.2015

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Autoren:

Dr. Stephan Piotrowski, Roland Essel,
Michael Carus, Lara Dammer, Linda Engel

Dieser Bericht steht als PDF-Dokument zur Verfügung:
<http://bio-based.eu/markets>

Kontakt:

nova-Institut GmbH Chemiepark
Knapsack Industriestraße 300
50354 Hürth

Telefon: 02233 – 48 14 40
Telefax: 02233 – 48 14 50
Internet: www.nova-institut.eu

Hinweis: Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| INHALTSVERZEICHNIS | 3 |
| 0 EXECUTIVE SUMMARY | 7 |
| KURZBESCHREIBUNG..... | 7 |
| EXECUTIVE SUMMARY..... | 8 |
| 1 HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG | 9 |
| 2 METHODISCHE VORGEHENSWEISE | 11 |
| 3 BEGRIFFSKLÄRUNG NACHHALTIGKEIT VON BIOMASSE | 15 |
| 3.1 NACHHALTIGKEIT | 15 |
| 3.1.1 <i>Historische Entwicklung des Nachhaltigkeitsbegriffs</i> | 15 |
| 3.1.2 <i>Nachhaltigkeit in der Land- und Forstwirtschaft</i> | 16 |
| 3.1.3 <i>Nachhaltig nutzbare Potenziale für Biokraftstoffe</i> | 20 |
| 4 GLOBALER ROHSTOFFBEDARF | 22 |
| 5 BASISDATEN 2010/11..... | 28 |
| 5.1 BIOMASSEANGEBOT | 28 |
| 5.1.1 <i>Welt</i> | 29 |
| 5.1.1.1 Flächen..... | 29 |
| Agrarfläche | 32 |
| Waldfläche | 34 |
| Sonstiges Land..... | 36 |
| 5.1.1.2 Geerntete Agrarbiomasse | 37 |
| 5.1.1.3 Erntenebenprodukte..... | 39 |
| 5.1.1.4 Weidebiomasse | 41 |
| 5.1.1.5 Holz..... | 42 |
| 5.1.1.6 Zusammenfassung..... | 45 |
| 5.1.2 <i>EU-27</i> | 47 |
| 5.1.2.1 Flächen..... | 47 |
| 5.1.2.2 Geerntete Agrarbiomasse | 48 |
| Inländische Produktion..... | 48 |
| Importe..... | 49 |
| 5.1.2.3 Erntenebenprodukte..... | 54 |
| 5.1.2.4 Weidebiomasse | 55 |
| 5.1.2.5 Holz..... | 55 |
| Inländische Produktion..... | 55 |
| Importe..... | 55 |
| 5.1.3 <i>Deutschland</i> | 56 |
| 5.1.3.1 Flächen..... | 56 |
| 5.1.3.2 Geerntete Agrarbiomasse | 57 |
| Inländische Produktion..... | 57 |
| Importe..... | 59 |
| 5.1.3.3 Erntenebenprodukte..... | 62 |
| 5.1.3.4 Weidebiomasse | 62 |
| 5.1.3.5 Holz..... | 63 |
| Inländische Produktion..... | 63 |
| Importe..... | 63 |
| 5.2 BIOMASSENACHFRAGE..... | 64 |
| 5.2.1 <i>Welt</i> | 64 |
| 5.2.1.1 Lebensmittel | 65 |
| 5.2.1.2 Futtermittel..... | 67 |
| 5.2.1.3 Stoffliche Nutzung..... | 69 |
| Bau und Möbel | 70 |
| Papier und Zellstoff..... | 70 |
| Stroh als Tiereinstreu | 71 |
| Textilien | 71 |
| 5.2.1.4 Chemische Industrie..... | 71 |

| | |
|--|------------|
| Rohstoffbedarf der Chemischen Industrie im Jahr 2010..... | 71 |
| Deutschland im Detail..... | 80 |
| Volumen der Kunststoffindustrie im Jahr 2010 weltweit..... | 82 |
| 5.2.1.5 Bioenergie..... | 90 |
| 5.2.1.6 Biokraftstoffe..... | 91 |
| 5.2.2 EU-27..... | 93 |
| 5.2.2.1 Lebensmittel/pflanzliche Agrarprodukte..... | 93 |
| Inländische Nachfrage..... | 93 |
| Exportnachfrage..... | 95 |
| 5.2.2.2 Futtermittel..... | 95 |
| Inländische Nachfrage..... | 95 |
| Exportnachfrage..... | 97 |
| 5.2.2.3 Stoffliche Nutzung..... | 97 |
| 5.2.2.4 Bioenergie..... | 98 |
| 5.2.2.5 Biokraftstoffe..... | 100 |
| 5.2.3 Deutschland..... | 101 |
| 5.2.3.1 Lebensmittel/pflanzliche Agrarprodukte..... | 101 |
| Inländische Nachfrage..... | 101 |
| Exportnachfrage..... | 103 |
| 5.2.3.2 Futtermittel..... | 103 |
| Inländische Nachfrage..... | 103 |
| Exportnachfrage..... | 103 |
| 5.2.3.3 Stoffliche Nutzung..... | 104 |
| 5.2.3.4 Bioenergie..... | 105 |
| 5.2.3.5 Biokraftstoffe..... | 107 |
| 6 SZENARIEN FÜR 2050..... | 108 |
| 6.1 BIOMASSEANGEBOT..... | 109 |
| 6.1.1 Welt..... | 109 |
| 6.1.1.1 Flächenverschiebungen..... | 109 |
| Flächenausweitungen..... | 110 |
| Degradation..... | 113 |
| Rückgang der Weideflächen und der sonstigen Flächen..... | 114 |
| Rückgang der Waldflächen und Änderung der Waldflächenverteilung..... | 114 |
| Zunahme der bebauten Fläche..... | 116 |
| Zusammenfassung und Diskussion..... | 116 |
| 6.1.1.2 Geerntete Agrarbiomasse..... | 118 |
| 6.1.1.3 Erntenebenprodukte..... | 125 |
| 6.1.1.4 Weidebiomasse..... | 126 |
| 6.1.1.5 Holz..... | 128 |
| 6.1.1.6 Zusammenfassung..... | 129 |
| 6.1.2 EU-27..... | 131 |
| 6.1.2.1 Flächenverschiebungen..... | 132 |
| Flächenausweitungen..... | 133 |
| Flächenversiegelung/Degradation..... | 134 |
| Rückgang der Weideflächen und der sonstigen Flächen..... | 134 |
| Waldflächen..... | 135 |
| Zunahme der bebauten Fläche..... | 135 |
| Zusammenfassung und Diskussion..... | 135 |
| 6.1.2.2 Geerntete Agrarbiomasse..... | 135 |
| 6.1.2.3 Erntenebenprodukte..... | 138 |
| 6.1.2.4 Weidebiomasse..... | 138 |
| 6.1.2.5 Holz..... | 139 |
| 6.1.2.6 Zusammenfassung..... | 140 |
| 6.1.3 Deutschland..... | 141 |
| 6.1.3.1 Flächenverschiebungen..... | 141 |
| Flächenausweitungen..... | 142 |
| Flächenversiegelung/Degradation..... | 143 |
| Rückgang der Weideflächen und der sonstigen Flächen..... | 143 |
| Waldflächen..... | 143 |
| Zunahme der bebauten Fläche..... | 144 |
| Zusammenfassung und Diskussion..... | 144 |
| 6.1.3.2 Geerntete Agrarbiomasse..... | 144 |
| 6.1.3.3 Erntenebenprodukte..... | 147 |

| | | |
|--|---|------------|
| 6.1.3.4 | Weidebiomasse | 147 |
| 6.1.3.5 | Holz..... | 148 |
| 6.1.3.6 | Zusammenfassung..... | 149 |
| 6.2 | BIOMASSENACHFRAGE..... | 150 |
| 6.2.1 | <i>Welt</i> | 150 |
| 6.2.1.1 | Lebensmittel | 151 |
| 6.2.1.2 | Futtermittel..... | 153 |
| 6.2.1.3 | Stoffliche Nutzung..... | 154 |
| | Weltweit wachsende Nachfrage nach Chemikalien und Kunststoffen | 154 |
| 6.2.1.4 | Steigender Anteil von Biomasse in der Chemie- und Kunststoffindustrie | 167 |
| | Biomassebedarf der Chemie- und Kunststoffindustrie im Jahr 2050 | 172 |
| 6.2.1.5 | Entwicklung der Biomassenachfrage aus der Chemie bis 2050 | 172 |
| | Szenarien für den Energiebedarf | 175 |
| | Stoffliche Nutzung | 180 |
| 6.2.1.6 | Bioenergie..... | 181 |
| 6.2.1.7 | Zusammenfassung Nachfrage Welt | 184 |
| 6.2.2 | <i>EU-27</i> | 185 |
| 6.2.2.1 | Lebensmittel/pflanzliche Agrarprodukte..... | 185 |
| | Inländische Nachfrage | 185 |
| | Exportnachfrage | 187 |
| 6.2.2.2 | Futtermittel: Inländische Nachfrage und Exportnachfrage | 187 |
| 6.2.2.3 | Stoffliche Nutzung..... | 188 |
| 6.2.2.4 | Bioenergie..... | 189 |
| 6.2.2.5 | Zusammenfassung Nachfrage EU-27 | 192 |
| 6.2.3 | <i>Deutschland</i> | 193 |
| 6.2.3.1 | Lebensmittel/pflanzliche Agrarprodukte..... | 193 |
| | Inländische Nachfrage | 193 |
| | Exportnachfrage | 195 |
| 6.2.3.2 | Futtermittel: Inländische Nachfrage und Exportnachfrage | 195 |
| 6.2.3.3 | Stoffliche Nutzung..... | 196 |
| 6.2.3.4 | Bioenergie..... | 197 |
| 6.2.3.5 | Zusammenfassung Nachfrage Deutschland | 200 |
| 7 | ABGLEICH VON ANGEBOT- UND NACHFRAGESZENARIOEN..... | 201 |
| 7.1 | WELT | 201 |
| 7.2 | EU-27..... | 203 |
| 7.3 | DEUTSCHLAND | 205 |
| 8 | ZUKUNFTSTRENDS..... | 207 |
| 8.1 | NUTZUNG ZUSÄTZLICHER FLÄCHEN..... | 207 |
| 8.2 | STEIGERUNG DER ERTRÄGE..... | 209 |
| 8.3 | REDUZIERUNG DER NACHFRAGE | 210 |
| 8.4 | SOLAR, WIND UND CCU | 211 |
| 9 | ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN | 212 |
| 9.1 | WELT | 212 |
| | Biomasse-Angebotsszenarien Welt | 217 |
| | Biomasse-Nachfrageszenarien..... | 217 |
| | Deckung von Biomasse-Angebot und -Nachfrage Welt..... | 218 |
| | Abschließende Beurteilung der Nachhaltigkeit der Angebotsszenarien..... | 220 |
| 9.2 | EU-27 | 222 |
| 9.3 | DEUTSCHLAND | 224 |
| 9.4 | AUSBLICK AUF ZUKÜNFTIGE TRENDS UND ENTWICKLUNGEN | 226 |
| ANHANG I: JÄHRLICHES WACHSTUM VON FASER- UND TEXTILVERBRAUCH – 2011 BIS 2050..... | | |
| | 2050..... | 227 |
| I.1 | STATUS QUO – FASERVERBRAUCH 2011 | 227 |
| I.2 | ENTWICKLUNG DER FASERMÄRKTE BIS 2011 | 230 |
| I.3 | ENTWICKLUNGEN DES FASERMARKTS BIS 2050 – AUSBLICK UND SZENARIOEN..... | 234 |
| ANHANG II: WACHSTUM DER WELTWEITEN KUNSTSTOFFNACHFRAGE IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE..... | | |
| | 238 | |

| | | |
|--|--|------------|
| II.1 | WELTWEITE PRODUKTION AN KRAFTFAHRZEUGEN (KFZ) UND INSBESONDERE PERSONENKRAFTWAGEN (PKW) | 238 |
| II.2 | KUNSTSTOFFANTEIL UND GEWICHT VON PKW | 240 |
| II.3 | ABSCHÄTZUNG DER KUNSTSTOFFNACHFRAGE IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE IM JAHR 2050 ... | 244 |
| ANHANG III: DATENÜBERBLICK..... | | 245 |
| III.1 | BASISDATEN 2011, WELT | 245 |
| III.2 | ANGEBOTSSZENARIEN 2050, WELT | 246 |
| III.3 | NACHFRAGESZENARIEN 2050, WELT..... | 247 |
| III.4 | BASISDATEN 2011, EU-27 | 248 |
| III.5 | ANGEBOTSSZENARIEN 2050, EU-27..... | 249 |
| III.6 | NACHFRAGESZENARIEN 2050, EU-27 | 250 |
| III.7 | BASISDATEN 2011, DEUTSCHLAND | 251 |
| III.8 | ANGEBOTSSZENARIEN 2050, DEUTSCHLAND | 252 |
| III.9 | NACHFRAGESZENARIEN 2050, DEUTSCHLAND | 253 |
| LITERATURVERZEICHNIS..... | | 254 |
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS | | 262 |
| TABELLENVERZEICHNIS | | 265 |
| DANKSAGUNG..... | | 268 |

0 Executive summary

Kurzbeschreibung

Welche Flächen und Biomassen bleiben für Biokraftstoffe in Zukunft nachhaltig verfügbar, wenn man sämtliche Flächenkonkurrenzen zu Lebens- und Futtermitteln, stofflicher Nutzung und auch anderen Formen der Bioenergie (Wärme & Strom) berücksichtigt und zudem neue Optionen der technologischen Entwicklung (Bioraffinerien, Solar- und Windenergie) zur Steigerung der Ressourceneffizienz mit einbezieht?

Bisherige Potenzialstudien für Bioenergie und Biokraftstoffe haben die wachsenden Nutzungskonkurrenzen für Biomasse ausgeblendet oder nur lückenhaft berücksichtigt. So wird die Konkurrenzsituation zur Lebens- und Futtermittelindustrie meist mit einbezogen, die Konkurrenz zum wachsenden stofflichen Bereich aber in der Regel ignoriert oder übersehen – auch aufgrund der schlechten Datenlage. Während für die Bereiche Lebens- und Futtermittel sowie Bioenergie und Biokraftstoffe umfassende Daten verfügbar sind, stellt die Analyse der Nachfrage der stofflichen Nutzung eine besondere Herausforderung dar. Hier liegen praktisch keine belastbaren Studien vor und es muss methodisch und inhaltlich Pionierarbeit geleistet werden – ohne die keine realistische Abschätzung der Flächen- und Biomassepotenziale für Biokraftstoffe möglich ist.

Die vorliegende Studie möchte genau das leisten und die zu Beginn gestellte Frage beantworten. Ziel ist es, das Biomasseangebot mit der Biomassenachfrage abzugleichen, um die Menge an Biomasse zu identifizieren, die unter den gegebenen Modellannahmen für die Produktion von Biokraftstoffen verwendet werden kann. Die Grundlage für die Modellierung bilden Literaturanalysen, Experteninterviews und Stakeholder-Workshops. Der Untersuchungsraum umfasst Deutschland, die EU-27 und die Welt vom Ausgangsjahr 2011 mit Szenarien für das Jahr 2050. Das Endergebnis besteht aus unterschiedlichen Szenarien für die Angebots- und Nachfrageentwicklung für die Biomasse, aus denen sich jeweils die nachhaltig nutzbaren Potenziale für Biokraftstoffe differenziert nach Rohstoffen ergeben.

In einem mathematischen Modell mit insgesamt circa 100 Parametern wurden jeweils drei explorative Biomasse-Angebots- und -Nachfrageszenarien bis ins Jahr 2050 entwickelt und der Ist-Situation im Basisjahr 2011 gegenübergestellt. Im Jahr 2011 betrug das globale Angebot an Biomasse demnach rund 12 Mrd. Tonnen (TM). 14 % von dieser Menge wurden als Lebensmittel eingesetzt, 58 % entfielen auf Futtermittel, 10 % wurden stofflich verwendet, 16 % wurden zur Produktion von Bioenergie genutzt und etwa 1 % können der Herstellung von Biokraftstoffen zugeschrieben werden.

Im Jahr 2050 liegt die Spannweite des globalen Biomasseangebots entsprechend der Szenarien zwischen 12,4 und 25,1 Mrd. Tonnen (TM). Demgegenüber wurde entsprechend der Szenarien eine Biomassenachfrage mit einer Spannweite von 17 bis 21 Mrd. Tonnen (TM) kalkuliert. Je nach Kombination der unterschiedlichen Biomasse-Angebots- und -Nachfrageszenarien ergibt sich ein differenziertes Bild hinsichtlich der Bedarfsdeckung für Lebensmittel, Futtermittel, die stoffliche Nutzung und Bioenergie. Daraus ergibt sich ein Potenzial zwischen 0 und 7 Mrd. Tonnen (TM) für die Produktion von Biokraftstoffen.

Welche der Biomasse-Angebotsszenarien dabei als nachhaltig gelten, hängt primär von dem gewählten Nachhaltigkeitskonzept und den betrachteten Systemgrenzen ab. Nach den Anforderungen der FAO an eine nachhaltige Entwicklung im Agrarsektor können alle Angebotsszenarien grundsätzlich nachhaltig gestaltet werden, allerdings kaum unter Erhalt der heutigen Biodiversität. Berücksichtigt man jedoch die Entwicklung von Zukunftstrends, so kann das Biomasseangebot durch innovative Technologien und Systemoptimierungen weiter ausgebaut und Engpässe bis 2050 weitgehend vermieden werden.

Insgesamt bedeutet das, dass zukünftig der Widerspruch zwischen Schaffung und Erhalt großer Schutzzonen und natürlicher Flächen und gleichzeitig einer deutlich erhöhten Produktion an Biomasse und anderen Formen erneuerbarer Kohlenstoffträger dauerhaft überwunden werden kann. Bioökonomie und erneuerbare Energien in Verbindung mit einer CO₂-Ökonomie sind in der Lage, die Rohstoffversorgung der Welt langfristig und nachhaltig sicher zu stellen, ohne die Natur und Biodiversität zu gefährden. Hierfür sind allerdings konsequente politische Weichenstellungen und enorme Investitionen in diese neuen Technologien notwendig.

Executive Summary

How much surface area and sustainable biomass will be available in the future if the competition for food, feed, bio-based materials and other types of bioenergy (heat & electricity) is considered as well as emerging technologies (e.g. biorefineries, solar and wind power), which increase the overall resource efficiency?

Previous studies on bioenergy and biofuels potentials did not account for the competing uses of biomass appropriately or completely neglected it. The competition to the food and feed industries is usually covered but the growing competition to the industrial material use of biomass is usually ignored – also due to the lack of data. While the data for the food and feed sector as well as the bioenergy and biofuels sector are available, the analysis of the biomass demand for bio-based chemicals and materials is a great scientific challenge. In this sector, basically no reliable studies are available and methodological pioneering is necessary – without this basic information, it is not possible to do a realistic assessment of area and biomass potentials for biofuels.

The following study will exactly achieve this goal and answer the initial research question from above. The aim of the project is the matching of biomass supply and demand in order to identify the amount of biomass which is available for the production of biofuels under the given assumptions of a mathematical model. Literature reviews, expert interviews and workshops form the basis for this modelling exercise. The scope of the study comprises Germany, the EU-27 and the world from the reference year 2011 with scenarios towards 2050. The final result consists of different scenarios for the development of supply and demand of biomass resulting in sustainable available potentials for biofuels.

In a mathematical model of about 100 parameters, three explorative biomass supply and demand scenarios have been developed for the year 2050 and compared to the present situation in the reference year 2011. In 2011, the global biomass supply was about 12 billion tonnes dry matter (DM). 14% of this were used for food, 58% for feed, 10% for materials, 16% for bioenergy for heat and power and about 1% for the production of biofuels.

According to the scenarios, the global biomass supply in 2050 ranges between 12.4 and 25.1 billion tonnes (DM). Compared to these values, scenarios for the biomass demand were calculated with ranges between 17 and 21 billion tonnes (DM). Depending on the combination of the different biomass supply and demand scenarios, a differentiated picture regarding the satisfaction of demand for food, feed, material uses and bioenergy becomes apparent. This leads to biomass potentials for biofuels between 0 and 7 billion tonnes (DM).

Which of the biomass supply scenarios could be considered to be sustainable depends primarily on the chosen sustainability concept and the system boundaries. According to the FAO's requirements for a sustainable development of agriculture, all supply scenarios could generally be sustainable, but hardly with maintaining today's level of biodiversity at the same time. However, if one takes into account future trends, biomass supply could be further expanded by deploying innovative technologies and system optimizations so that bottlenecks could be largely avoided until 2050.

Overall, this implies that the contradiction between the development and conservation of large protection zones and natural areas and the significant expansion of biomass production and other forms of renewable carbon carriers can be permanently overcome in the future. Bioeconomy and renewable energies in conjunction with a CO₂-economy are able to secure the raw material supply of the world on a long-term and sustainable basis without endangering nature and biodiversity. In order to make this happen, however, a rigorous political framework setting and enormous investments into these technologies are necessary.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Im Mittelpunkt des Projektes „Nachhaltig nutzbare Potenziale für Biokraftstoffe in Nutzungskonkurrenz zur Lebens- und Futtermittelproduktion, Bioenergie sowie zur stofflichen Nutzung in Deutschland, Europa und der Welt“ steht die Frage:

Welche Flächen und Biomassen bleiben für Biokraftstoffe in Zukunft nachhaltig verfügbar (für das Jahr 2050), wenn man

- sämtliche Flächenkonkurrenzen zu Lebens- und Futtermitteln, stofflicher Nutzung und auch anderen Formen der Bioenergie (Wärme & Strom) berücksichtigt und
- zudem neue Optionen der technologischen Entwicklung (Bioraffinerien, Solar- und Windenergie) und
- zur Steigerung der Ressourceneffizienz mit einbezieht?

Biomasse wird als Rohstoff für Lebens- oder Futtermittel, für Bioenergie und Biokraftstoffe und für die stoffliche Nutzung in Chemie und Werkstoffen eingesetzt. Nutzungskonkurrenzen mit zunehmendem Druck auf die land- und forstwirtschaftlichen Flächen werden die zukünftige Biomassenutzung bestimmen. Gleichzeitig wächst die Herausforderung, die Biomassebereitstellung und Nutzung unter ökologischen, sozialen und ökonomischen Gesichtspunkten so nachhaltig wie möglich zu gestalten.

Auf der einen Seite erhöht sich die Intensität der Landnutzung durch eine wachsende Weltbevölkerung mit gleichzeitig veränderten Konsumgewohnheiten (z. B. verstärkter Fleischkonsum). Dies führt neben größer werdenden Siedlungsflächen für Städte, Industrie und Infrastruktur zu einem zusätzlichen Bedarf an Flächen für die Produktion von Lebens- und Futtermitteln. Die wachsende Nachfrage nach Energie und Werkstoffen sowie Strategien zur Reduzierung der CO₂-Emissionen verursachen zudem eine steigende Nachfrage nach Biomasse im Energie- und Kraftstoffbereich sowie in der stofflichen Nutzung („Bioökonomie“).

Auf der anderen Seite gibt es eine starke technologische Entwicklung, die nicht nur die Erträge im Agrarbereich wachsen lässt (Züchtung, Optimierung von Anbausystemen, etc.), sondern auch die Umwandlung von Biomasse für die energetischen und stofflichen Nutzungen immer effizienter macht (z. B. Bioraffinerien). Neue Konzepte wie Recycling und Kaskadennutzung ermöglichen zudem eine immer effizientere Nutzung der Ressourcen. Erneuerbare Energien wie die Solar- und Windenergie sowie neue Antriebskonzepte wie die Elektromobilität ermöglichen eine Energienutzung ohne Verwendung von Biomasse – mit einer sehr effizienten Nutzung der Fläche. Selbst Kraftstoffe und Chemikalien können heute ohne Einsatz von Biomasse mit Hilfe von erneuerbaren Energiequellen, Kohlenstoffdioxid und Wasser hergestellt werden (CO₂-Economy).

Bisherige Potenzialstudien für Bioenergie und Biokraftstoffe haben die wachsenden Nutzungskonkurrenzen ausgeblendet oder nur lückenhaft berücksichtigt. So wird die Konkurrenzsituation zur Lebens- und Futtermittelindustrie meist mit einbezogen, die Konkurrenz zum wachsenden stofflichen Bereich aber in der Regel ignoriert oder übersehen – auch aufgrund der schlechten Datenlage. Während für die Bereiche Lebens-

und Futtermittel sowie Bioenergie und Biokraftstoffe umfassende Daten verfügbar sind, stellt die Analyse der Nachfrage der stofflichen Nutzung eine besondere Herausforderung dar. Hier liegen praktisch keine belastbaren Studien vor und es muss methodisch und inhaltlich Pionierarbeit geleistet werden – ohne die keine realistische Abschätzung der Flächen- und Biomassepotenziale für Biokraftstoffe möglich ist.

Zudem bleiben in bisherigen Potenzialstudien die Effekte von erneuerbaren Energien (Biomasse, Solar, Wind etc.) auf die Biomassebereitstellung und Ressourceneffizienz oft unberücksichtigt. Eine übergreifende Betrachtung der Gesamtallokation der Biomasse hat deshalb bisher nicht stattgefunden.

Die vorliegende Studie möchte genau das leisten und die zu Beginn gestellte Frage beantworten: Welche Flächen und Biomassen bleiben für Biokraftstoffe in Zukunft nachhaltig verfügbar (und notwendig), wenn man die Flächenkonkurrenzen zu sämtlichen anderen Biomassenutzungen und den technischen Fortschritt berücksichtigt? Hierzu ist eine umfassende Analyse und Darstellung der Rohstoff- bzw. Angebotsseite der Ressourcen auf der einen Seite und der Nachfragesituation (wachsende Weltbevölkerung und Lebensstandard) sowie Nutzungskonkurrenzen auf der anderen Seite notwendig.

Ziel ist es, das Biomasseangebot mit der Biomassenachfrage abzugleichen, um die Menge an Biomasse zu identifizieren, die unter den gegebenen Modellannahmen für die Produktion von Biokraftstoffen verwendet werden kann. Der Untersuchungsraum umfasst dabei Deutschland, die EU-27 und die Welt vom Ausgangsjahr 2011 mit Szenarien für das Jahr 2050. Das Endergebnis besteht aus unterschiedlichen Szenarien für die Angebots- und Nachfrageentwicklung für die Biomasse, aus denen sich jeweils die nachhaltig nutzbaren Potenziale für Biokraftstoffe differenziert nach Rohstoffen ergeben.

Die besondere Stärke der vorliegenden Studie ist zum einen die Entwicklung einer Methode für umfassende Angebot- und Nachfrage-Szenarien unter Einbeziehung einer Vielzahl von Parametern. Zum anderen wird ein besonderer Schwerpunkt auf eine möglichst realistische und umfassende Analyse des heutigen und zukünftigen Bedarfs für die stoffliche Nutzung von Biomasse gelegt, die insgesamt in der gleichen Größenordnung liegt, wie die energetischen Nutzung (im Jahr 2011), eine hohe Ressourceneffizienz (Option der Kaskadennutzung) zeigt und nur sehr schwer durch andere erneuerbare Ressourcen substituiert werden kann und deren Bedarf deshalb vorrangig zu decken ist.

2 Methodische Vorgehensweise

Das gesamte Biomasseangebot besteht im Wesentlichen aus den folgenden Komponenten:

- Geerntete Biomasse von Agrarflächen einschl. Erntenebenprodukte
- Biomasse von Grünlandflächen (Weidebiomasse)
- Holz einschl. Nebenprodukte
- Fischerei (inkl. Aquakultur)

Für andere Formen des Biomasseangebots, zum Beispiel aus der Jagd, sind quantitative Abschätzungen nur schwer möglich. Sie spielen im Vergleich zu den vier genannten Biomasseherkünften nur eine untergeordnete Rolle und werden in dieser Studie daher nicht weiter betrachtet. Auch das Biomasseangebot aus der Fischerei ist im Vergleich zu den Größenordnungen des Angebotes aus der Agrar- und Forstwirtschaft bislang vernachlässigbar. Der Schwerpunkt der Analyse liegt daher auf der Biomasse aus der Agrar- und Forstwirtschaft und ihren Nebenprodukten

Im Folgenden soll nun die in der Studie verfolgte methodische Vorgehensweise kurz vorgestellt werden. In den späteren Teilen der Studie werden dann die konkreten Berechnungsverfahren und zugrunde liegende Annahmen vertiefend diskutiert und transparent gemacht.

In der Studie werden das Angebot an Biomasse sowie die Nachfrage nach Biomasse zunächst unabhängig voneinander analysiert, und dann auf der Ebene von Biomassetypen und sektoraler Nachfrage transparent dargestellt und miteinander abgeglichen.

Das hinter den Szenarien stehende mathematische Modell ist vergleichsweise einfach, der Schwerpunkt liegt dagegen im tiefen Verständnis und einer belastbaren und transparenten Darstellung bzw. Herleitung von Basisdaten (2011) und Modellannahmen (Entwicklung 2011 – 2050). Hierzu dienten umfassende Literaturrecherchen, Experteninterviews sowie drei Expertenworkshops in Berlin (16.12.2013), Köln (03.07.2014) und Berlin (24.11.2014) im Rahmen des Projektes und weitere in Brüssel im Rahmen anderer Projekte (z. B. SCAR Foresight Exercise Bioeconomy).

Der ursprünglich geplante Zwischenschritt, das Jahr 2030, wurde in den Szenarien übersprungen, da der Erkenntnisgewinn nach ersten Kalkulationen marginal war und alle Tabellen und Grafiken die Studie unnötig aufgebläht hätten. Der geringe Erkenntnisgewinn resultiert daraus, dass für die meisten Größen zwischen 2011 – 2050 lineare Entwicklungen angenommen wurden, für einige in Kombination mit Sättigungseffekten.

Der Fokus liegt auf dem detaillierten Verstehen der globalen Biomasseströme und dem Einfluss wesentlicher Modellparameter für die zukünftige Entwicklung in einem überschaubaren mathematischen Modell.

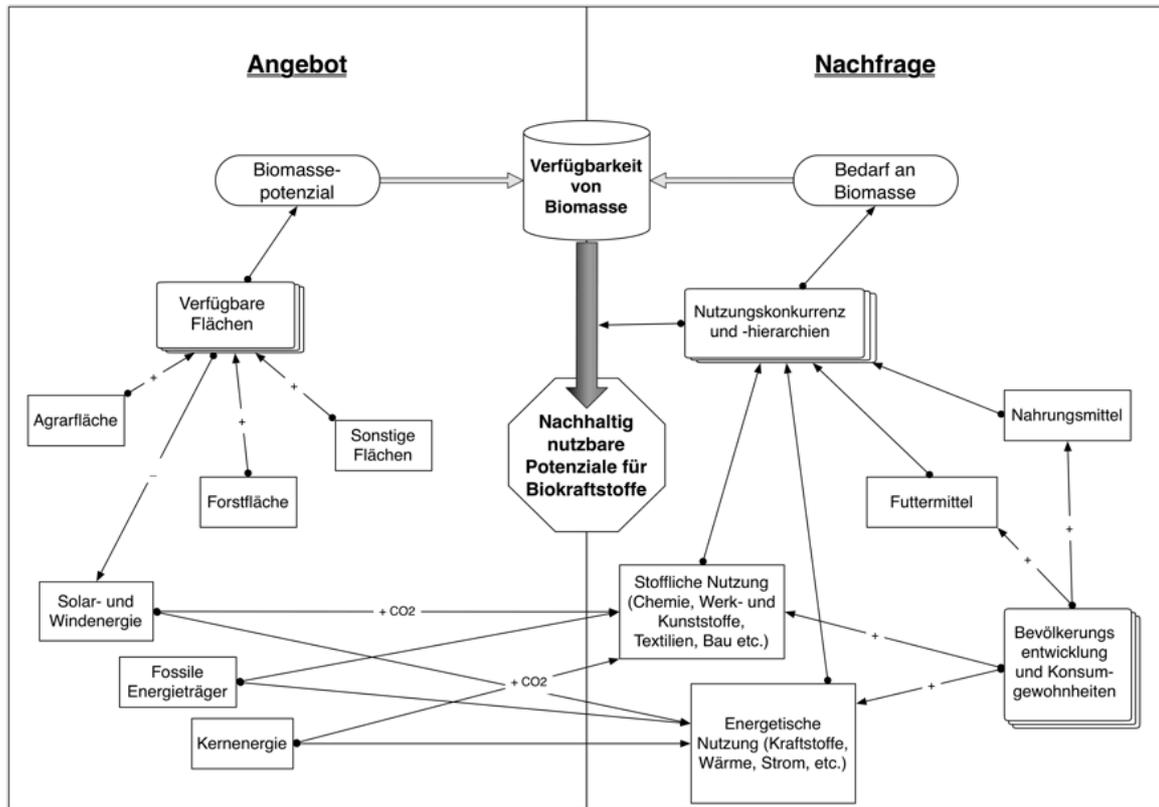


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Vorgehensweise (Quelle: eigene Darstellung)

Biomasse, Angebot und Nachfrage im Jahr 2011 – Welt, Europa und Deutschland

Zunächst einmal ist es überraschend, wie schwierig es ist, ein konsistentes Bild vom Biomasseangebot (Agrar, Forst und Weideland) und der Biomassenachfrage aller Sektoren zu erhalten – für die Welt, Europa (EU 27) und Deutschland. Es gibt nicht eine Studie, die dieser Aufgabe bislang gerecht geworden ist und die in der Lage war, einen Abgleich von Angebot und Nachfrage vorzunehmen. Dies liegt unter anderem daran, dass gerade die Nachfrage aus dem stofflichen Sektor in aller Regel nur höchst ungenau bekannt ist oder komplett übersehen wird.

Die Autoren mussten daher eine Vielzahl von Quellen auswerten und die Ergebnisse zu einem Gesamtbild zusammen fügen. Die so ermittelten Basisdaten für 2011 werden in den entsprechenden Kapiteln detailliert hergeleitet und begründet. Dieses Vorgehen begann mit der weltweiten Betrachtung der Stoffströme, da es hier keine Im- und Exportproblematik gibt, die das Abgleichen für Europa und Deutschland deutlich erschweren. Des Weiteren kann nur eine weltweite Betrachtung die Frage nach der Verfügbarkeit nachhaltiger Biomasse für Biokraftstoffe beantworten – der Rest ist dann nur die Frage nach lokaler Deckung und Verteilung der weltweiten Ströme.

Beim konkreten Vorgehen wurden zunächst das Angebot an Biomasse (pro Biomassetyp) so gut wie möglich ermittelt und parallel dazu die Nachfrage nach Biomasse (pro Sektor). Gerade auf Nachfrageseite liegen für einige Sektoren nur sehr ungenaue Daten vor. Hier mussten eigene Berechnungen und Schätzungen vorgenommen werden.

In einem iterativen Prozess wurde dann ein Abgleich von Angebot und Nachfrage auf Basis von Tonnen Trockenmasse je Biomassetyp vorgenommen. Schließlich konnte der Abgleich bis zu einer Genauigkeit von 6 % erreicht werden – angesichts der großen Ungenauigkeiten in den vorliegenden Daten ein überraschend gutes Resultat.

Im Ergebnis konnte ein umfassendes und konsistentes Bild von der Biomassebilanz der Welt, Europas und Deutschland gezeichnet werden, wie es in diesem Umfang bislang noch nicht publiziert wurde. Die Basisdaten für das Jahr 2011 stellten dann die Grundlage für den zweiten Schritt dar, Szenarien für das Jahr 2050 zu entwickeln.

Biomasse, Angebot- und Nachfrageszenarien für das Jahr 2050 – Welt, Europa und Deutschland

Die im Projekt entwickelten Szenarien für das Jahr 2050 sind streng explorativ („erforschend“), sie schauen sich an, wie sich unter unterschiedlichen plausiblen und in sich konsistenten Annahmen sowohl das Angebot an Biomasse als auch die Nachfrage nach Biomasse entwickeln werden. Im Gegensatz zu normativen Szenarien, wurden hier keine Wunschzielgrößen („wünschbare Zukunft“) für das Jahr 2050 vorangestellt.

Das methodische Vorgehen ist durch die folgenden Besonderheiten gekennzeichnet:

- **Explorativ:** Für etwa 100 Parameter, die maßgeblich Angebot und Nachfrage in der Zukunft bestimmen, wurden unterschiedliche Annahmen-Sets entwickelt (Angebot: Niedrig, BAU und Hoch; Nachfrage: BAU, Bio-based und Bio-based Hoch) und berechnet, was die jeweiligen Annahmen-Sets für Angebot (pro Biomassetyp) und Nachfrage (pro Sektor) im Jahr 2050 bedeuten würden.
- **Plausibel:** Alle etwa 100 Parameter wurden detailliert untersucht und plausible, belastbare Annahmen getroffen, die sich in der Regel aus existierenden Studien ableiten. Wo diese nicht vorlagen, wurden eigene Detailanalysen angestellt. Letzteres war insbesondere im Bereich der stofflichen Nutzung notwendig. Die Annahmen wurden in mehreren Workshops mit Experten diskutiert und optimiert.
- **Konsistent:** Die Konsistenz bezieht sich auf die Annahmen-Sets, deren Annahmen aufeinander abgestimmt sind, und auf die Abstimmung von Angebot und Nachfrage auf der Ebene der Biomassetypen (Kohlenhydrate, Proteine, Fette und Sonstiges) – und nicht wie oft nur auf Ebene von „Exajoule“ oder „Tonnen Biomasse“. Ohne diese Detailbetrachtung gehen Eigenschaften der Biomasse verloren, die gerade für die Bereiche Lebens- und Futtermittel und stoffliche Nutzung von großer Bedeutung sind (ohne die diese nicht zwischen Angebot und Nachfrage abgeglichen werden können). Auch wenn eine teilweise Substitution der betrachteten Biomassetypen in einzelnen Anwendungen möglich ist, ist es für die Bereiche Lebens- und Futtermittel und stoffliche Nutzung eben relevant, ob es sich bei dem Biomasseangebot um Zucker/Stärke, (Hemi-)Cellulose, Proteine, Fette oder Lignin handelt. Eine reine Angabe in Joule oder Tonnen Biomasse greift daher zu kurz. Zudem bauen die Szenarien auf einer soliden und konsistenten Basis für das Jahr 2011 auf.

Angebot und Nachfrage

Die Ausgangsbasis des Vorhabens ist eine umfassende Auswertung der Einflussfaktoren auf die Verfügbarkeit von Biomasse auf Angebotsseite sowie der Analyse der Nachfrageentwicklung:

- **Angebot:** Das Biomasseaufkommen wird anhand der zur Verfügung stehenden Flächen und ihrer spezifischen Biomassepotenziale vermittelt (*Bottom-Up-Ansatz*). Das methodische Vorgehen zur Ermittlung der verfügbaren Flächen, der kulturspezifischen Erträge und möglicher weiterer Effekten zur Angebotssteigerung werden in Kapitel 5.1 diskutiert.
- **Nachfrage:** Der Biomassebedarf wird anhand der Nachfrage für Lebens- und Futtermittel sowie die stoffliche und energetische Nutzung erfasst (*Top-Down-Ansatz*). Das methodische Vorgehen zur Ermittlung des Biomassebedarfs wird im Kapitel 5.2 diskutiert. Es unterscheidet sich erheblich für die verschiedenen Nachfragesektoren.

Die Analyse und Bestimmung von Biomasseangebot und -nachfrage erfolgt nach Art der Herkunft (geerntete Agrarbiomasse, Erntenebenprodukte, Weidebiomasse, Holz) sowie nach Art der Bestandteile (Zucker/Stärke, (Hemi-)Cellulose, Fette, Proteine) der Biomasse. Der Abgleich von Angebot und Nachfrage erfolgt durch die Gegenüberstellung der jeweiligen Mengen in Trockenmasse (siehe Anhang III).

Problemfeld stoffliche Nutzung

Während im Bereich der Nahrungs- und Futtermittel sowie im Bereich der energetischen Nutzung von Biomasse eine Reihe von Daten hinsichtlich des Bedarfs an Biomasse zur Verfügung stehen (wenn auch nicht immer konsistent), besteht im Bereich der stofflichen Nutzung von Biomasse ein enormes Wissensdefizit. Daher liegt ein besonderer Schwerpunkt der vorliegenden Studie auf der Erfassung der Biomassenutzung im stofflichen Bereich heute und sowie der Nachfrageentwicklung im stofflichen Bereich in allen wesentlichen Branchen bis 2050. Ohne die Kenntnis der Nachfrageentwicklung bei der als vorrangig angenommenen stofflichen Nutzung kann die Frage nach nachhaltig nutzbarer Biomasse für Bioenergie und Biokraftstoffe nicht beantwortet werden.

3 Begriffsklärung Nachhaltigkeit von Biomasse

3.1 Nachhaltigkeit

Aufgrund der wachsenden Weltbevölkerung und einer damit verbundenen steigenden Nachfrage nach Biomasse für Lebens- und Futtermittel, bio-basierte Produkte, Bioenergie und Biokraftstoffe lautet eine zentrale Untersuchungsfrage der vorliegenden Studie, wie die Nachfrage nach Biomasse – in der genannten Reihenfolge – nachhaltig gedeckt werden kann. Gerade in der Landwirtschaft wird das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung zum Teil kontrovers diskutiert. Aus diesem Grund wird im Folgenden eine kurze historische Entwicklung des Nachhaltigkeitsbegriffs beschrieben (vgl. Kapitel 3.1.1), die aktuelle Situation in der Land- und Forstwirtschaft geschildert (vgl. Kapitel 3.1.2) und die Begriffsbedeutung, die der vorliegenden Studie zugrunde liegt, im Kontext nachhaltiger Potenziale von Biokraftstoffen näher erläutert (vgl. Kapitel 3.1.3).

3.1.1 Historische Entwicklung des Nachhaltigkeitsbegriffs

Die Wurzeln des Begriffs „Nachhaltigkeit“ lassen sich bis ins 18. Jahrhundert verfolgen. Bereits 1713 beschrieb Hans Carl von Carlowitz in seinem Werk *„Sylvicultura Oeconomica“* das Prinzip, pfleglich mit den Ressourcen der Natur und insbesondere mit dem Wald umzugehen und prägte den Begriff einer nachhaltenden Nutzung (Carlowitz 1713, S. 105): *„Wird derhalben die größte Kunst/Wissenschaft/Fleiß und Einrichtung hiesiger Lande darinnen beruhen / wie eine sothane Conservation und Anbau des Holtzes anzustellen / daß es eine continuierliche beständige und nachhaltende Nutzung gebe / weiln es eine unentberliche Sache ist / ohne welche das Land in seinem Esse nicht bleiben mag“*. Carlowitz empfahl, die Entnahme von Holz an den Zuwachsraten des Waldes zu orientieren und nur so viel Holz einzuschlagen, wie auch wieder nachwachsen konnte. Bis heute gilt er somit als „Erfinder“ der Nachhaltigkeit (DIE ZEIT 1999).

Eine internationale Debatte zum Thema Nachhaltigkeit wurde 1987 von der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung in Gang gebracht, die von der damaligen norwegischen Ministerpräsidentin Gro Harlem Brundtland geleitet wurde und bis heute als Brundtland-Kommission bekannt ist. Die von den Vereinten Nationen eingesetzte Kommission hatte die Aufgabe, langfristige Strategien für eine nachhaltige Entwicklung aufzuzeigen und lieferte eine bis heute vielfach zitierte und weltweit etablierte Definition (WCED 1987, S. 15): *„Humanity has the ability to make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs“*. Demnach beschreibt der Begriff nachhaltige Entwicklung eine Entwicklung, *„die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können“* (Hauff 1987).

Zwei wesentliche Prinzipien dieser Definition prägen das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung bis heute. Zum einen sollen die menschlichen Grundbedürfnisse nach dem Prinzip der Generationengerechtigkeit für alle jetzigen und zukünftigen Generationen befriedigt werden können. Zu den Grundbedürfnissen zählen nach Maslow (1943) unter anderem physiologische Bedürfnisse zur Existenzsicherung (z. B. Nahrung), Sicherheitsbedürfnisse (z. B. Wohnraum) und soziale Bedürfnisse (z. B. soziale

Beziehungen), die für alle Menschen auf der ganzen Welt gleichermaßen gelten sollen. Zum anderen soll die Befriedigung der Grundbedürfnisse nach dem Prinzip der ökologischen Tragfähigkeit an den natürlichen Grenzen der Erde ausgerichtet sein und diese nicht überschreiten. Welche Grenzen der ökologischen Tragfähigkeit es gibt und welche Effekte bei Überschreitung dieser Grenzen eintreten, wird bereits seit den 1970er Jahren erforscht (Meadows et al. 1972) und gelangt unter anderem durch den Club of Rome in die öffentliche Wahrnehmung.

Seit der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung, die 1992 in Rio de Janeiro mit mehr als 10.000 Delegierten aus aller Welt stattgefunden hat und als Erdgipfel oder Rio-Konferenz in die Geschichtsbücher eingegangen ist, hat sich der Nachhaltigkeitsbegriff zu einem zentralen Bestandteil nationaler und internationaler Umwelt- und Entwicklungspolitik entwickelt. Doch während über das allgemeine Verständnis weitgehende Einigkeit besteht, gibt es bei der Operationalisierung, Präzisierung und Auslegung des Begriffs unterschiedliche und zum Teil widersprüchliche Auffassungen. Dies trifft insbesondere für den Bereich der Land- und Forstwirtschaft und die Produktion von Biomasse zu.

3.1.2 Nachhaltigkeit in der Land- und Forstwirtschaft

Im Bereich der Landwirtschaft gibt es keine allgemein gültige bzw. allgemein akzeptierte Definition einer nachhaltigen Entwicklung. Vielmehr wird das Leitbild der Nachhaltigkeit in unterschiedlichen Facetten auf die Landwirtschaft übertragen. So beschreiben Allen et al. (1991) eine nachhaltige Landwirtschaft als ökologisch tragfähig, ökonomisch existenzfähig, sozial verantwortlich, ressourcenschonend und dienlich als Basis für zukünftige Generationen. Eine nachhaltige Landwirtschaft ist demzufolge nicht zwangsläufig umweltfreundlich, sondern befindet sich vielmehr in einem Spannungsfeld zwischen ökologischen, ökonomischen und sozialen Anforderungen (DLG 2013). Das erstrangige Ziel einer nachhaltigen Landwirtschaft sollte laut GIZ (2012) jedoch die langfristige, qualitative und quantitative Sicherung der Ernährung der Weltbevölkerung sein. Zielkonflikte in der Ausgestaltung des Konzepts sind darum unvermeidlich. So macht das Umweltbundesamt in diesem Zusammenhang deutlich, dass eine *„Land- und Biomassenutzung, die zwar ressourcenschonend erfolgt, aber elementare Bedürfnisse eines Teils der Menschheit nicht befriedigt“*, nicht als nachhaltig gelten kann (UBA 2012, S. 9).

In der vorliegenden Studie wird die Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen primär auf die Bereitstellung der Biomasseproduktion bezogen. Die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) beschreibt die Nachhaltigkeit im Bereich der Bereitstellung von Biomasse auf ihren Internetseiten als *„System Nachwachsende Rohstoffe“*. Dieses muss *„die Möglichkeit zur natürlichen Regeneration haben, so dass auch künftige Generationen es in gleicher Weise nutzen können wie die heutige“* (FNR 2015). Demzufolge kann Biomasse zur Energie- und Rohstoffversorgung nur dann auf Dauer und in großem Stil beitragen, wenn sie nachhaltig angebaut und genutzt wird. Die Zertifizierung von nachhaltig angebaute Biomasse ist derzeit eine in begrenztem Rahmen praktizierte Maßnahme, um die Produktion von Biomasse nachhaltig zu gestalten. Sie ist ein erster Schritt zur Operationalisierung der Nachhaltigkeit im Bereich der Landwirtschaft.

In Deutschland traten im Jahr 2009 so beispielsweise mit der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioStNachV) und der Biokraftstoff-Nachhaltigkeits-

verordnung (Biokraft-NachV) zwei Verordnungen in Kraft, die Nachhaltigkeitsanforderungen an die Produktion von Biomasse für die energetische Nutzung stellen. Die folgende Tabelle fasst die Nachhaltigkeitsanforderungen und deren Bedeutung stichwortartig zusammen.

Tabelle 1: Nachhaltigkeitsanforderungen nach BioStNachV und Biokraft-NachV (Quelle: Eigene Darstellung)

| Nachhaltigkeitsanforderungen | Bedeutung |
|---|---|
| Schutz natürlicher Lebensräume (§§4-6) | Schutz von <ul style="list-style-type: none"> ▪ Primärwäldern und sonstigen naturbelassenen Flächen ▪ Naturschutzzwecken dienenden Flächen ▪ Grünland mit großer biologischer Vielfalt ▪ Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand (Feuchtgebiete, kontinuierlich bewaldete Flächen) ▪ Torfmoor |
| Nachhaltige landwirtschaftliche Bewirtschaftung | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Grundanforderungen an die Betriebsführung (Anhang II 2009/73/EG), d. h. Gesundheit von Mensch, Tier, Pflanzen und Umwelt ▪ Mindestanforderungen an den guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (Anhang III 2009/73/EG), d. h. Bodenschutz, Gewässerschutz, Schutz von Lebensräumen |
| Treibhausgas-Minderungspotenzial | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mindestens 35% weniger Treibhausgase (ab 1.1.2017 mindestens 50 %) für Biokraftstoffe |

Die oben genannten Nachhaltigkeitsanforderungen werden heute nur dann umgesetzt, wenn Biomasse zur energetischen Nutzung entsprechend der Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen eingesetzt wird. Wird das Anreizsystem des Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) nicht in Anspruch genommen oder die Biomasse anderweitig verwendet, ist kein Nachweis ihrer Nachhaltigkeit erforderlich.

Aktuelle Diskussionen zielen darauf ab, Nachhaltigkeitskriterien ebenfalls auf die stoffliche Nutzung von Biomasse zu übertragen. Welche Kriterien dafür national und international implementiert werden, wird jedoch zum Teil kontrovers diskutiert. Die *Initiative Nachhaltige Rohstoffbereitstellung für die stoffliche Biomassenutzung* hat in einem partizipativen Prozess zwischen Industrie, Forschung, Nichtregierungsorganisationen und Politik einen Kriterienkatalog mit mehr als 30 Anforderungen an eine nachhaltige Biomasseproduktion entwickelt (INRO 2013). Auch das *Europäische Komitee für Normung* (Comité Européen de Normalisation, CEN) hat ein

Verfahren eingeleitet, um einen einheitlichen Standard für die Zertifizierung von bio-basierten Produkten zu entwickeln und am Markt zu etablieren (EC 2011). Eine europäische Norm zur Zertifizierung von Biomasse ist zum Abschluss des vorliegenden Projektes jedoch noch nicht verfügbar.

Gegenüber den sektoralen Bemühungen haben sich am Markt bereits zahlreiche Zertifizierungssysteme für unterschiedliche Arten von Biomasse etabliert. Für Holz gibt es mit dem „*Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC)*“ und dem „*Forest Stewardship Council (FSC)*“ zwei Systeme, die auf Basis von Zertifikaten zusammen 433 Millionen Hektar als nachhaltig bewirtschaftete Waldflächen deklarieren (UN 2014). Das entspricht etwa 10,7 % der weltweit verfügbaren Waldfläche in Höhe von circa 4,03 Milliarden Hektar (vgl. Kapitel 5.1.1.5). In der folgenden Tabelle ist eine Übersicht unterschiedlicher Biomassen von Acker- und Dauerkulturen, ihrer Anbaufläche und erhältlicher Zertifikate dargestellt.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der weltweiten Acker- und Dauerkulturflächen mit zertifizierten Flächen unterschiedlicher Zertifizierungssysteme (Auswahl) (Quelle: eigene Darstellung)

| Acker- und Dauerkulturen | Weltweite Anbaufläche in Millionen Hektar** | Zertifizierte Anbaufläche in Millionen Hektar* | Zertifizierte Anbaufläche in Prozent | Zertifizierungssystem |
|---------------------------------|--|---|---|------------------------------|
| Weizen | 220 | k.A. | k.A. | k.A. |
| Mais | 172 | k.A. | k.A. | k.A. |
| Reis | 163 | k.A. | k.A. | k.A. |
| Soja | 104 | 0,5 | 0,5 | RTRS |
| Baumwolle | 35 | 1,3 | 3,7 | BCI |
| Zuckerrohr | 25 | 0,9 | 3,6 | BONSUCRO |
| Ölpalme | 16 | 2,63 | 16 | RSPO |

* Angaben der Zertifizierungssysteme

** Angaben nach FAO 2013

Anhand der Tabelle lässt sich schließen, dass im Bereich der Acker- und Dauerkulturen nur eine geringe Fläche durch Zertifikate an eine nachhaltige Bewirtschaftung gebunden ist. Dies liegt vor allem daran, dass bislang nur an Biokraftstoffe, die nach Europa exportiert werden und die am Anreizsystem entsprechend der Richtlinie 2009/28/EG (RED/FQD) teilhaben wollen, verbindliche Nachhaltigkeitsanforderungen gestellt werden. Im Lebensmittel- und Kosmetikbereich werden vor allem Nischenmärkte mit besonderen ökologischen Ansprüchen adressiert, in denen mit eigenen Systemen eine ökologische Landwirtschaft („Organic farming“) zertifiziert wird.

Für die drei weltweit flächenmäßig bedeutendsten Ackerkulturen (Weizen, Mais und Reis) gibt es praktisch keine nennenswerten Flächen, die über Nachhaltigkeitszertifikate abgedeckt sind. Für einige Biomasseströme gibt es dagegen bereits erste Kennzahlen, die

eine Gegenüberstellung der gesamten Anbaufläche mit der zertifizierten Anbaufläche erlauben:

- Laut dem *Round Table on Responsible Soy* (RTRS) wurden im Jahr 2013 insgesamt mehr als 1,3 Millionen Tonnen nachhaltig angebaute Sojabohnen auf einer Fläche von circa 472.000 Hektar produziert. Dies entspricht etwa 0,5 % der weltweiten Anbauflächen für Soja in Höhe von 104 Millionen Hektar.
- Die *Better Cotton Initiative* (BCI) verfolgt die Zertifizierung von nachhaltiger Baumwolle. Im Jahr 2013 sind nach eigenen Angaben circa 1,3 Millionen Hektar entsprechend der Anforderungen des BCI angebaut worden. Dies entspricht etwa 3,7 % der weltweiten Anbaufläche von Baumwolle in Höhe von etwa 35 Millionen Hektar.
- Im Bereich der Zuckerproduktion aus Zuckerrohr sind mit den Zertifikaten von *BONSUCRO* nach eigenen Angaben weltweit eine Fläche von 0,9 Millionen Hektar und eine Menge von 3,8 Millionen Tonnen Zucker abgedeckt. Dies entspricht etwa 2 % der weltweiten Zuckerproduktion in Höhe von etwa 180 Millionen Tonnen und 3,6 % der weltweiten Anbaufläche von Zuckerrohr in Höhe von 25 Millionen Hektar.
- Der *Roundtable on Sustainable Palm Oil* (RSPO) deckt nach eigenen Angaben weltweit eine Fläche von 2,63 Millionen Hektar und eine Produktion von 11,95 Millionen Tonnen Palmöl ab. Dies entspricht 22 % der weltweiten Palmölproduktion in Höhe von 54,4 Millionen Tonnen.

Als wichtigste übergreifende Zertifizierungssysteme für alle Arten von Biomasse haben sich daneben das *International Sustainability & Carbon Certification System* (ISCC) und der *Roundtable on Sustainable Biomaterials* (RSB) etabliert. Welche Flächen mit diesen Zertifizierungssystemen bis heute abgedeckt werden, konnte während der Recherche zu dieser Studie jedoch nicht abschließend geklärt werden. Grundsätzlich gilt jedoch, dass es durch die Vielzahl von Zertifizierungssystemen für spezifische und übergreifende Biomassen und durch Zertifizierung eines Biomassestroms durch mehrere Zertifikate sowohl zu einer Unter- als auch Überschätzung der nachhaltig bewirtschafteten Flächen kommen kann. Die Autoren der vorliegenden Studie schätzen aufgrund der oben verfügbaren Informationen, dass eine nachhaltige Bewirtschaftungsweise weltweit bei weniger als 10 % der gesamten verfügbaren Flächen für Acker- und Dauerkulturen sowie Wälder durch Zertifizierungssysteme nachgewiesen wird – im Bereich der Acker- und Dauerkulturen sind es sogar weniger als 1 %. Dieser Zusammenhang ist in der folgenden Tabelle veranschaulicht.

Tabelle 3: Abschätzung der weltweiten Flächen, die durch Zertifizierungssysteme an eine nachhaltige Bewirtschaftung gebunden sind (Quelle: eigene Darstellung)

| | Weltweite Fläche in Milliarden Hektar* | Zertifizierte Fläche in Milliarden Hektar** | Zertifizierte Fläche in Prozent** |
|---|---|--|--|
| Waldfläche | 4,03 | 0,433 | 10,7 |
| Acker- und - Dauerkulturen | 1,55 | 0,005 | 0,3 |
| Gesamte Wald- und Agrarfläche ohne Weideflächen | 5,58 | 0,438 | 7,8 |

* Angaben nach UN 2014

** Angaben der Zertifizierungssysteme und eigene Berechnungen

Die aktuelle Situation der Nachhaltigkeit bei der Bereitstellung von Biomasse für Nahrungs- und Futtermittel, bio-basierte Produkte, Bioenergie und Biokraftstoffe wird von den Autoren aufgrund der oben beschriebenen Sachverhalte als unzureichend bewertet. Zum einen sollten die Anforderungen an eine nachhaltige Land- und Forstwirtschaft zur Produktion jeglicher Art von Biomasse gestellt werden. Zum anderen sollte die Nachhaltigkeit der Biomasseproduktion unabhängig von ihrer späteren Verwendung gefordert werden. Dies hätte zur Konsequenz, dass langfristig keine nutzungsspezifischen oder sektoralen Lösungen erzielt würden, sondern die Land- und Forstwirtschaft als ganzes auf eine nachhaltige Produktionsweise umgestellt würde. Zertifizierungssysteme sind auf diesem Weg eine erfolgreiche Maßnahme, die Anforderungen an die nachhaltige Land- und Forstwirtschaft in der Realität zu prüfen. Globale Herausforderungen einer nachhaltigen Entwicklung, die zum Beispiel durch Landnutzungsänderungen entstehen, können damit jedoch nur bedingt gelöst werden. Hier sind andere Instrumente wirkungsvoller, wie zum Beispiel internationale oder auch bilaterale Abkommen zum Schutz von Primärwäldern und artenreichen Lebensräumen sowie dem Handel von Biomasse an sich.

3.1.3 Nachhaltig nutzbare Potenziale für Biokraftstoffe

Die vorliegende Studie soll die Frage beantworten, wie groß die nachhaltig nutzbaren Potenziale für Biokraftstoffe weltweit, in Europa und in Deutschland bis zum Jahr 2050 sind. Um dies zu beantworten, werden in Kapitel 6 drei unterschiedliche Biomasse-Angebotsszenarien entwickelt und drei unterschiedlichen Biomasse-Nachfrage-Szenarien gegenüber gestellt.

Zur Bewertung der Biomasse-Szenarien werden drei unterschiedliche Anforderungssysteme an eine nachhaltige Biomasseproduktion verwendet: FAO / SCPI (s.u.), Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme (s.o.) und das Konzept des „safe operating space“ (s.u.).

Die Nachhaltigkeit der Biokraftstoffe wird somit bewusst auf die eingesetzte Biomasse reduziert, wie es in den oben zitierten Konzepten zur Nachhaltigkeit in der Land- und Forstwirtschaft üblich ist. Die Bewertung der Herstellungsprozesse von Biokraftstoffen sowie deren ökologische Vorteile gegenüber konventionellen Kraftstoffen sind dagegen kein Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Die FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) liefert mit ihrer Strategie zur nachhaltigen Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion (*Sustainable Crop Production Intensification*, SCPI¹) eine Antwort auf die steigende Nachfrage nach Biomasse, an der sich die nachhaltigen Potenziale für Biokraftstoffe messen lassen können. Eine nachhaltige Biomassebereitstellung soll demnach den folgenden Anforderungen genügen:

- Landwirtschaftliche Produktionssysteme und Technologien zur Steigerung der Produktivität sollen ohne nachteilige Effekte auf natürliche Ressourcen eingesetzt werden.
- Die Input-Nutzen-Effizienz sowie die Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel sollen gesteigert werden.
- Rahmenbedingungen, in denen Landwirte wettbewerbsfähig auf Märkten agieren können, sollen geschaffen werden.
- Die Feld- und Nachernteverluste sowie die abiotischen und biotischen Belastungen sollen vermindert und möglichst umweltfreundlich gestaltet werden.
- Pflanzengenetische Ressourcen zur Entwicklung von verbesserten Pflanzenarten sollen erhalten und deren Einsatz in kleinbäuerlichen Saatgutssystemen möglich gemacht werden.

Diese Strategie soll als Ausgangspunkt zur Bewertung nachhaltiger Potenziale für Biokraftstoffe herangezogen und mit Anforderungen anderer Konzepte verglichen werden.

Grundsätzlich stellt sich so beispielsweise die Frage, ob und bis zu welcher Größenordnung Landnutzungsänderungen global gesehen als nachhaltig bezeichnet werden können. Bringezu et al. 2014 ziehen auf Basis der Modellergebnisse von Van Vuuren und Faber 2009 den Schluss, dass die weltweite Fläche für Acker- und Dauerkulturen netto auf maximal 1,64 Mrd. ha gesteigert werden dürfte, um den globalen Biodiversitätsverlust bis 2020 zu stoppen. Diese Größenordnung wird als „*safe operating space*“ bezeichnet, d. h. die äußeren Grenzen innerhalb derer eine nachhaltige Entwicklung als möglich angesehen wird (vgl. Rockström et al. 2009). Allerdings vernachlässigt die reine Fokussierung auf die Ausdehnung der Agrarflächen viele andere Faktoren die für die Beurteilung der Nachhaltigkeit von Biomassepotenzialen herangezogen werden können. Hierzu zählen unter anderem die Einhaltung der Klimaschutzziele, der Beitrag von erneuerbaren Energien zur Energieversorgung und die Entwicklung von neuen Technologien zur Gewinnung von Biomasse. Diese und ähnliche Aspekte werden in Kapitel 6.1 diskutiert, um die nachhaltig verfügbaren Potenziale von Biokraftstoffen im Jahr 2050 zu identifizieren (siehe Kapitel 5.2.1.6).

¹ <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/spi/scpi-home/framework/sustainable-intensification-in-fao/en/> Abgerufen am 29.01.2015

4 Globaler Rohstoffbedarf

Der Gesamtrohstoffbedarf der Menschheit lag im Jahr 1980 bei circa 38 Mrd. t, im Jahr 2005 bei circa 60 Mrd. t und im Jahr 2008 schon bei circa 68 Mrd. t (wenn die Biomasse als Trockenmasse gerechnet wird, sind es nur 61 Mrd. t) und gliedert sich – der Größe nach – in vier Rohstoffgruppen (siehe auch Abbildung 3) (UNEP 2008, Dittrich et al. 2012, eigene Berechnungen):

- Mineralien für Industrie und Bau: circa 30 Mrd. t (100 % stoffliche Nutzung)
- Agrar- und Forst-Biomasse: circa 19 Mrd. t Feuchtmasse bzw. circa 12 Mrd. t Trockenmasse (für 2011 (Kapitel 5.2)): Futtermittel 58 %, Lebensmittel 14 %, Bioenergie 16 %, stoffliche Nutzung 10 %, Biokraftstoffe 1 %)
- Fossile Kohlenstoffträger (Kohle, Erdöl und Gas – „Fossil Fuels“: circa 13 Mrd. t (circa 90 % energetische und circa 10 % stoffliche Nutzung, Kapitel 5.2.1.3ff)
- Metalle: circa 7 Mrd. t (100 % stoffliche Nutzung)

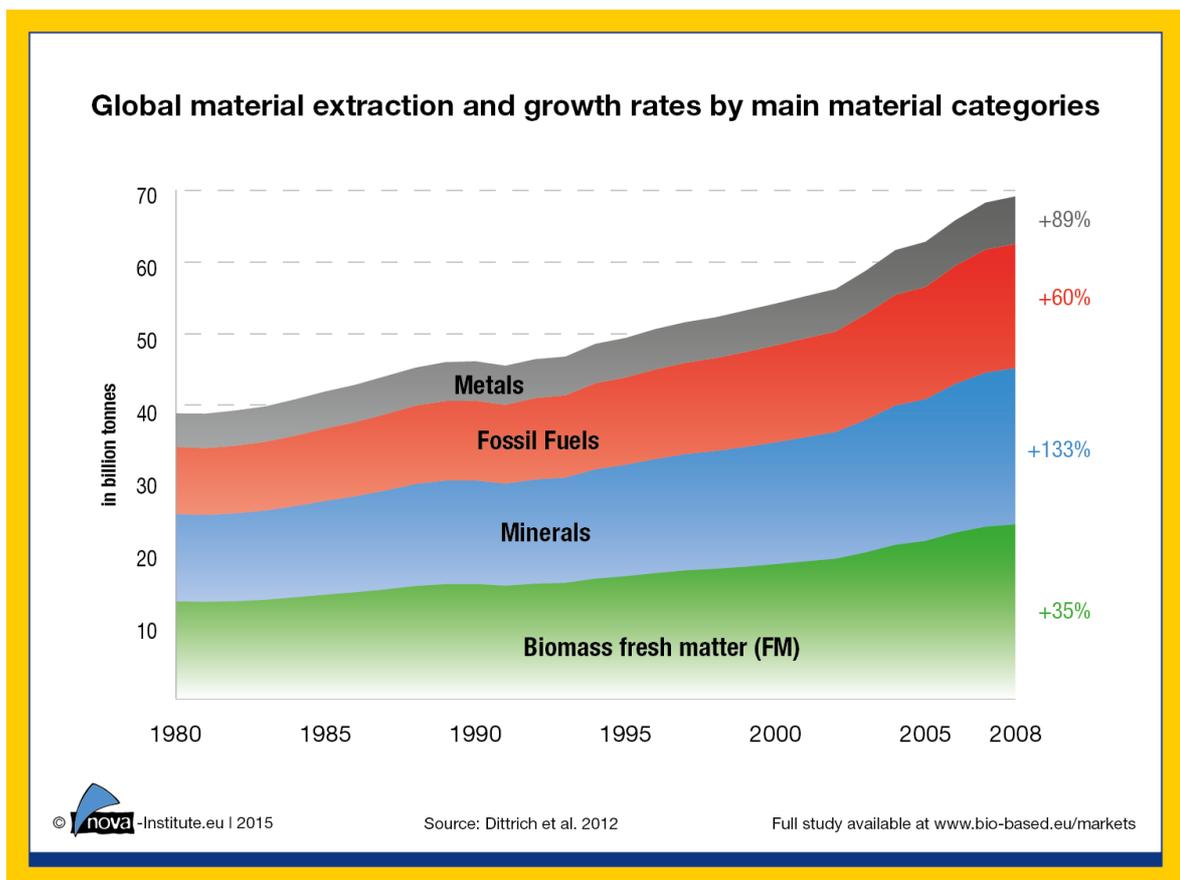


Abbildung 2: Globale Rohstoffentnahme und Wachstumsraten nach Rohstoffkategorien (in Mrd. t) (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Dittrich et al. 2012)

Wie die folgende Grafik zeigt, wird der überwiegende Teil aller Gesamtressourcen zu etwa 64 % stofflich verwendet. Nur etwa 23 % aller Ressourcenströme werden energetisch genutzt. Der Anteil der Biomasse für Lebens- und Futtermittel am Gesamtverbrauch aller Ressourcen beträgt 3 bzw. 10 %, zusammen also 13 % (bezogen auf Trockenmasse).

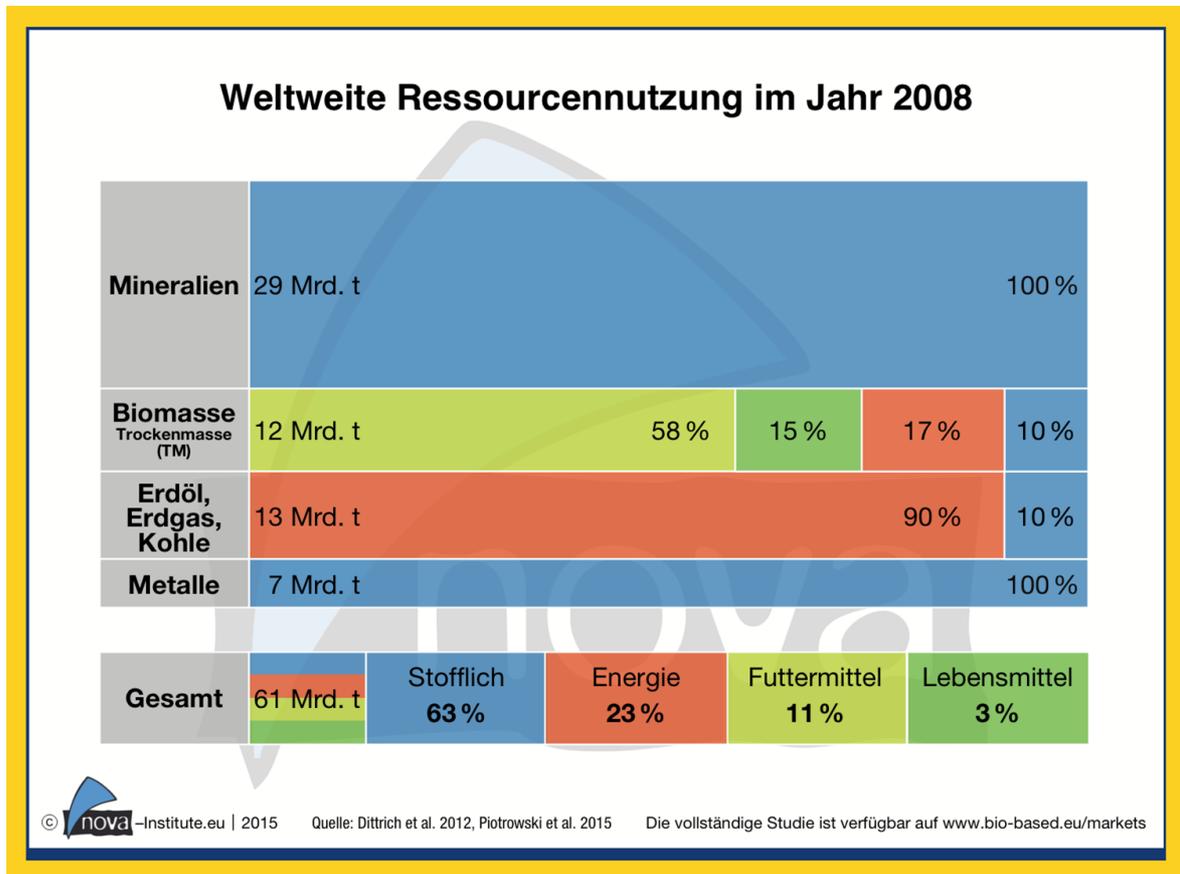


Abbildung 3: Weltweite Ressourcennutzung 2008 nach Rohstoffgruppen (Quelle: eigene Darstellung)

Substitutionspotenziale durch Biomasse

Um zukünftige Potenziale für Biomasse zu erfassen, ist es notwendig, Substitutionspotenziale abzuschätzen für Anwendungen, in denen Biomasse andere bisher genutzte Ressourcen in Zukunft ersetzen könnte. Nur begrenzte Substitutionspotenziale finden sich im Bereich der **Metalle** und **Mineralien**. Im Baubereich können Holz- und Bambusbau in gewissem Umfang gegenüber der Stahl-Beton-Bauweise und anderen mineralischen Bauweisen Marktanteile gewinnen, ebenso wie natürliche Dämmstoffe aus Natur- und Holzfasern oder Innenbauelemente aus nachwachsenden Rohstoffen gegenüber mineralischen Lösungen. In dem späteren starken „bio-based“-Szenario wurden entsprechende Wachstumsraten im Holzbau berücksichtigt (im Bio-based-Szenario wurde eine jährliche Wachstumsrate (Englisch: Compound Annual Growth Rate (CAGR)) von 3,5 % für Bau und Möbel angenommen und im Bio-based-Hoch-Szenario 4,0 %).

Metalle können in kleinen Volumina auch durch bio-basierte Verbundwerkstoffe substituiert werden.

Der mit Abstand wichtigste und spannendste Bereich ist die Substitution fossiler Kohlenstoffträger durch Biomasse in der organischen Chemie- und Kunststoffindustrie sowie im Energiebereich (Strom, Wärme und Kraftstoffe).

Die organische Chemie, die heute primär auf Erdöl basiert, liefert u.a. folgende Produktgruppen, ohne die eine moderne Welt nicht denkbar ist:

- Basis- bzw. Massenchemikalien
- Polymere und Kunststoffe
- Fein- und Spezialchemikalien: Pflanzenschutzmittel, Farben, Klebstoffe, Additive und Hilfsstoffe für andere Industriesektoren
- Konsumgüter wie Seifen, Waschmittel, Reinigungs- und Putzmittel, Körperpflegemittel und Parfüm
- Pharmazeutika

In der Chemischen Industrie lag der Anteil von Biomasse am Gesamtrohstoffeinsatz weltweit im Jahr 2010 bei circa 10 %. In unseren Szenarien steigt der Anteil bis 2050 auf 20, 40 und sogar 95 % in einem insgesamt stark wachsenden Markt. Eine detaillierte Analyse der heutigen und zukünftigen Märkte für die Chemie- und Kunststoffindustrie findet sich in den Kapiteln 5.2.1.3 und 6.2.1.3.

In den Folgekapiteln werden der Ausrichtung der Studie entsprechend die Schwerpunkte auf Biomasse sowie fossilen Kohlenstoffträgern liegen – hier wird das größte Substitutionspotenzial gesehen.

Dieses Kapitel soll einige Basisinformationen zu Mineralien, Metallen und speziell auch den Rohstoffen der anorganischen Chemie liefern, die dann in der Studie nicht weiter vertieft werden.

Die folgende Tabelle 4 zeigt die wichtigsten anorganischen Basis-Chemikalien auf, die in großen Mengen produziert werden, die sogar über den Produktionsmengen von Olefinen und Aromaten liegen. Sie sind Ausgangspunkt für eine Reihe von Endprodukten; wichtigstes großvolumiges Anwendungsgebiet sind Düngemittel für die Landwirtschaft.

Tabelle 4: Beispiele für großvolumig produzierte anorganische Chemikalien (Quelle: UNEP 2013)

| Table 6. Sample High-volume Inorganic Chemicals | | | | |
|---|---|--|--|--|
| Chemical [most recent year for which data are available] | Principal uses* | Global production* (million metric tons) | Largest producers* | Largest consumers* |
| Lime/limestone ⁹² [2008] | Metallurgy, building products, environmental applications, pulp & paper | 285 | China (over 60% of total production), Europe (12%), United States (7%) | China (61%), Europe (12%), United States (7%) |
| Sulfuric acid ⁹³ [production: 2010; consumption: 2008] | Production of phosphate fertilizer materials (53% of world consumption) | 198 | East Asia (primarily China) (40%); North America (15%) | Asia (primarily China) (28%), United States (18%), Africa (10%) |
| Ammonia ⁹⁴ [2010] | Production of nitrogen fertilizer (over 80% of consumption) | 134 | China (34%), CIS (former USSR) (13%), Southwest Asia (10%) | China (34%), Southwest Asia (11%), CIS (former USSR) (10%) |
| Sulfur [production: 2010; consumption: 2008] ⁹⁵ | Sulfuric acid production (see above) | 77 | East Asia (primarily China) (30%); North America (21%) | Asia (primarily China) (29%), United States (15%), Africa (10%) |
| Phosphoric acid, wet process [2009] ⁹⁶ | Production of phosphate fertilizers (80-85%) | 46 | China & other Asia (28%)**, United States (21%), Africa (17%) | China & other Asia (30%)**, United States (22%), Southwest Asia (9.7%) |

Halogene und organische Halogenverbindungen

Eine große Anzahl von Chemikalien wird durch den Einsatz von Halogenen – insbesondere Chlor, Brom und Fluor – in Verbindung mit organischen Chemikalien hergestellt. Die so erhaltenen Verbindungen sind

- chlorierte und bromierte Lösungsmittel, häufig in industriellen Reinigungsanwendungen verwendet;
- Vinylchlorid-Monomere werden zur Produktion von Polyvinylchlorid (PVC) genutzt;
- chlorierte und bromierte Pestizide;
- Fluorchlorkohlenwasserstoffe, die wegen ihrer ozonschädigenden Wirkung kaum noch Verwendung finden (Montreal Protocol);
- perfluorierte Verbindungen für wasser- und schmutzfeste Beschichtungen.

Tabelle 5: Chlor, Brom und Flor: Globale Produktion, Produzenten und Verbraucher (Quelle: UNEP 2013)

| Table 7. Chlorine, Bromine, and Fluorine: Uses, Global Production, Principal Producers and Consumers | | | | |
|--|--|---|--|--|
| Chemical [most recent year for which data are available] | Principal uses | Global production (millions of metric tons) | Principal producers | Principal consumers |
| Chlorine ¹⁰¹ [2010] | Manufacture of ethylene dichloride (35%); isocyanates and propylene oxide (15%) | 56 | China (34%); United States (19%); European Union (18%) | China (34%), United States (19%), European Union (18%) |
| Bromine ¹⁰² [2008] | Manufacture of brominated flame retardants (48%); clear brine fluids (11%); hydrogen bromide (4%); methyl bromide (3%) | 0.563 | United States (31%), Israel (29%), China (25%) | United States (30%), China (28%), Africa and the Middle East (26%) |
| Fluorine ¹⁰³ [2008] | Production of hydrofluoric acid; aluminum smelting; steel manufacturing | 5.6 (million metric tons of fluor spar) | China (49%), Mexico (21%) | China (38%), Europe, including Russia (17%) |

Tabelle 6: Beispiele für Halogenverbindungen (Quelle: UNEP 2013)

| Table 8. Halogenated Compounds: Examples | | |
|--|--|--|
| Category | Sample compounds | Type of product |
| Chlorinated compounds | Vinyl chloride monomer (VCM) | Monomer used in polymer manufacture |
| | Trichloroethylene (TCE); perchloroethylene (PCE) | Solvents |
| | DDT; Lindane; Endosulfan | Pesticides |
| Brominated compounds | Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) | Flame retardants |
| Fluorinated compounds | Fluoropolymers | Polymers used for stain resistance and other functions |

Abbildung 4 zeigt die Produktion der wichtigsten Mineralien und Metalle, angeführt von Sand und Kies, gefolgt von Eisen und Stahl. Die Folgegrafik zeigt die weltweit ansteigende Betonproduktion, für die lokal bereits der Sand knapp wird, zumal man nicht jede Sandsorte für die Betonproduktion nutzen kann. In Asien werden aktuell schon Sandinseln abgetragen, um aus diesem Sand Hochhäuser zu bauen.

Hier könnte der Bau mit Holz oder Bambus durchaus Anteile gegenüber dem Stahl-Beton-Bau zurückgewinnen.

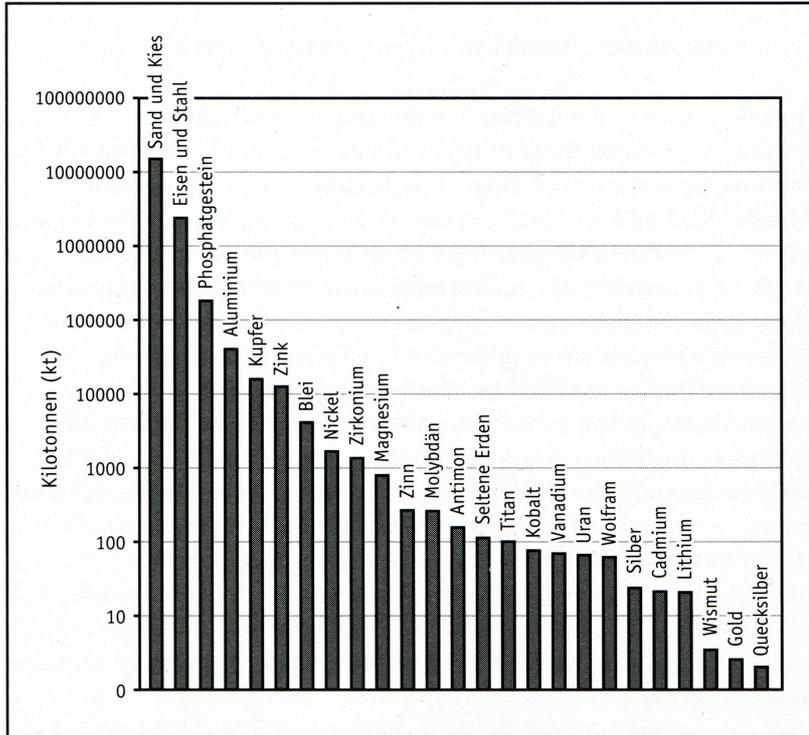


Abbildung 2-11: Produktion einiger Mineralrohstoffe weltweit im Jahr 2010.
*Zwischen der Produktion der Massenrohstoffe Sand und Kies und der von Gold liegen Welten.
 Bei der Gewinnung des Edelmetalls fallen allerdings gewaltige Mengen Abraum an.*

Abbildung 4: Produktion wichtiger Mineralstoffe (Quelle: Bardi 2013)

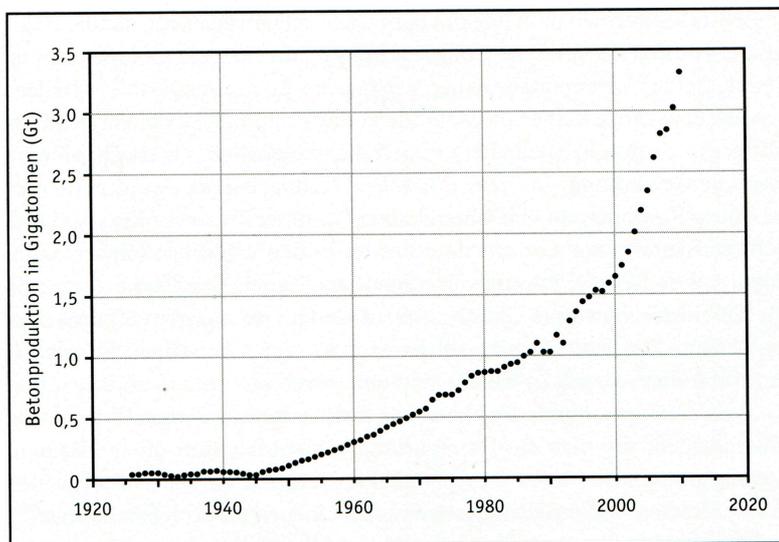


Abbildung 6-3: Anstieg ohne Ende? Die globale Betonproduktion nimmt scheinbar unaufhörlich zu.
*Ob Beton eher eine Geißel oder ein Segen für die Menschheit ist, hängt von der Sichtweise ab.
 Beton ist ein erstklassiger, industriell herstellbarer Baustoff, der uns viele Vorteile bringt.
 Doch tagtäglich werden enorme Flächen versiegelt, fruchtbare Böden gehen verloren,
 tristes Einheitsgrau ersetzt üppiges Grün – die zahlreichen Schattenseiten dieses Baustoffs
 der Moderne.*

Abbildung 5: Globale Betonproduktion (Quelle: Bardi 2013)

5 Basisdaten 2010/11

5.1 Biomasseangebot

Wie in Abschnitt 2 erläutert, ist das Biomasseangebot aus Fischerei im Vergleich zur Biomasse aus Land- und Forstwirtschaft vernachlässigbar. Wir betrachten daher im Folgenden nur die Biomassearten geerntete Agrarbiomasse, Erntenebenprodukte, Weidebiomasse und Holz.

Diese Biomassearten haben zum Zeitpunkt ihrer statistischen Erfassung sehr unterschiedliche Wassergehalte. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu schaffen, sollen deshalb die in den Statistiken (überwiegend FAOSTAT) aufgeführten Daten zum Biomasseangebot in Trockenmasse umgerechnet (0 % Wassergehalt) werden.

Darüber hinaus ist die reine Angabe des Aufkommens an Biomasse in Tonnen wenig hilfreich wenn es darum geht, dieses mit der Nachfrage nach Biomasse in Deckung zu bringen. Vielmehr muss hierfür eine Auftrennung der Hauptbestandteile der Biomasse erfolgen: Cellulose/Hemicellulose, Zucker/Stärke, Protein, Fett und anderes (hauptsächlich Asche und Lignin).

Im Fall der Weidebiomasse ist dies weniger relevant, da diese eh ausschließlich als Futtermittel verwendbar ist. Für die Trockenmasse der Weidebiomasse wurde vereinfachend angenommen, dass sich diese aus 65 % Cellulose/Hemicellulose, 20 % Protein, 10 % Mineralien/Vitaminen und 5 % Fett zusammensetzt (eigene Abschätzung aus verschiedenen Quellen in ECN 2012).

Das Aufkommen an Holz kann relativ leicht in die Hauptbestandteile Cellulose, Hemicellulose und Lignin aufgetrennt werden. Für eine erste Abschätzung haben wir eine Aufteilung der Holztrockenmasse in 80 % Cellulose/Hemicellulose und 20 % Lignin angenommen.

Eine Auftrennung der geernteten Agrarbiomasse in ihre Hauptbestandteile (überwiegend Kohlenhydrate, Proteine und Fette) ist dagegen um einiges schwieriger, da die Zusammensetzung je nach Kultur stark variiert. Die Hauptquelle für die Umrechnung der Agrarkulturen war die Tabelle „Nutritive factors“ der FAO (FAO 2013) welche die Zusammensetzung aller für die menschliche Ernährung nutzbarer Anbaukulturen aufführt (FAO 2014). Diese Liste deckt fast 99 % des gesamten Produktionsvolumens der geernteten Agrarbiomasse ab, da im Wesentlichen die Naturfasern fehlen, welche mengenmäßig kaum ins Gewicht fallen. Deren Zusammensetzung ist zudem leicht bestimmbar und variiert nicht stark zwischen unterschiedlichen Naturfasern.

Neben der inländischen Biomasseproduktion beziehen wir auch importierte Biomasse (für die EU-27 und Deutschland) in das Biomasseangebot ein, und zwar pflanzliche Agrarprodukte, Holz sowie den „virtuellen“ Futterbedarf für importierte tierische Produkte, d. h. wir rechnen die importierten tierischen Produkte in den für ihre Erzeugung notwendigen Futterbedarf um.

5.1.1 Welt

FAOSTAT stellt die Hauptdatenquelle für das weltweite Biomasseangebot dar. Multipliziert man die jeweiligen Produktionsmengen (in absoluter Trockenmasse) im Jahr 2011 mit den Massenanteilen an Nährstoffen, so ergeben sich als geerntete bzw. zur Nutzung entnommene Biomasse von Agrar-, Forst und Weideflächen etwa 5,62 Mrd. t Cellulose/Hemicellulose, 2,63 Mrd. t Zucker/Stärke, 0,51 Mrd. t Öle/Fette, 1,23 Mrd. t Protein und 1,41 Mrd. t Anderes (v.a. Lignin, Kautschuk etc.) (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6 soll einleitend einen Überblick geben, eine detaillierte Beschreibung der Herleitung dieser Daten folgt in den nächsten Kapiteln.

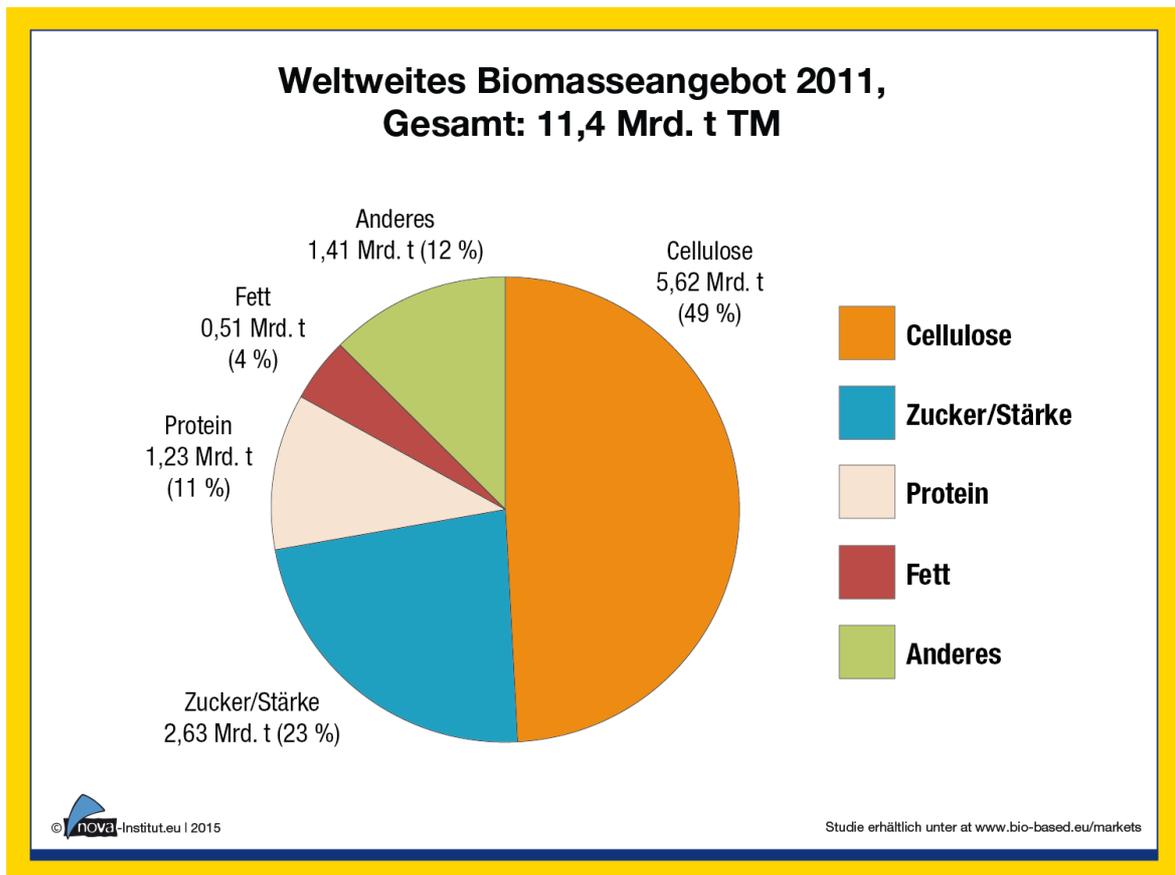


Abbildung 6: Weltweites Biomasseangebot 2011 (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen)

5.1.1.1 Flächen

Die globale Landfläche ist die physische Basis und eine begrenzte Ressource für das globale Biomassepotenzial. Laut den Daten der Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) umfasst die Erdoberfläche insgesamt circa 51 Mrd. ha, wobei die Landfläche mit 13 Mrd. ha nur circa 25 % dieser Fläche einnimmt (FAOSTAT 2013). Die übrigen 75 % der Erdoberfläche sind von Wasser und Eis bedeckt und können nicht land- oder forstwirtschaftlich genutzt werden.

Die Landflächen der Erde unterstehen einem ständigen Wandel, die unter anderem durch den Menschen beeinflusst wird. Ellis und Ramankutty (2008) schätzen, dass circa 75 % der eisfreien Landfläche bereits durch menschliche Nutzung verändert worden ist. In der folgenden Abbildung 7 ist eine historische Entwicklung der Landfläche dargestellt. Demnach erfolgten die größten Änderungen in der Landbedeckung in den vergangenen 300 Jahren durch die Umwandlung von Wäldern und anderen Flächen zu Ackerflächen und Weiden (WBGU 2008, S. 53).

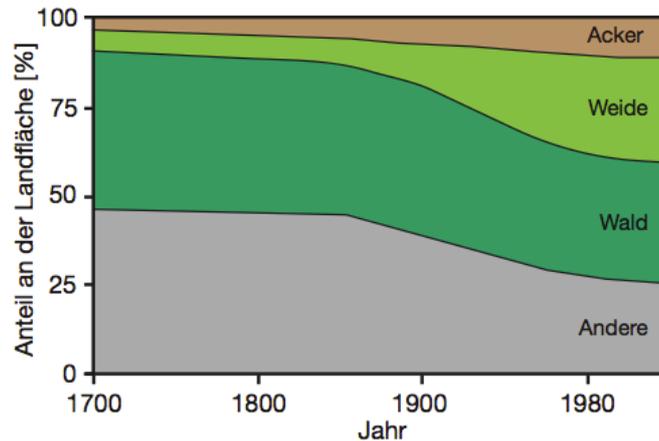


Abbildung 7: Geschätzte Veränderung der Landnutzung zwischen 1700 und 1995 (Quelle: WBGU 2008)

Auch die folgende Abbildung 8 zeigt, in einem längeren geschichtlichen Verlauf, die Entwicklung der globalen Landflächen. Deutlich ist die Abnahme natürlicher Vegetationsformen (Wald, Grasland, Tundra, Steppen) zugunsten von Acker- und Weideland zu erkennen.

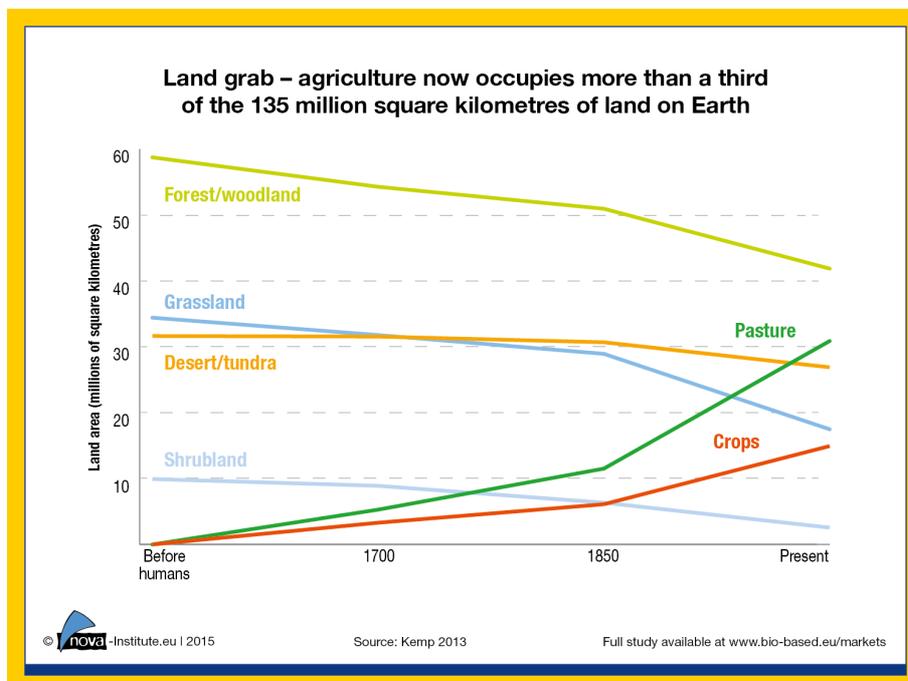


Abbildung 8: Bestimmungsgründe für landwirtschaftliche Produktionssteigerungen in Entwicklungsländern und weltweit (Quelle: Kemp 2013, eigene Darstellung)

Die globale Landfläche wird von der FAO in drei wesentliche Landnutzungsklassen eingeteilt: Agrarfläche, Waldfläche und sonstiges Land. Die folgende Tabelle 7 zeigt die globale Landflächenverteilung entsprechend der Systematik von FAOSTAT wie sie sich im Jahr 2011 darstellte. Diese Werte stellen unsere Basisdaten für die globale Flächenverteilung dar.

Während von der FAO die Agrar- und Waldfläche gemäß Tabelle 7 weiter aufgegliedert wird, ist dies nicht der Fall für die sonstige Fläche. Für die dargestellte Aufteilung dieser Fläche musste daher eine andere Quelle herangezogen werden.

Tabelle 7: Basisdaten: Globale Landfläche 2010/11 (Quelle: FAOSTAT 2013, FAO 2010, Fischer et al. 2002)

| Kategorie | Fläche (Mrd. ha) | % |
|--|------------------|---------------|
| Summe der globalen Landfläche, davon: | 13,02 | 100,00 |
| Agrarfläche | 4,91 | 37,71 |
| davon Ackerfläche | 1,40 | 10,75 |
| davon Dauerkulturen | 0,15 | 1,15 |
| davon Dauergrünland und Wiesen | 3,36 | 25,81 |
| Waldfläche | 4,03 | 30,95 |
| davon naturnaher Wirtschaftswald | 2,29 | 17,59 |
| davon Primärwald | 1,45 | 11,14 |
| davon Plantagen | 0,29 | 2,23 |
| Sonstige Fläche | 4,08 | 31,34 |
| davon Wüsten und Ödland | 2,75 | 21,12 |
| davon Eis- und Kaltwüsten | 0,78 | 5,99 |
| davon Küstenstreifen | 0,43 | 3,30 |
| Feuchtgebiete | 0,09 | 0,69 |
| Bebautes Land | 0,03 | 0,23 |

Die Datenbasis der FAO beruht auf einer Zusammentragung nationaler Statistiken, die von den jeweiligen Staaten mittels Fragebögen gesammelt werden. Diese Datengrundlage ist zwangsläufig zum Teil mit erheblicher Unsicherheit behaftet. Als Alternative zur Charakterisierung der Flächennutzung bieten sich Fernerkundungsdaten an (vgl. Fischer et al. 2002). Diese sind jedoch kaum mit der statistischen Datenbasis zu den angebaute Kulturen und Erträgen sowie der Flächenklassifizierung der FAO in Deckung zu bringen. Da eine weltweit konsistente Datenbasis zu angebaute Kulturen und Erträgen jedoch nur von der FAO vorliegt, gibt es keine Alternative, als auf die Flächendaten der FAO zurückzugreifen. Nur damit ist eine konsistente Datenbasis gegeben. Aus diesem Grund werden die Flächendaten der FAO als Grundlage für die weitere Analyse herangezogen.

Im Folgenden wird zunächst kurz auf die drei großen Flächenkategorien Agrarfläche, Waldfläche und sonstige Fläche eingegangen.

Agrarfläche

Die Agrarfläche beträgt 4,91 Mrd. ha und besitzt damit einen Anteil von circa 38 % an der weltweiten Landfläche (vgl. Tabelle 7). Die Agrarfläche besteht aus den Kategorien Ackerland (1,40 Mrd. ha), Dauerkulturen (0,15 Mrd. ha) sowie Dauergrünland und Wiesen (3,36 Mrd. ha).

Die einzelnen Landnutzungskategorien sind in FAOSTAT wie folgt definiert (Definitionen liegen nur auf Englisch vor; FAOSTAT 2013):

Agrarfläche (*Agricultural area*): „*This category is the sum of areas under a) arable land [...] (b) permanent crops [...] and (c) permanent meadows and pastures.*“

Ackerland (*Arable land*): „*...the land under temporary agricultural crops (multiple-cropped areas are counted only once), temporary meadows for mowing or pasture, land under market and kitchen gardens and land temporarily fallow (less than five years). The abandoned land resulting from shifting cultivation is not included in this category. Data for “Arable land” are not meant to indicate the amount of land that is potentially cultivable.*“

Dauerkulturen (*Permanent crops*): „*...is the land cultivated with long-term crops which do not have to be replanted for several years (such as cocoa and coffee); land under trees and shrubs producing flowers, such as roses and jasmine; and nurseries (except those for forest trees, which should be classified under “forest”). Permanent meadows and pastures are excluded from land under permanent crops.*“

Dauergrünland und Wiesen (*Permanent meadows and pastures*): „*land under permanent meadows and pastures that is managed and cultivated. A period of more than five years is used to differentiate between temporary and permanent meadows.*“

Zu den Dauerkulturen zählen demnach z. B. auch Palmölplantagen, nicht jedoch der Plantagenwald (siehe hierzu auch den folgenden Abschnitt zu Waldflächen).

Die weltweiten Agrarflächen sind im Zeitraum von 1961 bis 1990 um circa 500 Mio. ha ausgeweitet worden. Dies geschah vor allem auf Kosten von Waldflächen aber auch anderen schützenswerten Biotopen wie Moorflächen. Seit den 1990er Jahren stagniert die Ausweitung der weltweiten Agrarfläche und ist teilweise sogar rückläufig. Dieser Rückgang ist hauptsächlich auf einen Rückgang der Grünland- und Weidenfläche um etwa 70 Mio. ha zwischen 2000 und 2011 zurückzuführen. Hierbei fiel wiederum ein Rückgang dieser Flächen in Australien von etwa 46 Mio. ha am stärksten ins Gewicht. In Australien hat im gleichen Zeitraum in ungefähr derselben Größenordnung die sonstige Fläche zugenommen. Eine Aufschlüsselung dieser sonstigen Fläche, z. B. in Wüsten oder bebauten Land, ist auf Grundlage der FAO-Daten jedoch nicht möglich.

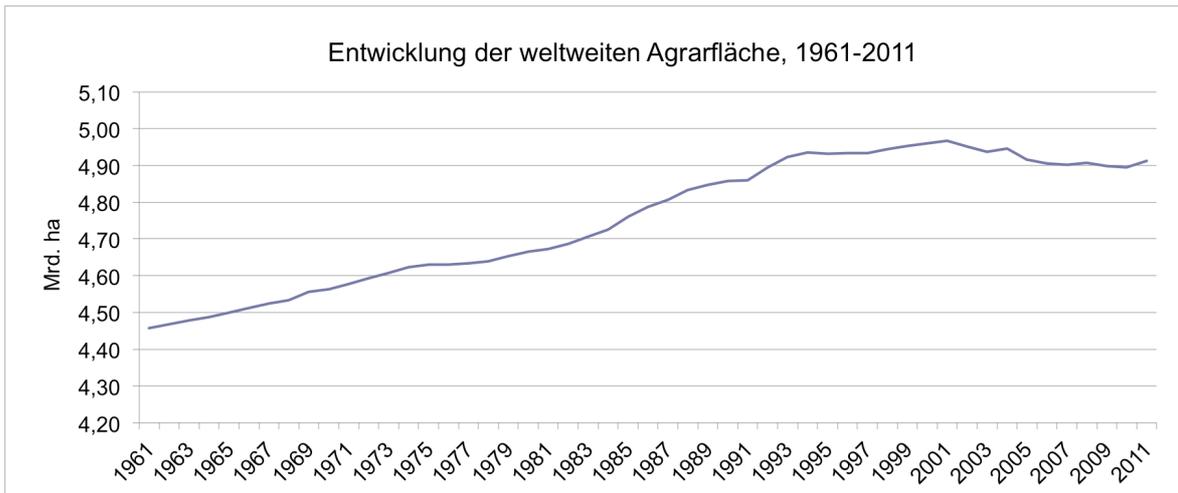


Abbildung 9: Entwicklung der weltweiten Agrarfläche, 1961-2011 (Quelle: FAOSTAT 2013)

Die folgende Darstellung zeigt die prozentuale Entwicklung von Ackerland, Dauerkulturen sowie Dauergrünland und Wiesen im Zeitraum von 2000 bis 2011. Es wird deutlich, dass die Landfläche der Dauerkulturen mit rund 15 % den größten Zuwachs zu verzeichnen hatte. Insgesamt können circa 50 % der Flächenzunahme an Dauerkulturen durch die Zunahme der Flächen für Ölpalmen, Kakao, Tee, Kaffee, Kautschuk und Bananen erklärt werden.

Allerdings beträgt der Anteil der Dauerkulturen mit circa 0,2 Mrd. ha nur etwa 4 % der globalen Agrarfläche. Dagegen reduzierte sich die Fläche von Dauergrünland und Wiesen um circa 3 %. Die Fläche des Ackerlandes zeigt im gleichen Zeitraum keine wesentliche Veränderung.

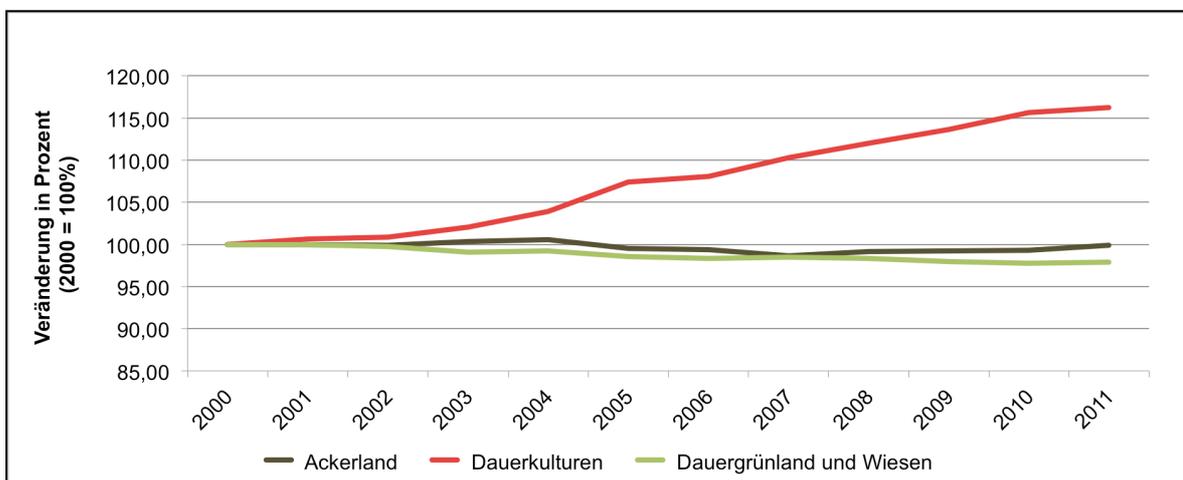


Abbildung 10: Prozentuale Entwicklung der Agrarflächen nach Kategorien im Zeitraum von 2000 bis 2011 (Quelle: FAOSTAT 2013)

Basisdaten für 2011:

Die weltweite Agrarfläche im Jahr 2011 beträgt 4,91 Mrd. ha. Die Agrarfläche besteht aus den Kategorien **Ackerland (1,40 Mrd. ha)**, **Dauerkulturen (0,15 Mrd. ha)** sowie **Dauergrünland und Wiesen (3,36 Mrd. ha)**.

Waldfläche

Die Daten zu Waldflächen stammen im Wesentlichen aus dem Global Forest Resources Assessment 2010 (FAO 2010). Nach Angaben von FAOSTAT wurden für diese Quelle Daten für die Jahre 1990, 2000, 2005 und 2010 von den Ländern geliefert. Daten für die übrigen Jahre wurden von FAOSTAT interpoliert. Während sich in FAOSTAT Angaben zu den globalen Waldflächen und zum Holzangebot daher auch für 2011 finden, liegen detailliertere Angaben zur Zusammensetzung der Waldflächen zurzeit nur für 2010 vor (FAO 2010). Die FAO-Definition von Wald orientiert sich dabei an der mit Bäumen bestandenen Fläche, der Höhe der Bäume, des Grades des Kronenschlusses sowie der Art der vornehmlichen Landnutzung (FAOSTAT 2013):

„Forest area is the land spanning more than 0.5 hectares with trees higher than 5 metres and a canopy cover of more than 10 percent, or trees able to reach these thresholds in situ. It does not include land that is predominantly under agricultural or urban land use. Forest is determined both by the presence of trees and the absence of other predominant land uses.“

Diese Definition schließt vornehmlich forstlich und zu Schutzzwecken genutzte Flächen wie Kautschuk- und Korkeichenplantagen ein, schließt aber Baumbestände in Agroforstsystemen, Obstbaumplantagen sowie Baumbestände in städtischen Parks und Gärten aus. Ebenso sind auch Palmölplantagen von dieser Definition von Wald ausgeschlossen (wie oben bereits erläutert zählen diese zu den Dauerkulturen).

Der Anteil der Waldflächen beträgt mit 4,03 Mrd. ha circa 31 % der globalen Landfläche. Die größten Waldflächen befinden sich mit jeweils circa 1 Mrd. ha in Europa und in der Region Karibik, Mittel- und Südamerika (FAOSTAT 2013). In Ozeanien befinden dagegen nur circa 250 Mio. ha Waldfläche. Die globale Waldfläche ist seit den 1990er Jahren rückläufig und ist im Zeitraum 1990 bis 2011 um etwa 140 Mio. ha gesunken (Abbildung 11). Der größte Verlust an Waldfläche ist in der Region Karibik, Mittel- und Südamerika zu verzeichnen. Allein in Brasilien wurden im Zeitraum von 1990 bis 2000 nach Schätzungen circa 26 Mio. ha Primärwald abgeholzt (FAO 2010).

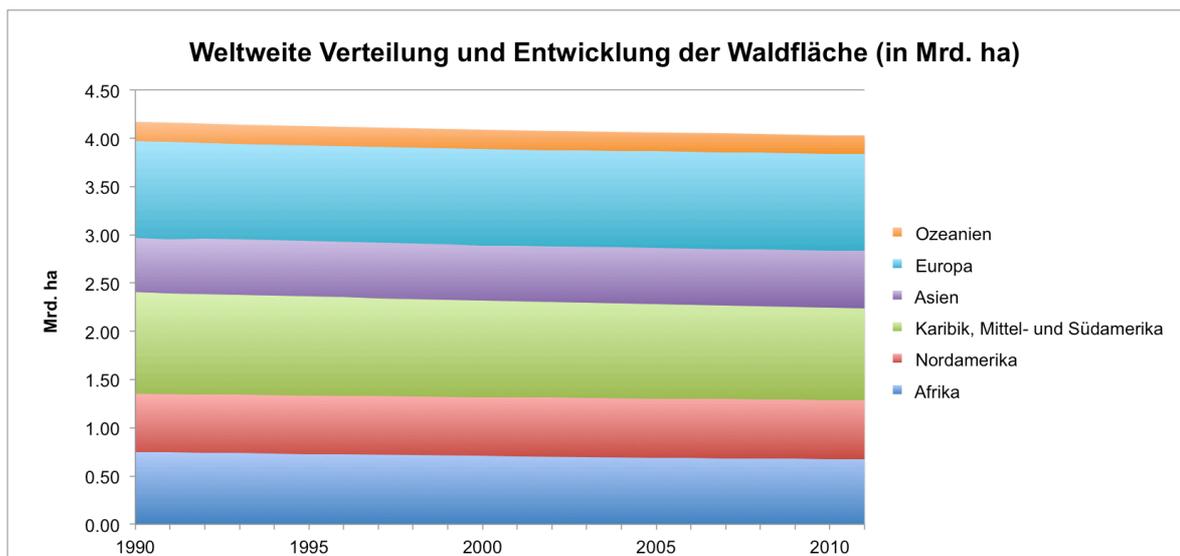


Abbildung 11: Weltweite Verteilung und Entwicklung der Waldfläche (Quelle: FAOSTAT 2013)

Die Größenordnung des weltweiten Waldverlustes nach FAOSTAT deckt sich nur teilweise mit den Ergebnissen der Studie von Hansen et al. 2013. Diese Studie hat Satellitendaten ausgewertet und im Ergebnis einen Verlust an Waldfläche von 230 Mio. ha im Zeitraum 2000 bis 2012 einem Zuwachs von 80 Mio. ha gegenübergestellt. In der Bilanz ist nach Hansen et al. 2013 demnach die weltweite Waldfläche alleine in diesem Zeitraum (2000 bis 2012) um etwa 150 Mio. ha gesunken während nach FAOSTAT der Verlust im gleichen Zeitraum nur knapp 58 Mio. ha beträgt. Demnach wäre der Waldverlust im Zeitraum 2000 bis 2012 nach Hansen et al. 2013 fast dreimal so hoch gewesen wie nach FAOSTAT.

Mit 1,45 Mrd. ha bestehen nur etwa 36 % der globalen Waldfläche aus Primärwald (*primary forest*). Der Großteil der Waldflächen ist mit 2,29 Mrd. ha naturnaher Wirtschaftswald (*other, naturally regenerated forest*). Nur etwa 0,29 Mrd. ha entfallen auf die Kategorie Plantagenwald (*planted forest*).

Diese Waldkategorien sind wie folgt definiert (FAO 2010a):

Primärwald (Primary forest): „Naturally regenerated forest of native species, where there are no clearly visible indications of human activities and the ecological processes are not significantly disturbed.“

Naturnaher Wirtschaftswald (other, naturally regenerated forest): „Naturally regenerated forest where there are clearly visible indications of human activities.“

Plantagenwald (Planted forest): „Forest predominantly composed of trees established through planting and/or deliberate seeding.“

Die in dieser Studie verwendete Übersetzung „Plantagenwald“ impliziert daher nicht, dass diese Waldflächen zwangsläufig im Sinne einer Plantage im engeren Sinne bewirtschaftet werden. Vielmehr sind hiermit z. B. auch intensiv bewirtschaftete Fichtenforste in Europa gemeint.

Der Anteil des Plantagenwaldes ist mit 7 % an der globalen Waldfläche bislang gering. Eine Zunahme des vom Menschen kultivierten Waldes ist jedoch besonders in Asien und Nordamerika festzustellen. Hier ist die Forstfläche im Zeitraum von 1990 bis 2010 um 40 % bzw. 20 Mio. ha gestiegen (FAO 2010).

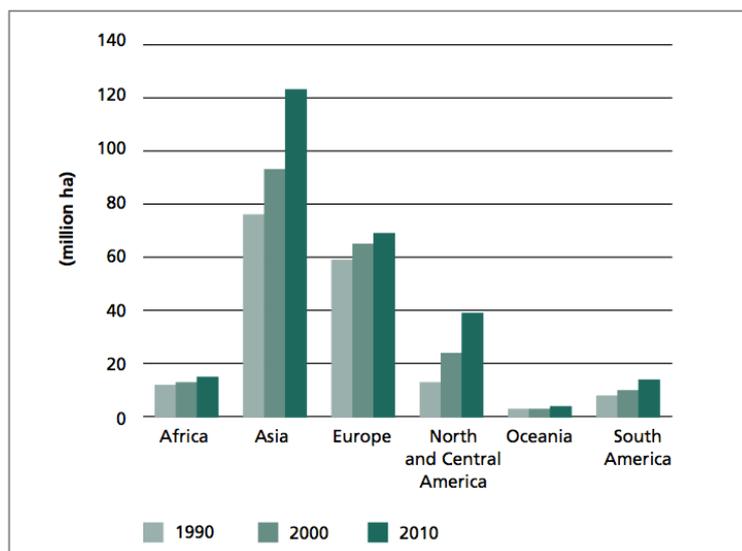


Abbildung 12: Weltweite Verteilung des Plantagenwaldes, 1990-2010 (Quelle: FAO 2010)

Insgesamt gelten 30 % (circa 1,02 Mrd. ha) der globalen Waldfläche als produktiv genutzte Fläche (*area designated for productive functions*; FAO 2010, S. 85). Dies schließt jedoch auch Flächen ein, die nicht der Holzentnahme dienen sondern der Entnahme von anderen forstwirtschaftlichen Erzeugnissen (*non-wood forest products*, z. B. Kräuter, Beeren etc.). Diese Fläche kann daher nicht mit der Fläche gleichgesetzt werden, aus der das gesamte Holzangebot stammt.

Basisdaten für 2011:

Die weltweite Waldfläche im Jahr 2011 beträgt 4,03 Mrd. ha. Die Waldfläche besteht aus den Kategorien naturnaher Wirtschaftswald (2,29 Mrd. ha), Primärwald (1,45 Mrd. ha) sowie Plantagenwald (0,29 Mrd. ha).

Sonstiges Land

Die übrigen 4,08 Mrd. ha der globalen Landfläche sind nach FAOSTAT als sonstiges Land (*other land*) kategorisiert. Nach FAOSTAT bezeichnet diese Fläche „*land not classified as agricultural land and forest area. It includes built-up and related land, barren land, other wooded land, etc.*“. Unter dieser Kategorie fasst FAOSTAT demnach eine sehr heterogene Gruppe von Landnutzungsarten zusammen die nicht als land- oder forstwirtschaftliche Fläche charakterisiert werden kann.

Wie bereits erwähnt, findet sich in FAOSTAT selbst keine genaue Aufteilung dieser Flächen, sodass hierfür eine andere Quelle herangezogen werden muss. Fischer et al. 2002 haben die Datenbank „*Global Land Cover Characterisation*“ (GLCC; U.S. Geological Survey 2008), ausgewertet, wobei hierbei die Erhebung der Daten zwischen April 1992 und März 1993 stattgefunden hat. In diesem Datensatz ist die Erdoberfläche in etwa 100 Bodenbedeckungsklassen (*land-cover classes*) eingeteilt die Fischer et al. 2002 auf 11 Klassen aggregiert haben. Die Summe der Bodenbedeckungsklassen Urban, Feuchtgebiete, Wüsten und Ödland, Küstenstreifen und Eis- und Kaltwüsten addiert sich ungefähr auf 4 Mrd. ha auf, sodass angenommen werden kann, dass dies das sonstige Land nach FAOSTAT darstellt. Ein eindeutiger Vergleich zwischen statistischen und Fernerkundungsdaten zur Bodenbedeckung ist jedoch nur eingeschränkt möglich.

Auf das sonstige Land entfallen nach dieser Abschätzung etwa 2,75 Mrd. ha Wüsten und Ödland, 0,43 Mrd. ha Küstenstreifen, 0,78 Mrd. ha Eis- und Kaltwüsten sowie circa 0,03 Mrd. ha urbanes Gebiet bzw. bebaute Fläche und 0,09 Mrd. ha Feuchtgebiete. Das sonstige Land wird in der folgenden Ableitung des Biomasseangebots nicht berücksichtigt.

Basisdaten für 2011:

Die übrigen 4,08 Mrd. ha der globalen Landoberfläche setzen sich zusammen aus 2,75 Mrd. ha Wüsten und Ödland, 0,43 Mrd. ha Küstenstreifen, 0,78 Mrd. ha Eis- und Kaltwüsten, 0,03 Mrd. ha urbanes Gebiet bzw. bebaute Fläche und 0,09 Mrd. ha Feuchtgebiete.

5.1.1.2 Geerntete Agrarbiomasse

Die folgende Tabelle 8 zeigt die weltweite Agrarproduktion im Jahr 2011 gemäß der Produktionsstatistik der FAO. Bezüglich der Futterpflanzen haben wir sowohl die beerntete Fläche als auch die Produktion erheblich nach unten korrigiert, da FAOSTAT hier bekanntermaßen fehlerhafte Daten enthält (Sakoff 2013) oder Kategorien mitzählt, die eigentlich zu den Zwischenfrüchten zählen (Klee, Lupinen etc.) und nicht zur geernteten Agrarbiomasse oder eher einer Grünlandnutzung zuzuordnen sind statt einer Ackernutzung (z. B. Grasaufwuchs). Das Ausmaß der Abweichung von FAOSTAT im Vergleich zu nationalen Statistiken im Bereich der Futterpflanzen haben wir am Beispiel der deutschen Anbaustatistik nach BMEL dargestellt. Im Falle Deutschlands haben wir die FAO-Statistik dann soweit nach unten korrigiert bis eine Übereinstimmung der Gesamt-Anbaufläche nach BMEL erreicht war. Die FAO-Statistiken für die Welt und die EU-27 haben wir dann prozentual gleich stark abgesenkt.

Aufgrund der Unsicherheit bezüglich der Statistiken zu Futterpflanzen werden diese tatsächlich nach Auskunft von Sakoff 2013 bei der Bildung von Aggregaten gar nicht berücksichtigt, z. B. enthalten die Daten zur weltweiten Maisproduktion nicht den Silomais. Trotz der Unsicherheit in den Daten würde eine völlige Vernachlässigung dieser Kulturen jedoch einen mindestens ebenso großen Fehler darstellen. Daher berücksichtigen wir zumindest die als Hauptfrucht zu charakterisierenden Futterpflanzen.

Erntemengen sind in der FAO-Statistik mit dem jeweiligen Wassergehalt zum Erntezeitpunkt angegeben. Dieser Wassergehalt variiert naturgemäß stark, z. B. zwischen Getreide (etwa 12 %) und Gemüse (etwa 90 %) Um eine bessere Vergleichbarkeit zu schaffen, soll im Folgenden deshalb die Biomasse ausschließlich in Trockenmasse (TM), d. h. mit 0 % Wassergehalt angegeben werden. Daher sind die Hektarerträge und die Gesamtproduktion in Tabelle 8 bereits in Trockenmasse umgerechnet. Diese Umrechnung erfolgte anhand der in Wirsenius 2000 (S. 272ff.) angegebenen Faktoren. Damit ergibt sich eine Produktion von knapp 4,2 Mrd. t TM die auf einer Fläche von knapp 1,5 Mrd. ha erzielt wurde.

Tabelle 8: Weltweite geerntete Agrarbiomasse 2011 (Quelle: FAOSTAT 2014, Wirsenius 2000)

| | Beerntete Fläche (Mio. ha) | Weltweite Durchschnittserträge (t TM/ha) | Gesamtproduktion (Mio. t TM) |
|--|----------------------------|--|------------------------------|
| Getreide (Weizen, Körnermais,...) | 707,33 | 3,22 | 2.278,44 |
| Futterpflanzen (Futterrüben, Silomais...) | 17,31 | 10,07 | 174,30 |
| Zuckerpflanzen (Zuckerrohr, -rüben,...) | 30,58 | 20,05 | 613,05 |
| Ölpflanzen (Soja, Raps,...) | 243,94 | 2,29 | 558,66 |
| Knollenfrüchte (Kartoffeln, Cassava,...) | 54,93 | 4,04 | 221,89 |
| Früchte (Bananen, Orangen,...) | 61,39 | 1,96 | 120,29 |
| Faserpflanzen (Baumwolle, Jute,...) | 38,28 | 1,90 | 72,78 |
| Hülsenfrüchte (Erbsen, Bohnen,...) | 79,40 | 0,77 | 61,40 |
| Gemüse (Tomaten, Gurken,...) | 51,98 | 1,14 | 59,26 |
| Gewürze und Genussmittel (Tee, Kaffee,...) | 35,83 | 0,40 | 14,29 |
| Nüsse (Walnüsse, Cashewnüsse) | 10,21 | 1,26 | 12,84 |
| Kautschuk | 9,71 | 0,70 | 6,77 |
| Gesamt | 1.340,9 | | 4.194,0 |

Umgerechnet in Nährstoffe ergeben sich etwa 0,64 Mrd. t Cellulose/Hemicellulose, 2,49 Mrd. t Zucker/Stärke, 0,26 Mrd. t Fett, 0,44 Mrd. t Protein und 0,36 Mrd. t Anderes (Abbildung 13). Die Differenz zum gesamten Biomasseaufkommen von 11,4 Mrd. t TM ist den weiteren Biomassequellen Erntenebenprodukte, Weidebiomasse und Holz zuzuordnen.

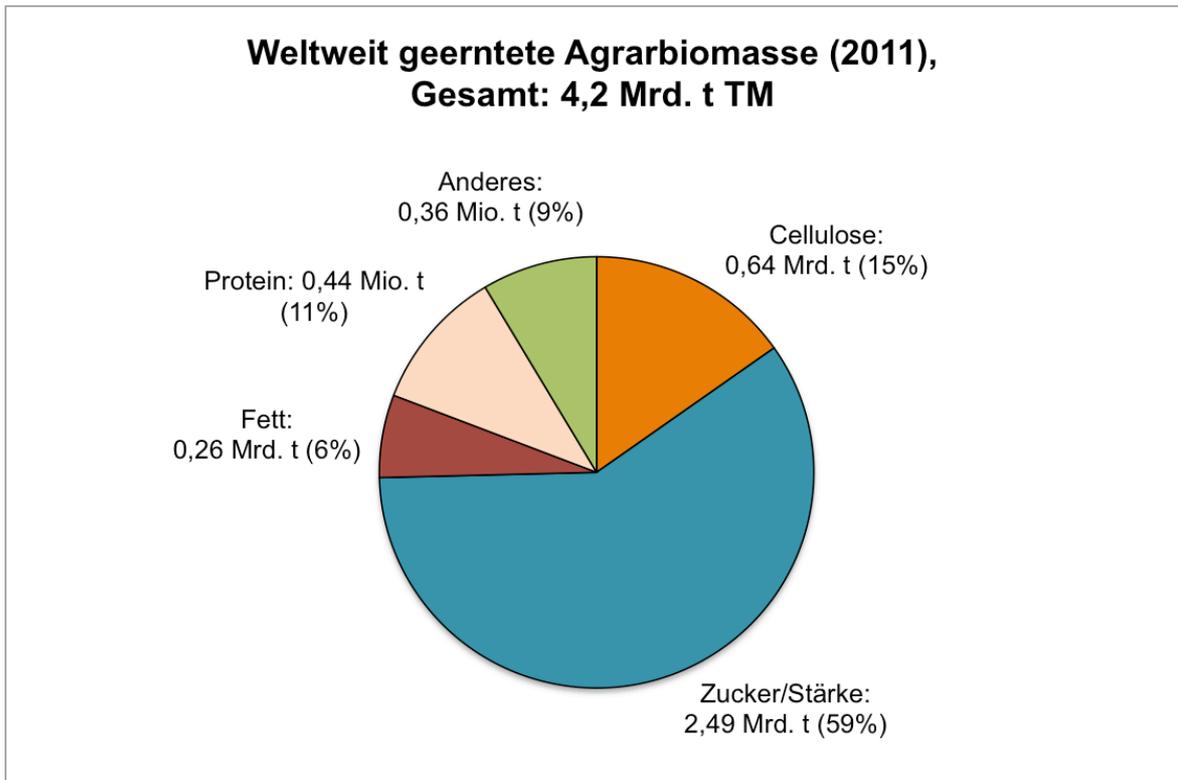


Abbildung 13: Weltweite geerntete Agrarbiomasse 2011 (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen)

Die beerntete Fläche von knapp 1,34 Mrd. ha ist geringer als die zur Verfügung stehende Fläche von knapp 1,55 Mrd. ha (dies ist die Summe aus der Ackerfläche und der Fläche für Dauerkulturen; siehe obige Modellannahme zu den weltweiten Flächen im Jahr 2011). Hieraus kann, unter Vernachlässigung statistischer Unsicherheiten, geschlossen werden, dass nicht auf jedem zur Verfügung stehenden Hektar eine Ernte pro Jahr erzielt worden ist.

Die Bewirtschaftungsintensität in diesem Sinne wird durch eine Kennzahl ausgedrückt, die im Englischen als *Multi-Cropping-Index* (MCI) bezeichnet wird und rechnerisch durch das Verhältnis der Summe der geernteten Fläche zur zur Verfügung stehenden Fläche ermittelt werden kann. Ein MCI größer 1 bedeutet demnach, dass auf der zur Verfügung stehenden Fläche mehr als eine Ernte pro Jahr erzielt worden ist. Die Bedeutung des MCI hat in jüngster Zeit in der Literatur erhöhte Aufmerksamkeit erfahren (Langeveld et al. 2013). Im weltweiten Durchschnitt lag der MCI im Jahr 2011 demnach bei etwa 0,86 (1.340,9 Mio. ha beerntete Fläche / 1.548,0 Mio. ha).

Basisdaten für 2011:

Die im Jahr 2011 weltweit geerntete Agrarbiomasse beträgt 4,2 Mrd. t Trockenmasse (0 % Wassergehalt). Diese Masse wurde auf einer Fläche von knapp 1,5 Mrd. ha erzielt. Diese beerntete Fläche ist geringer als die zur Verfügung stehende Fläche (1,55 Mrd. ha). Hieraus wird gefolgert, dass auf nicht jedem zur Verfügung stehendem Hektar tatsächlich eine Ernte pro Jahr erzielt wurde. Der *Multi-Cropping-Index* (MCI) lag daher im Jahr 2011 bei **0,86**.

5.1.1.3 Erntenebenprodukte

Wie bereits erwähnt, werden Erntenebenprodukte (z. B. Stroh, Stängel, Blätter) weltweit statistisch nicht erfasst. Für die Quantifizierung der Erntenebenprodukte werden daher üblicherweise Erntefaktoren (engl. *harvest factors*) auf die jeweiligen Erntemengen angewandt. Diese zeigen das Massenverhältnis zwischen dem Hauptprodukt (z. B. Korn) und den Nebenprodukten (z. B. Stroh) an. Im Einzelfall muss daher entschieden werden, welcher Teil der Pflanzen in den FAO-Erntemengen enthalten ist und welcher nicht. Die statistisch erfasste Erntemenge an Zuckerrohr umfasst z. B. den verarbeitbaren Stängel, d. h. abzüglich des Blütenstandes und der Blätter, welche als Erntenebenprodukte zählen. Die Bagasse hingegen, die erst nach der Zuckerextraktion übrig bleibt, zählt in diesem Sinne nicht als zusätzlich zu erfassendes Nebenprodukt.

Zunächst kann anhand dieser Erntefaktoren die gesamte Menge an theoretisch maximal nutzbaren Erntenebenprodukten ermittelt werden. Von dieser Gesamtmenge verbleibt jedoch das Gros auf der Agrarfläche (Jölli und Giljum 2005, S. 7). Dem Entzug von Erntenebenprodukten aus dem Agrarsystem für eine externe Verwendung sind enge Grenzen gesetzt, wenn die Bodenfruchtbarkeit im Sinne einer nachhaltigen Nutzung erhalten werden soll.

Für die vorliegende Studie wurden die Erntefaktoren nach Wirsenius 2000 (S. 92) sowie Abschätzungen zu den genutzten Anteilen der Nebenprodukten nach Jölli und Giljum 2005 herangezogen. Wie Tabelle 9 zeigt, werden im Schnitt rund 25 % des weltweiten Aufkommens an Erntenebenprodukten genutzt. Dies entspricht rund 1,4 Mrd. t TM.

Tabelle 9: Weltweites Aufkommen und genutzte Menge an Erntenebenprodukten 2011
(Quelle: FAOSTAT 2014, Wirsenius 2000, Jölli und Giljum 2005)

| | Gesamtmenge an Erntenebenprodukten (Mio. t TM) | Genutzte Menge an Erntenebenprodukten (Mio. t TM) |
|--|--|---|
| Getreide (Weizen, Körnermais,...) | 3.938,6 | 1.095,7 |
| Futterpflanzen (Futtermais, Silomais...) | 0,0 | 0,0 |
| Zuckerpflanzen (Zuckerrohr, -rüben,...) | 392,9 | 196,4 |
| Ölpflanzen (Soja, Raps,...) | 921,4 | 92,1 |
| Knollenfrüchte (Kartoffeln, Cassava,...) | 204,6 | 20,5 |
| Früchte (Bananen, Orangen,...) | 30,9 | 3,1 |
| Faserpflanzen (Baumwolle, Jute,...) | 15,6 | 0,0 |
| Hülsenfrüchte (Erbsen, Bohnen,...) | 12,3 | 0,0 |
| Gemüse (Tomaten, Gurken,...) | 11,7 | 1,2 |
| Gewürze und Genussmittel (Tee, Kaffee,...) | 2,8 | 0,3 |
| Nüsse (Walnüsse, Cashewnüsse) | 2,6 | 0,3 |
| Kautschuk | 1,4 | 0,0 |
| Gesamt | 5.534,8 | 1.409,5 |

Umgerechnet in Nährstoffe ergeben sich etwa 0,88 Mrd. t Cellulose/Hemicellulose, 0,13 Mrd. t Zucker/Stärke, 0,06 Mrd. t Fett, 0,05 Mrd. t Protein und 0,26 Mrd. t Anderes (Abbildung 14).

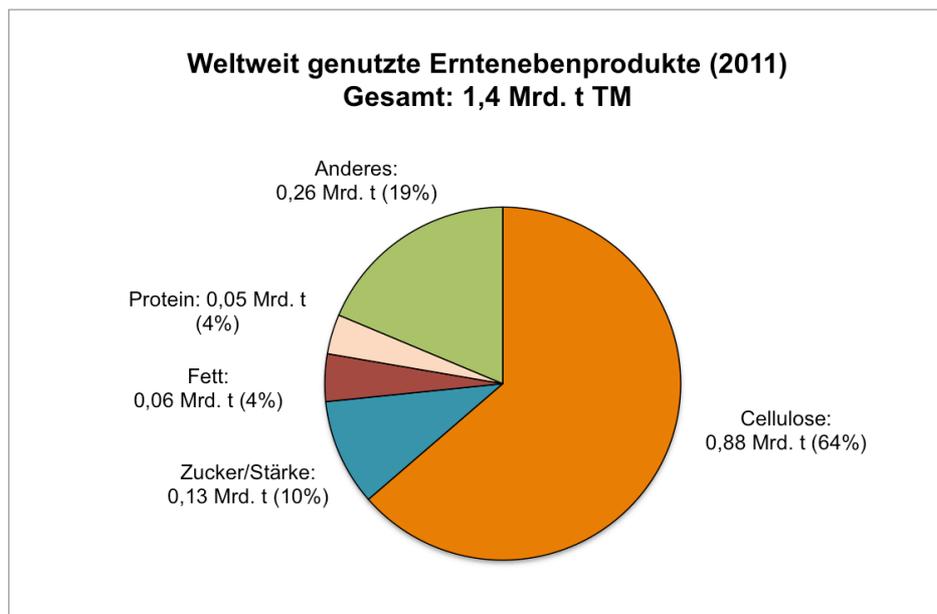


Abbildung 14: Weltweit genutzte Erntenebenprodukte 2011 (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen)

Basisdaten für 2011:

Im Jahr 2011 betrug die Gesamtmenge der Erntenebenprodukte aus der Landwirtschaft rund 5,5 Mrd. t Trockenmasse (0 % Wasser). Hiervon wurden rund 25 % (**1,4 Mrd. t TM**) genutzt in dem Sinne, dass diese nicht auf dem Feld verblieben.

5.1.1.4 Weidebiomasse

Für die Quantifizierung der Weidebiomasse schlägt Eurostat zwei Ansätze vor (EW-MFA Compilation Guide 2012, S. 17):

- Angebotsbezogen: Berechnung durch Multiplikation der Weideflächen (FAO-Kategorie Dauergrünland und Weiden) und geschätzten Hektarerträgen;
- Nachfragebezogen: Berechnung des verbleibenden Raufutterbedarfs anhand des Bestandes weidender Tiere und der Bereitstellung durch marktgängige Futtermittel.

Eurostat empfiehlt, Berechnungen anhand beider Ansätze durchzuführen, um das Ergebnis abzusichern. Der nachfragebezogene Ansatz ist in einigen wenigen Studien bereits verwendet worden, insbesondere von Krausmann et al. 2008 und SERI 2013. Diese Studien bezeichnen die Differenz aus Futtermittelnachfrage aufgrund des weltweiten Tierbestandes und dem statistisch erfassten Futtermittelangebot als *grazing gap*, welches annahmegemäß die Futterbereitstellung von Weiden darstellt (siehe Abbildung 15).

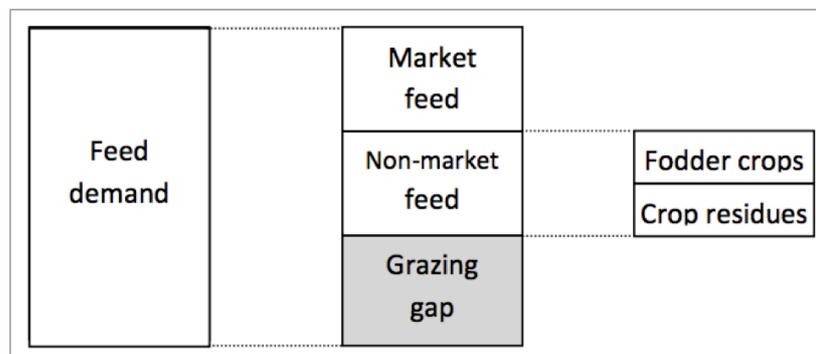


Abbildung 15: Ableitung der Weidebiomasse (*grazing gap*) aus dem Futterbedarf des Tierbestandes (Quelle: SERI 2013)

Gemäß Abbildung 15 setzt sich das statistisch erfasste Futtermittelangebot aus dem Anteil an Anbaubiomasse zusammen der als Futtermittel verwendet wird (*market feed*), aus den Futterpflanzen (*fodder crops*) sowie aus den Erntenebenprodukten (*crop residues*) die als Futtermittel verwendet werden.

Dieser Ansatz zur Berechnung des *grazing gap* setzt jedoch voraus, dass die entsprechenden Anteile an Anbaubiomasse und Erntenebenprodukten die als Futtermittel verwendet werden, eindeutig bestimmt werden können. Krausmann et al. 2008 haben hierfür auf die Angaben in den FAO Commodity Balances sowie auf verschiedene Literaturquellen zurückgegriffen und auf dieser Basis eine Abschätzung der globalen Biomasseverwendung für das Jahr 2000, sowie des *grazing gap* im Besonderen, vorgenommen. Im Ergebnis wurde in dieser Studie für das Jahr 2000 ein Biomasseangebot aus dem Weideland von etwa 3,8 Mrd. t TM errechnet. Umgerechnet auf das weltweite Weideland entspricht dies etwa 1,1 t/ha TM.

Der angebotsbezogene Berechnungsansatz ist bisher kaum in der Literatur verwendet worden, da es außerordentlich schwierig ist, eine globale Abschätzung des Biomasseertrages vom Weideland vorzunehmen. Wirsenius et al. 2010 (S. 10) schätzen diesen globalen Durchschnittsertrag vom Weideland mit etwa 0,68 t TM/ha ab, allerdings ist auch dieser Wert in Abhängigkeit vom gesamten geschätzten weltweiten Futterbedarf

gewählt worden. Dieser lag jedoch in der Studie von Wirsenius et al. 2010 mit circa 5,5 Mrd. t TM etwas geringer als er unter Verwendung des Berechnungsweges nach Krausmann et al. 2008 gewesen wäre (6,7 Mrd. t TM). Zudem beziehen sich die Ergebnisse von Wirsenius et al. 2010 auf das Jahr 1992. Die Einschätzung von Krausmann et al. 2008, bezogen auf das Jahr 2000, scheint daher eher die heutige Situation widerzuspiegeln. Um diesen Ergebnissen Rechnung zu tragen nehmen wir daher ein Biomasseangebot des Weidelandes von 1,1 t/ha TM an. Es ist jedoch klar, dass diese Abschätzung mit einer höheren Unsicherheit behaftet ist als die übrigen Parameter.

Multipliziert man diesen Ertrag mit der derzeitigen Fläche an Dauergrünland und Wiesen von 3,36 Mrd. ha (siehe Tabelle 7), so ergibt sich ein Biomasseangebot von etwa 3,7 Mrd. t TM.

Die Weidebiomasse setzt sich durchschnittlich zusammen aus 65 % Cellulose/Hemicellulose, 20 % Protein, 10 % Mineralien/Vitamine und 5 % Fett (eigene Abschätzung aus verschiedenen Quellen in ECN 2012). Umgerechnet in Nährstoffe ergeben sich daher etwa 2,40 Mrd. t Cellulose/Hemicellulose, 0,18 Mrd. t Fett, 0,74 Mrd. t Protein und 0,37 Mrd. t Anderes (Abbildung 16).

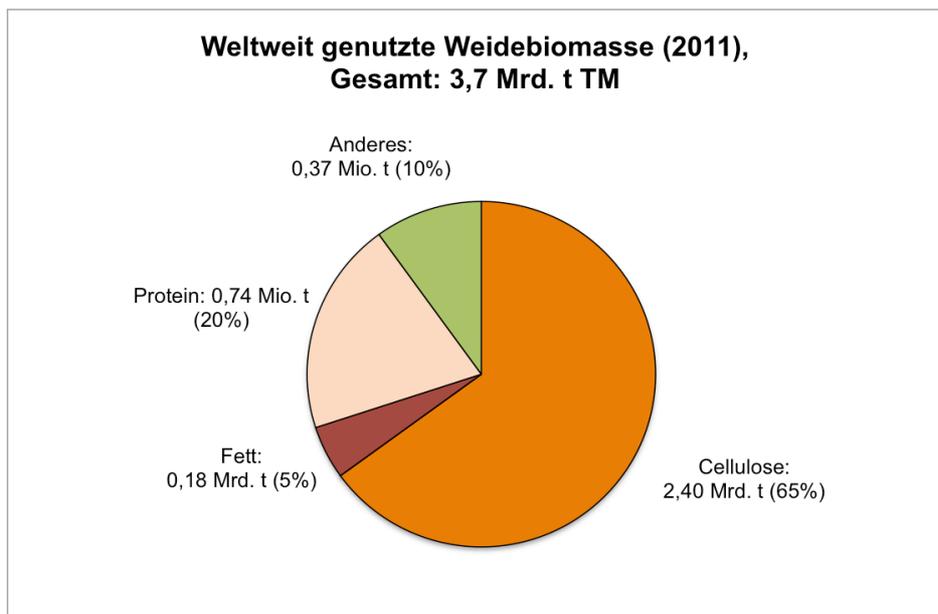


Abbildung 16: Weltweite genutzte Weidebiomasse 2011 (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen)

Basisdaten für 2011:

Im Jahr 2011 betrug die Gesamtmenge an Weidebiomasse rund **3,7 Mrd. t TM**.

5.1.1.5 Holz

Laut der FAO-Statistik ForesSTAT betrug das weltweite Holzaufkommen im Jahr 2011 etwa 3,5 Mrd. m³ (Erntefestmeter, d. h. geerntetes Holz ohne Rinde). Dies teilte sich auf in knapp 1,2 Mrd. m³ Nadelholz und etwa 2,3 Mrd. m³ Laubholz. Die Umrechnung dieser

Menge in Trockenmasse zuzüglich des Anteils genutzter Rinde haben wir analog der in SERI 2013 beschriebenen Vorgehensweise vorgenommen. Hiernach lässt sich das in ForesSTAT angegebene Holzvolumen wie folgt umrechnen:

- Nadelholz: 0,52 Tonnen (15 % Feuchte) je m³
- Laubholz: 0,68 Tonnen (15 % Feuchte) je m³

Als Zuschlag für den Anteil genutzter Rinde geben SERI 2013 jeweils 10 % an. Diese Gesamtmenge muss dann noch in absolute Trockenmasse (0 % Wasser) umgerechnet werden, so dass sich schließlich folgende Umrechnung ergibt:

- Nadelholz: 0,49 Tonnen Trockenmasse je m³, einschl. Rinde
- Laubholz: 0,64 Tonnen Trockenmasse je m³, einschl. Rinde

Damit ergibt sich insgesamt ein Holzaufkommen von etwa 2,1 Mrd. t absolute Trockenmasse:

- **Nadelholz: 1,2 Mrd. m³ * 0,49 = 588 Mio. t TM**
- **Laubholz: 2,3 Mrd. m³ * 0,64 = 1,47 Mrd. t TM**
- **Summe: 2,06 Mrd. t TM**

Diese setzen sich vereinfacht aus 1,70 Mrd. t Cellulose/Hemicellulose und 0,42 Mrd. t Lignin zusammen (Abbildung 17).

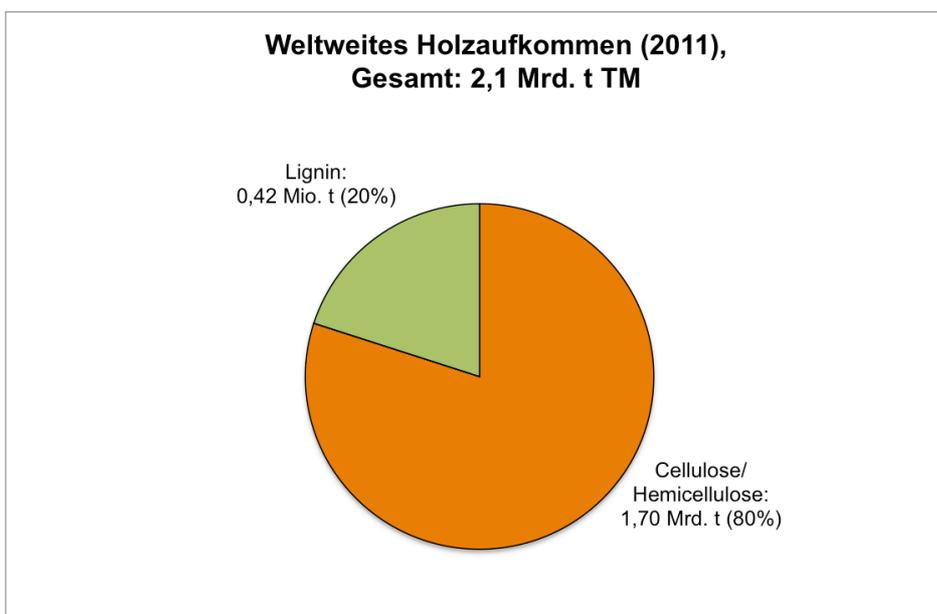


Abbildung 17: Weltweites Holzaufkommen 2011 (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen)

In ForesSTAT finden sich ebenfalls Angaben zu den Volumina an Nadel- und Laubholz die als industrielles Rundholz (*Industrial Roundwood*) und als Feuerholz (*Wood Fuel*) verwendet werden. Unter Anwendung der oben hergeleiteten Umrechnung ergeben sich etwa 1,17 Mrd. t TM (57 %) Feuerholz und 0,89 Mrd. t TM (43 %) industriell genutztes Rundholz. In der Menge an Feuerholz ist gemäß der FAO-Definition auch das für die

Hausfeuerung gesammelte Feuerholz enthalten. Der gesamte Anteil an energetischer Holznutzung ist jedoch größer als diese 57 %, da von dem industriell genutzten Rundholz letztlich auch noch eine Reihe an Energieprodukten (Hackschnitzel, Pellets, Schwarzlauge) hergestellt wird.

Eine Schwierigkeit ergibt sich nun dadurch, dass anhand der vorhandenen Quellen (v.a. FAO 2010) nicht eindeutig zu klären ist, welcher Anteil dieses Holzangebotes jeweils aus den drei Waldkategorien Primärwald, naturnaher Wirtschaftswald und Plantagenwald stammt. Dies ist jedoch wichtig für eine Einschätzung des zukünftigen Holzaufkommens, da zum einen Verschiebungen in den Flächen dieser drei Waldkategorien zu erwarten sind und zum anderen Verschiebungen in den Holzerträgen, die effektiv von diesen Flächen bereitgestellt werden.

Um die Verteilung der drei Waldkategorien am gesamten heutigen Holzaufkommen abzuschätzen, sind wir wie folgt vorgegangen. Nach Lauri et al. 2014 (S. 22) kann der jährliche Zuwachs im Wald im weltweiten Durchschnitt mit etwa $6,1 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ angesetzt werden. Eine Differenzierung dieses durchschnittlichen Zuwachses in Waldkategorien wird in dieser Quelle leider nicht vorgenommen. Nach Maraz 2014 sollte für eine nachhaltige Holzwirtschaft nur etwa die Hälfte des jährlichen Zuwachses entnommen werden, also etwa $3 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ (etwa 1,76 t TM). Unter den Annahmen, dass sich erstens diese Einschätzung auf die weltweite Fläche an naturnahem Wirtschaftswald übertragen lässt (circa 2,29 Mrd. ha) und zweitens, dass eine Entnahme von $3 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ effektiv nur auf 10 % dieser Waldfläche stattfindet (bzw. das Potenzial von $3 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ nur zu 10 % ausgenutzt wird), ergibt sich eine Holzentnahme aus naturnahem Wirtschaftswald von circa 1,0 Mrd. m^3 (circa 0,6 Mrd. t TM).

Reinhard et al. 2010 (S. 9) geben den Ertrag aus Plantagenwald mit $5\text{-}25 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ an. Lauri et al. 2014 (S. 22) nennen einen weltweiten Durchschnittsertrag für Holzplantagen von $20,3 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ (S. 23), allerdings sind hiermit eher intensive Energieholzplantagen gemeint. Als Durchschnittsertrag bezogen auf die weltweite Plantagenwaldfläche (knapp 0,3 Mrd. ha) nehmen wir daher eher ein Wert von etwa $8,5 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ an (etwa 5 t TM/ha). Damit würde sich ein Holzangebot aus Plantagenwald von etwa 2,5 Mrd. m^3 (circa 1,4 Mrd. t TM) ergeben. Damit wäre das gesamte Holzangebot von knapp 2,1 Mrd. t TM plausibel zu erklären.

Krausmann et al. 2008 haben anhand einer Auswertung anderer regionaler und nationaler Studien und Statistiken sowohl positive als auch negative Abweichungen des Holzaufkommens von den FAO-Daten festgestellt. Nach Krausmann et al. 2008 sind diese Abweichungen im Wesentlichen auf die unzureichende Erfassung des Feuerholzes in den offiziellen FAO-Statistiken zurückzuführen. Krausmann et al. 2008 führen die aus dieser Auswertung abgeleiteten positiven und negativen prozentualen Abweichungen von den FAO-Daten differenziert nach Weltregionen auf. Unter der Annahme, dass sich diese prozentualen Abweichungen von den offiziellen Statistiken seit dem Untersuchungszeitraum der Studie (2000) nicht wesentlich verändert haben, zeigt Abbildung 18 die unteren und oberen Grenzen des Holzaufkommens, mit dem demnach zu rechnen wäre. Weltweit wäre die untere Grenze der Abschätzungen bei etwa 1,8 Mrd. t TM zu sehen und die obere Grenze bei etwa 2,7 Mrd. t TM. Diese Bandbreiten werden in der nachfolgenden Szenarienbildung aufgegriffen.

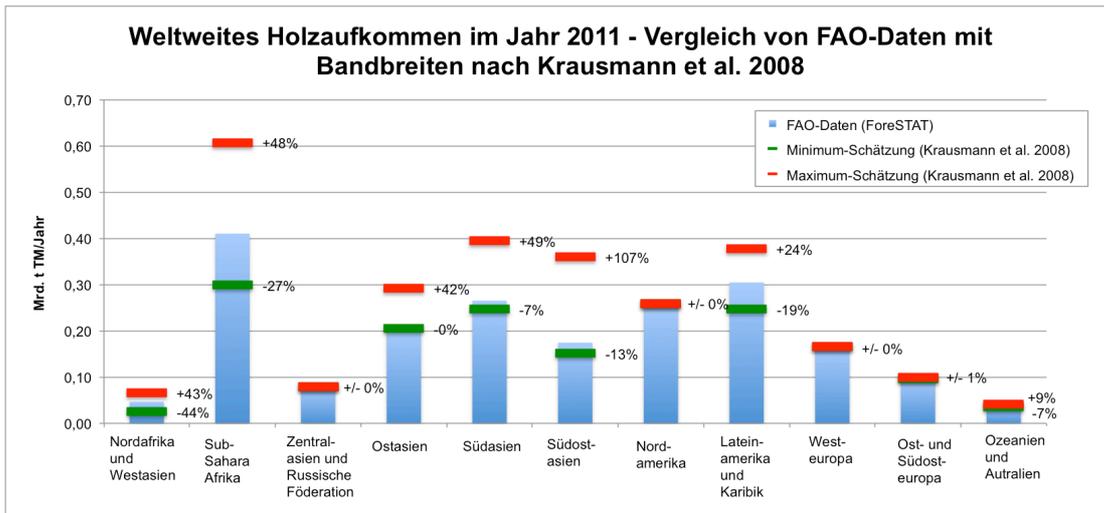


Abbildung 18: Weltweites Holzaufkommen im Jahr 2011 – Vergleich von FAO-Daten mit Bandbreiten nach Krausmann et al. 2008 (Quellen: FAO 2014, Krausmann et al. 2008)

Basisdaten für 2011:

Das weltweite Holzaufkommen im Jahr 2011 betrug, auf Basis von FAO-Daten, 2,1 Mrd. t TM (0 % Wasser). Davon wurden 0,6 Mrd. t TM aus naturnahem Wirtschaftswald und 1,4 Mrd. t TM aus Plantagen entnommen.

Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten bei der Abschätzung des weltweiten Holzaufkommens und der Feuerholznutzung könnte das weltweite Holzaufkommen auch zwischen 1,8 bis 2,7 Mrd. t TM liegen.

5.1.1.6 Zusammenfassung

Die folgende Abbildung 19 stellt nochmals als Gesamtübersicht das weltweite Biomasseangebot im Jahr 2011 nach Biomasseherkünften dar, Abbildung 20 zeigt das Angebot nach Biomassearten.

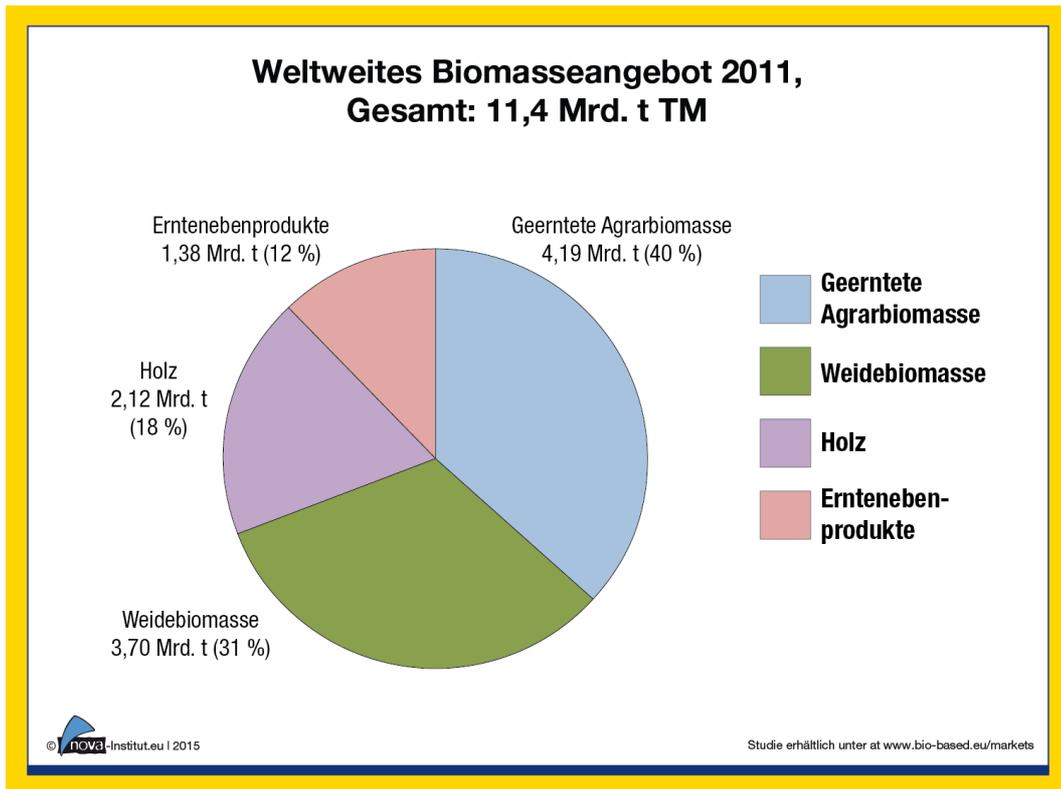


Abbildung 19: Weltweites Biomasseangebot 2011 (Quelle: eigene Berechnungen)

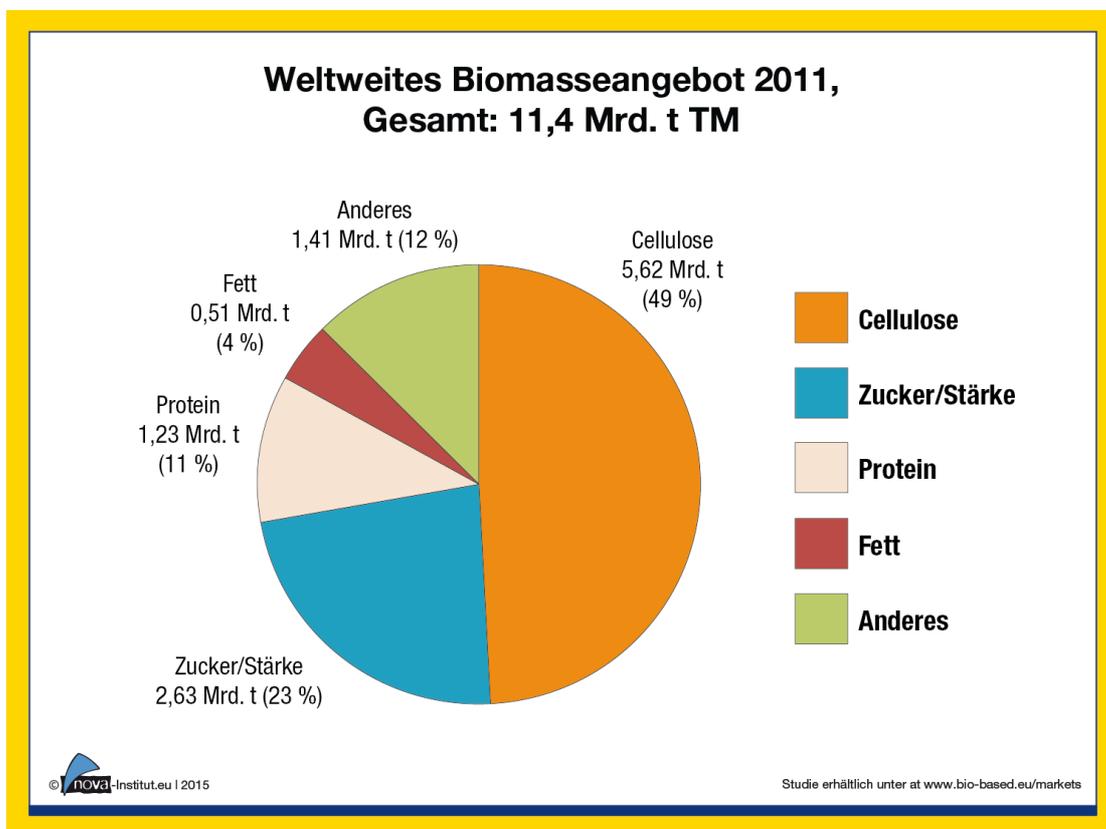


Abbildung 20: Weltweites Biomasseangebot 2011 (Quelle: eigene Darstellung)

5.1.2 EU-27

Die folgende Abbildung 21 zeigt eine Übersicht des gesamten Biomasseangebotes in der EU-27 im Jahr 2011. Neben der in der EU-27 produzierten Biomasse zählen wir hierzu auch die importierte Biomasse, wobei wir die importierten tierischen Produkte in Futteräquivalente zurückrechnen.

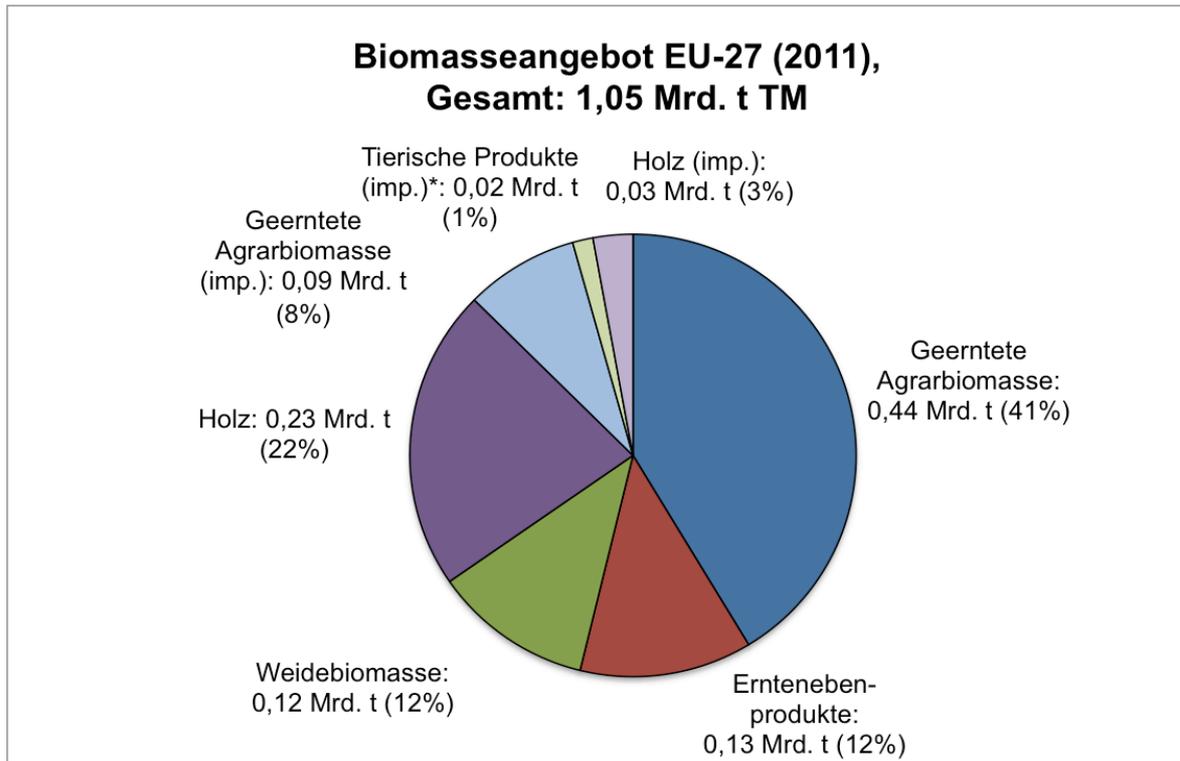


Abbildung 21: Biomasseangebot in der EU-27 im Jahr 2011 (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen), *in Futtermitteläquivalenten

5.1.2.1 Flächen

Die folgende Tabelle 10 fasst die Basisdaten zur Landfläche der EU-27 im Jahr 2011 zusammen. Hierfür wurden die gleichen Quellen verwendet wie für die weltweite Darstellung, sodass eine weitere Erläuterung zu den einzelnen Flächenarten hier unterbleibt.

Tabelle 10: Basisdaten: Landfläche der EU-27 2011 (Quelle: FAOSTAT 2013, FAO 2010)

| Kategorie | Fläche (Mio. ha) | % |
|---|------------------|---------------|
| Summe der Landfläche der EU-27, davon: | 423,76 | 100,00 |
| Agrarfläche | 187,88 | 44,34 |
| davon Ackerfläche | 108,35 | 25,57 |
| davon Dauerkulturen | 11,95 | 2,82 |
| davon Dauergrünland und Wiesen | 67,58 | 15,95 |
| Waldfläche | 159,29 | 37,59 |
| davon naturnaher Wirtschaftswald | 112,38 | 26,52 |
| davon Primärwald | 4,74 | 1,12 |
| davon Plantagen | 42,17 | 9,95 |
| Sonstige Fläche | 76,59 | 18,07 |
| davon Wüsten und Ödland | 15,68 | 3,70 |
| Feuchtgebiete | 14,18 | 3,35 |
| Bebautes Land | 46,73 | 11,03 |

5.1.2.2 Geerntete Agrarbiomasse

Inländische Produktion

Die folgende Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse zur geernteten Agrarbiomasse in der EU-27 im Jahr 2011. Teilt man die gesamte beerntete Fläche von 97,5 Mio. ha durch die zur Verfügung stehende Fläche für Acker- und Dauerkulturen von etwa 120 Mio. ha, so ergibt sich ein MCI von etwa 0,81. Dieses Ergebnis deckt sich mit entsprechenden Berechnungen in anderen Studien wie z. B. in Langeveld et al. 2013. Wie bereits für die Darstellung der weltweit geernteten Agrarbiomasse erläutert, haben wir die Anbauflächen und Erntemengen der Futterpflanzen gegenüber der originalen FAO-Statistik erheblich nach unten korrigiert (siehe zur näheren Erläuterung Abschnitt 5.1.1.2).

Tabelle 11: Geerntete Agrarbiomasse in der EU-27 im Jahr 2011 (Quelle: FAOSTAT 2014)

| | Beerntete Fläche (Mio. ha) | Durchschnitts- erträge (t TM/ha) | Gesamt- produktion (Mio. t TM) |
|--|-------------------------------|--|--------------------------------------|
| Getreide (Weizen, Körnermais,...) | 57,23 | 4,53 | 258,99 |
| Futterpflanzen (Futtermübe, Silomais...) | 8,30 | 10,43 | 86,57 |
| Zuckerpflanzen (Zuckerrohr, -rüben,...) | 1,65 | 15,21 | 25,03 |
| Ölpflanzen (Soja, Raps,...) | 16,85 | 2,00 | 33,64 |
| Knollenfrüchte (Kartoffeln, Cassava,...) | 1,95 | 6,80 | 13,29 |
| Früchte (Bananen, Orangen,...) | 6,05 | 1,67 | 10,08 |
| Faserpflanzen (Baumwolle, Jute,...) | 0,46 | 0,20 | 0,09 |
| Hülsenfrüchte (Erbsen, Bohnen,...) | 1,56 | 2,03 | 3,17 |
| Gemüse (Tomaten, Gurken,...) | 2,23 | 1,65 | 3,68 |
| Gewürze und Genussmittel (Tee, Kaffee,...) | 0,29 | 1,13 | 0,33 |
| Nüsse (Walnüsse, Cashewnüsse) | 0,95 | 0,79 | 0,75 |
| Gesamt | 97,50 | | 435,60 |

Importe

Bezüglich des internationalen Handels mit Agrarprodukten besteht zunächst das Problem der Abgrenzung, welche weiterverarbeiteten Produkte noch dem Agrarhandel zuzuordnen sind und welche nicht (von Witzke et al. 2011, S. 33). Zunächst bietet die Eurostat-Datenbank Economy-wide Material Flow Accounts (MFA) einen guten, aber sehr hoch aggregierten Überblick über den internationalen Handel mit Biomasse (Abbildung 22). Diese Datenbank beinhaltet den internationalen Handel mit Agrarrohstoffen ebenso wie den Handel mit tierischen Produkten und eine weitere Kategorie für weiterverarbeitete Produkte (*Products mainly from biomass*). Die Zusammensetzung dieser Kategorie ist jedoch aus der Eurostat-Datenbank nicht ersichtlich, sodass die Darstellung in Abbildung 22 nur für eine erste Abschätzung der Größenordnungen dienen kann.

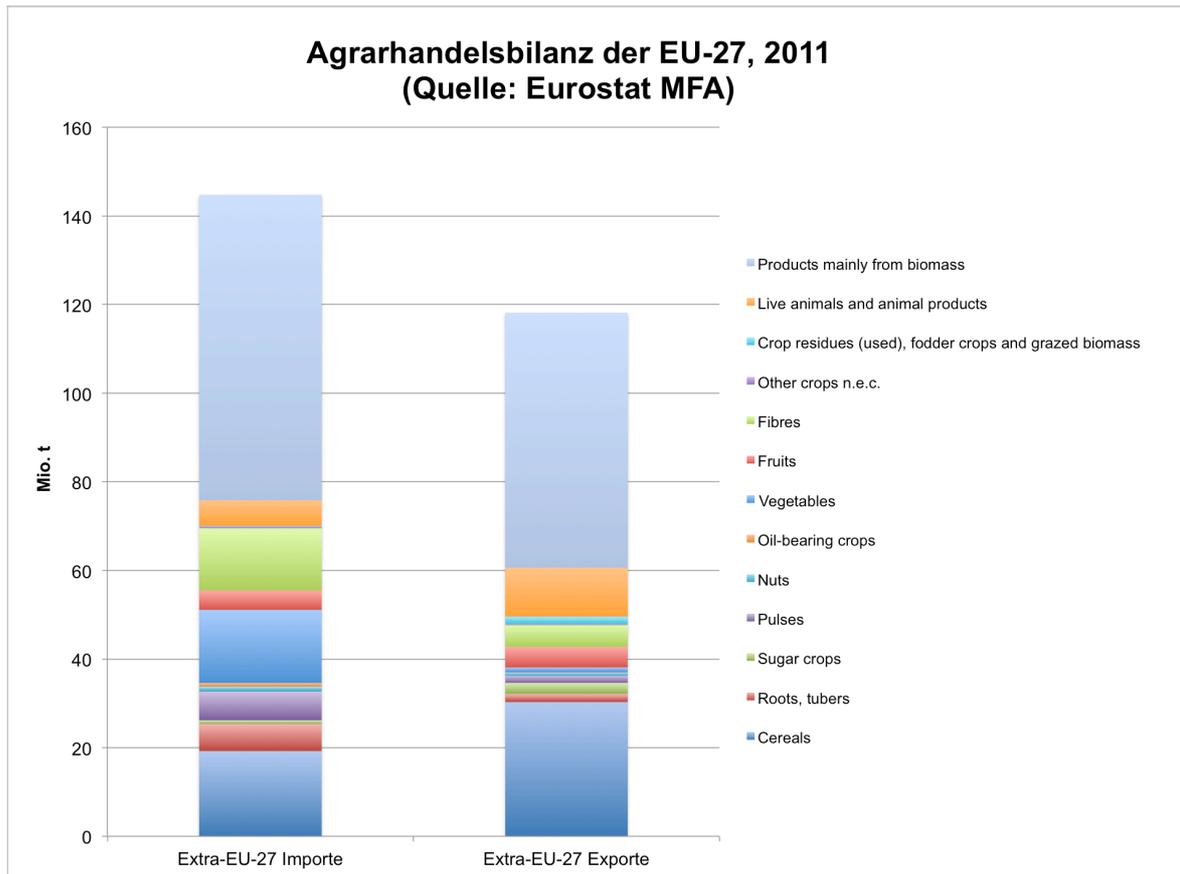


Abbildung 22: Agrarhandelsbilanz der EU-27 im Jahr 2011 (Quelle: Eurostat Material Flow Accounts)

Von Witzke et al. 2011 wählen für ihre Darstellung des internationalen Agrarhandels stattdessen die Produktklassifizierung nach SITC (Standard International Trade Classification). Dieser Standard stellt nach von Witzke et al. 2011 (S. 28) die erfassten Handelsgüter nach dem Grad der Verarbeitung dar, unterscheidet also zwischen landwirtschaftlichen Rohprodukten und den weiteren Verarbeitungsstufen und eignet sich daher besonders gut um die weiterverarbeiteten Produkte auf ihre landwirtschaftlichen Rohstoffe zurückzuführen. Von Witzke et al. 2011 führen eine Gruppe von SITC-Kategorien auf, die den Anspruch erhebt, möglichst alle auf primäre Agrarprodukte zurückzuführenden Handelsgüter zu umfassen. Die folgende Abbildung 23 zeigt die Handelsbilanz der EU-27 (nur Extra-EU-27 Handel) für diese Kategorien. Wie die Abbildung zeigt, ist die Handelsbilanz der EU-27 auch nach dieser Klassifizierung negativ. Darüber hinaus ist das Handelsvolumen nach SITC zwar geringer als nach den Material Flow Accounts einschließlich der Kategorie *Products mainly from biomass*, ein Großteil dieser Produkte ist offensichtlich auch nach der SITC-Klassifizierung erfasst. Darüberhinaus ist unklar, wie hoch der Anteil an holzbasierten Produkten in der Kategorie *Products mainly from biomass* ist.

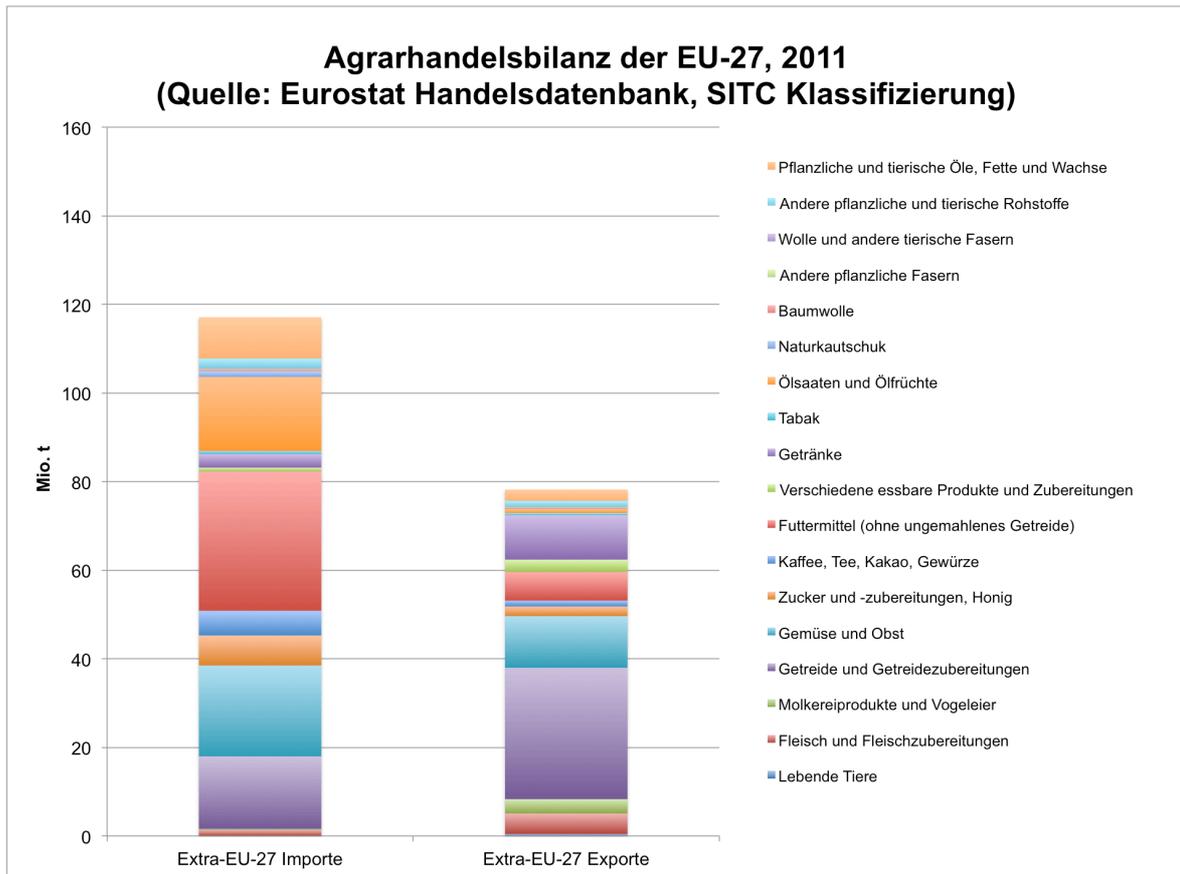


Abbildung 23: Agrarhandelsbilanz der EU-27 im Jahr 2011 (Quelle: Eurostat Internationaler Handel nach SITC)

Wir legen daher die Handelsstatistik nach SITC-Klassifizierung für unsere Ermittlung der importierten und exportierten landwirtschaftlichen Biomasse zugrunde. Von der in Abbildung 23 dargestellten Handelsstatistik muss nun noch eine Umrechnung in Trockenmasse sowie in Inhaltstoffe erfolgen. Zusätzlich rechnen wir die gehandelten tierischen Produkte in den für ihre Herstellung notwendigen Futterbedarf um. Eine genaue Umrechnung in Futtermitteläquivalente ist nicht ganz einfach, da hierfür eine Reihe von Annahmen notwendig ist und die Datenbasis hierfür recht lückenhaft ist.

Bei der Darstellung der weltweiten Nachfrage nach Futtermitteln (s. Abschnitt 5.2.1.2) haben wir ermittelt, dass die durchschnittliche weltweite Futtermitteleffizienz (also das Verhältnis zwischen eingesetzter Trockenmasse an Futter und erzeugter Trockenmasse an tierischen Produkten) etwa 3,69 % beträgt. Der Einfachheit halber nehmen wir dieses Verhältnis für die EU-Importe an tierischen Produkten an und rechnen entsprechend den Futterbedarf für ihre Erzeugung aus, wobei wir annehmen, dass sich der Futterbedarf durchschnittlich aus 70 % Kohlenhydrate (39 % Cellulose/Hemicellulose, 31 % Zucker/Stärke), 15 % Protein, 5 % Fett und 10 % Anderes (Mineralien etc.) zusammensetzt.

Die folgende Abbildung 24 zeigt das Ergebnis dieser Umrechnungen. Es zeigt sich, dass die EU-27 etwa 100 Mio. t TM importiert und 70 Mio. t TM exportiert, also netto etwa 30 Mio. t TM netto importiert. Außerdem wird offensichtlich, dass vorwiegend ein Handelsdefizit für Proteine und Öle und Fette besteht. Eine nähere Betrachtung der Daten

zeigt, dass Sojabohnen und Sojaschrot (in Abbildung 23 enthalten in den Kategorien Futtermittel und Ölsaaten und Ölfrüchte) an den gesamten Importen alleine 30 Mio. t TM bzw. etwa 30 % ausmachen.

Noleppa und Carlsburg 2014 berechnen ebenfalls auf Basis der internationalen Handelsdaten nach SITC-Klassifizierung den sogenannten Nettolandimport sowohl der EU-27 als auch Deutschlands. Hiermit ist gemeint, dass der Handel mit Biomasse in den für ihre Erzeugung erforderlichen Landbedarf umgerechnet wird. Wie Noleppa und Carlsburg 2014 beschreiben ist diese Berechnung außerordentlich aufwendig da die Hektarerträge der Herkunftsländer in die Kalkulation miteinbezogen werden müssen. Ein einfaches Beispiel verdeutlicht, wie es dadurch auch bei positiver Handelsbilanz auf Massenbasis zu einem Nettolandimport kommen kann: „Angenommen, eine Region A exportiert 12 t Weizen in eine Region B, importiert aber gleichzeitig auch aus einer Region C 10 t. Demzufolge beträgt der Nettoexport 2 t. Nun angenommen, dass in der Region A 8 t/ha geerntet werden, dann wird Weizen von insgesamt 1,5 ha exportiert. Geht man überdies davon aus, dass das Ertragsniveau in der Region C nur 5 t/ha beträgt, dann führt Region A gleichzeitig Weizen von 2 ha ein. Die Nettoexportbilanz, bezogen auf Tonnagen, wird also zu einer Nettoimportbilanz, wenn die Flächen ins Kalkül gezogen werden: Konkret wird im Beispiel Weizen netto von 0,5 ha importiert.“ (von Witzke et al. 2011, S. 30).

Nach Noleppa und Carlsburg 2014 betrug der Nettolandimport der EU-27 im vergangenen Jahrzehnt zwischen 20-30 Mio. ha. Auch wenn eine genaues Nachvollziehen dieses Ergebnisses aufgrund der aufwendigen Berechnung an dieser Stelle nicht erfolgen kann, soll dennoch dieses dennoch auf Plausibilität überprüft werden. Wie erwähnt machen Sojaimporte alleine 30 % der EU-Agrarimporte aus. Dieses Soja stammt überwiegend aus Nord- und Südamerika mit Durchschnittserträgen von 2,83 t/ha. Die importierten 30 Mio. t Sojabohnen und Sojaschrot entsprechen also einem Landbedarf von etwa mehr als 10 Mio. ha bzw. ebenfalls circa einem Drittel des von Noleppa und Carlsburg 2014 berechneten Nettolandimports von 20-30 Mio. ha. Dieses Ergebnis erscheint demnach plausibel.

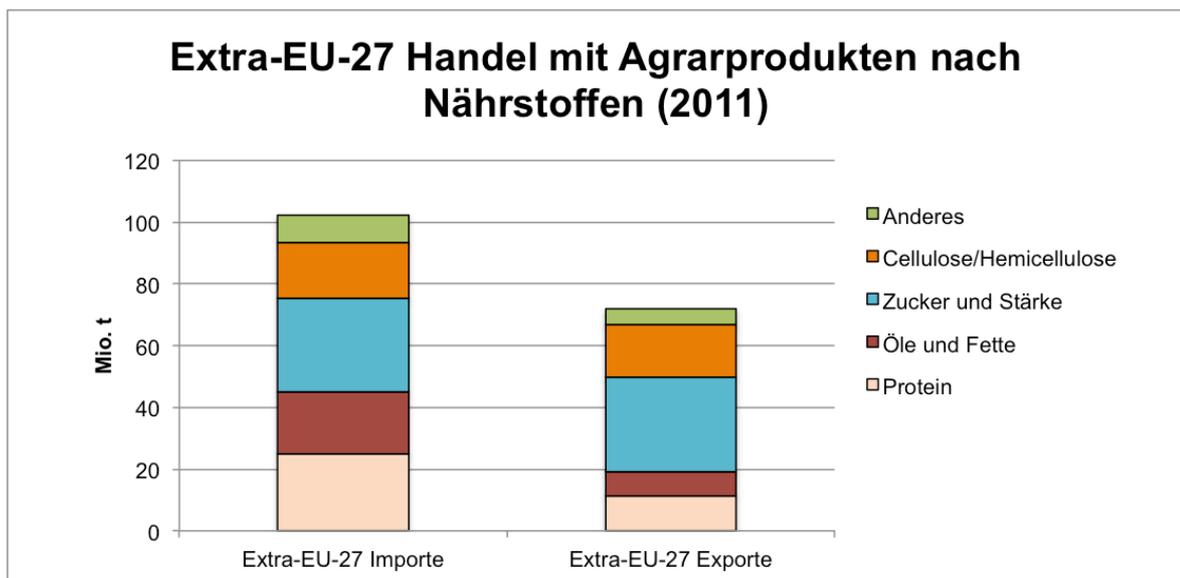


Abbildung 24: Agrarhandelsbilanz der EU-27 im Jahr 2011 (Quelle: Eurostat Internationaler Handel nach SITC, eigene Berechnungen)

Die in Abbildung 24 gezeigte Handelsbilanz lässt auch wieder getrennt nach pflanzlichen und tierischen Produkten darstellen (Abbildung 25). Diese Darstellung zeigt, dass die EU-27 vorwiegend pflanzliche Produkte importiert (und davon ein Großteil als Futtermittel) und tierische Produkte exportiert. Von den gesamten 102 Mio. t TM an Importen machen pflanzliche Produkte 87 Mio. t TM aus und tierische Produkte (ausgedrückt in Futtermittelbedarf) 16 Mio. t TM.

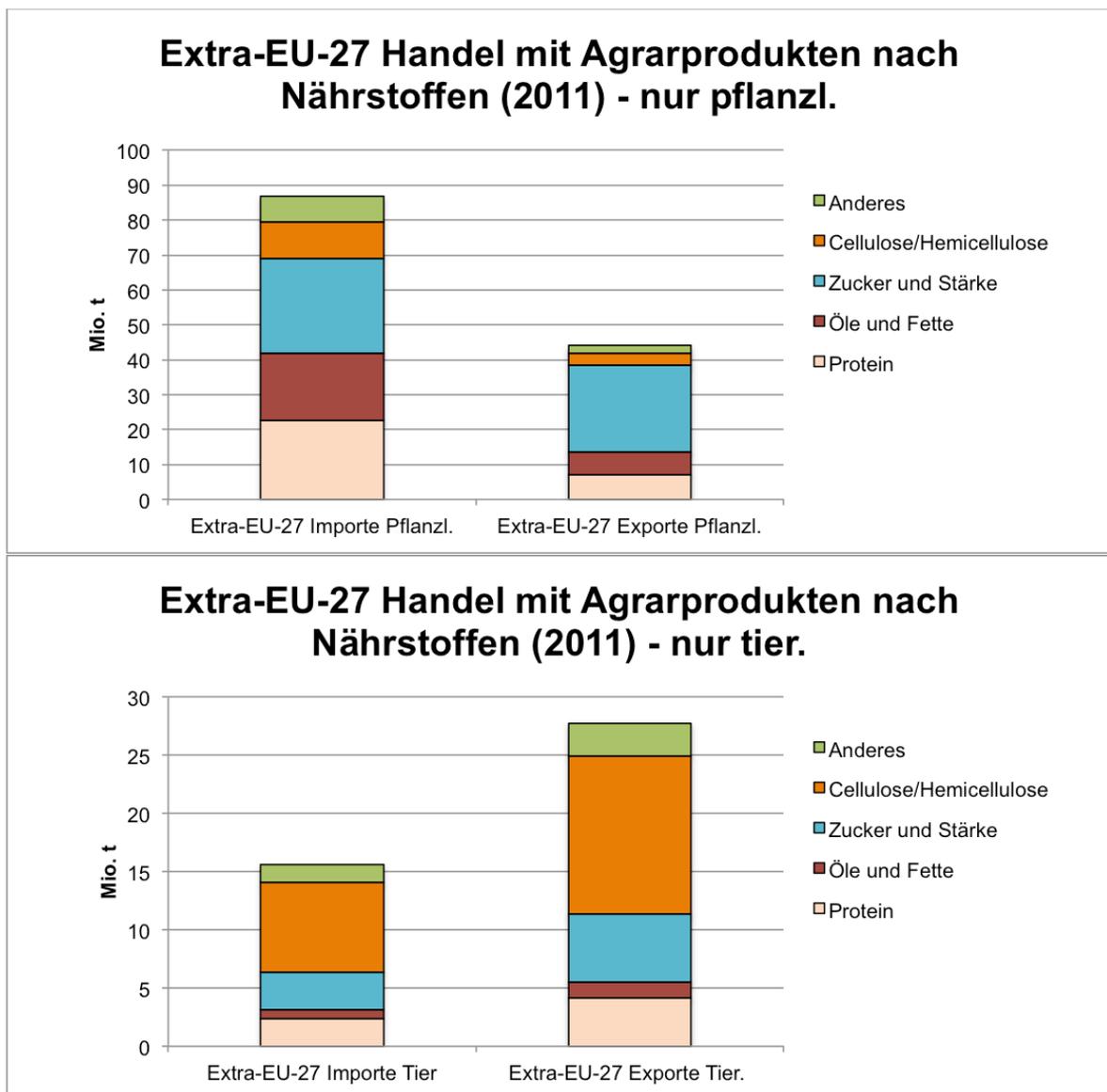


Abbildung 25: Agrarhandelsbilanz der EU-27 im Jahr 2011, aufgeteilt in pflanzliche und tierische Produkte (Quelle: Eurostat Internationaler Handel nach SITC, eigene Berechnungen)

Basisdaten für 2011:

Die im Jahr 2011 in der EU-27 geerntete Agrarbiomasse beträgt **436 Mio. t TM**. Diese Masse wurde auf einer Fläche von etwa 97,5 Mio. ha erzielt. Diese beerntete Fläche ist geringer als die zur Verfügung stehende Fläche (120 Mio. ha). Hieraus ergibt sich ein MCI von etwa **0,81**.

Die Importe der EU-27 von pflanzlichen Agrarrohstoffen und -produkten betragen im Jahr 2011 etwa **87 Mio. t TM**. Die Importe tierischer Produkte, ausgedrückt in Futtermittelbedarf, betragen weitere **16 Mio. t TM**.

5.1.2.3 Erntenebenprodukte

Für die Abschätzung der Menge an genutzten Erntenebenprodukten in der EU-27 gehen wir ebenso vor wie bei der weltweiten Analyse. Hieraus ergeben sich eine Gesamtmenge an Erntenebenprodukten von etwa 526 Mio. t TM und hiervon eine genutzte Menge von 132 Mio. t TM (etwa 25 %, s. Tabelle 12).

Tabelle 12: Aufkommen und genutzte Menge an Erntenebenprodukten in der EU-27 (2011) (Quellen: FAOSTAT 2014, Wirsenius 2000, Jölli und Giljum 2005)

| | Gesamtmenge an Erntenebenprodukten (Mio. t TM) | Genutzte Menge an Erntenebenprodukten (Mio. t TM) |
|--|--|---|
| Getreide (Weizen, Körnermais,...) | 431,19 | 107,80 |
| Futterpflanzen (Futterrüben, Silomais...) | 0,00 | 0,00 |
| Zuckerpflanzen (Zuckerrohr, -rüben,...) | 14,11 | 3,53 |
| Ölpflanzen (Soja, Raps,...) | 64,05 | 16,01 |
| Knollenfrüchte (Kartoffeln, Cassava,...) | 13,29 | 3,32 |
| Früchte (Bananen, Orangen,...) | 2,02 | 0,50 |
| Faserpflanzen (Baumwolle, Jute,...) | 0,22 | 0,06 |
| Hülsenfrüchte (Erbsen, Bohnen,...) | 0,63 | 0,16 |
| Gemüse (Tomaten, Gurken,...) | 0,74 | 0,18 |
| Gewürze und Genussmittel (Tee, Kaffee,...) | 0,07 | 0,02 |
| Nüsse (Walnüsse, Cashewnüsse) | 0,15 | 0,04 |
| Gesamt | 526,46 | 131,62 |

Basisdaten für 2011:

Im Jahr 2011 betrug die Gesamtmenge der Erntenebenprodukte aus der Landwirtschaft in der EU-27 rund 526 Mio. t TM. Hiervon wurden rund 25 % (**132 Mio. t TM**) genutzt in dem Sinne, dass diese nicht auf dem Feld verblieben.

5.1.2.4 Weidebiomasse

Für die Bestimmung der von Nutztieren aufgenommenen Weidebiomasse gehen wir analog zur weltweiten Analyse vor. Nach Wirsenius et al. 2010 ist der Ertrag (bzw. die von Nutztieren pro ha aufgenommene Weidebiomasse) jedoch mit 1,8 t TM/ha höher als im weltweiten Durchschnitt. Die gesamte Weidebiomasse von etwa 122 Mio. t TM ergibt sich wiederum durch Multiplikation dieses Durchschnittsertrages mit der gesamten Fläche an Dauergrünland und Wiesen im Jahr 2011 (etwa 68 Mio. ha).

Basisdaten für 2011:

Im Jahr 2011 betrug die Gesamtmenge an Weidebiomasse in der EU-27 rund **122 Mio. t TM**.

5.1.2.5 Holz

Inländische Produktion

Als Holzaufkommen in der EU-27 im Jahr 2011 nehmen wir eine Gesamtmenge von rund **232 Mio. t TM** an. Diese Menge ergibt sich analog zur Darstellung des weltweiten Holzaufkommens (s. Abschnitt 5.1.1.5) aus der Umrechnung des Aufkommens in m³ ohne Rinde gemäß der Datenbank ForesSTAT in Tonnen Trockenmasse mit einem Zuschlag von 10 % für die genutzte Rinde.

Importe

Ebenfalls durch Umrechnung der Angaben in ForesSTAT ergeben sich für die Extra-EU-27 Importe von Holz rund 30 Mio. t TM.

Basisdaten für 2011:

Das Holzaufkommen im Jahr 2011 in der EU-27 betrug etwa **232 Mio. t TM**. Holzimporte betragen etwa **30 Mio. t TM**.

5.1.3 Deutschland

Die folgende Abbildung 26 zeigt eine Übersicht des gesamten Biomasseangebotes in Deutschland im Jahr 2011. Neben der in Deutschland produzierten Biomasse zählen wir hierzu ebenfalls die importierte Biomasse, wobei wir die importierten tierischen Produkte wiederum in Futteräquivalente zurückrechnen.

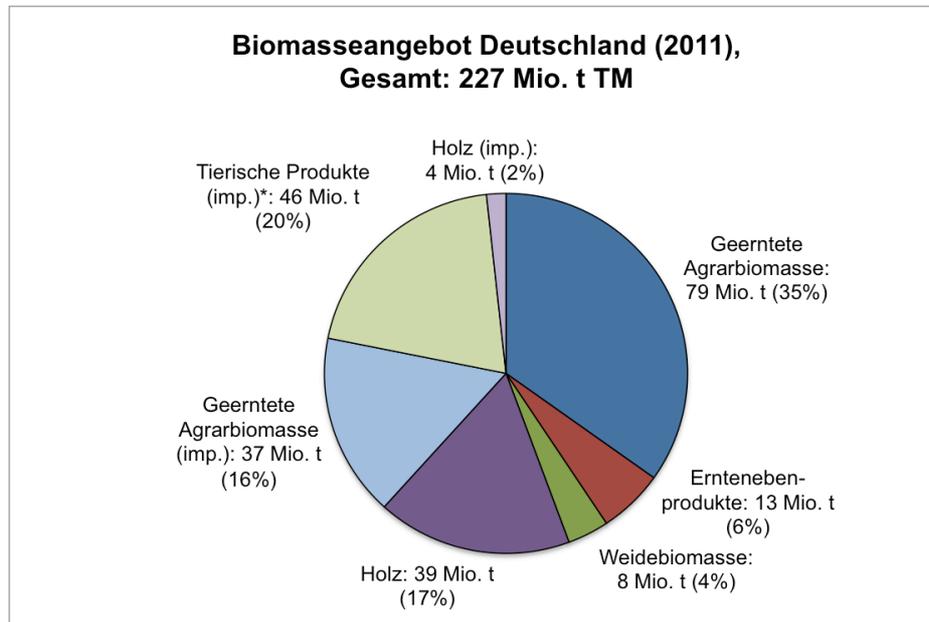


Abbildung 26: Biomasseangebot in Deutschland im Jahr 2011 (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen), *in Futtermitteläquivalenten

5.1.3.1 Flächen

Die folgende Tabelle 13 fasst die Basisdaten zur Landfläche Deutschlands im Jahr 2011 zusammen. Die Datenbasis ist überwiegend die gleiche wie auch für die Darstellung für die Welt und die EU-27, sodass auch an dieser Stelle auf eine weitere Erläuterung verzichtet wird.

Tabelle 13: Basisdaten: Landfläche Deutschlands 2010/11 (Quelle: FAOSTAT 2013, FAO 2010, DESTATIS 2014)

| Kategorie | Fläche (Mio. ha) | % |
|--|------------------|---------------|
| Summe der Landfläche Deutschlands, davon: | 34,85 | 100,00 |
| Agrarfläche | 16,72 | 47,97 |
| davon Ackerfläche | 11,88 | 34,07 |
| davon Dauerkulturen | 4,64 | 0,57 |
| davon Dauergrünland und Wiesen | 0,20 | 13,32 |
| Waldfläche | 11,08 | 31,78 |
| davon naturnaher Wirtschaftswald | 5,79 | 16,62 |
| davon Primärwald | 0,00 | 0,00 |
| davon Plantagen | 5,28 | 15,16 |
| Sonstige Fläche | 7,06 | 20,26 |
| davon Wüsten und Ödland | 0,62 | 1,79 |
| Feuchtgebiete | 0,34 | 0,98 |
| Bebautes Land | 6,10 | 17,49 |

5.1.3.2 Geerntete Agrarbiomasse

Inländische Produktion

Die folgende Tabelle 14 zeigt die Ergebnisse zur geernteten Agrarbiomasse in Deutschland im Jahr 2011. Teilt man die gesamte beerntete Fläche von 11 Mio. ha durch die zur Verfügung stehende Fläche für Acker- und Dauerkulturen von etwa 12 Mio. ha, so ergibt sich ein MCI von etwa 0,91.

Tabelle 14: Geerntete Agrarbiomasse in Deutschland im Jahr 2011 (Quelle: FAOSTAT 2014)

| | Beerntete Fläche (Mio. ha) | Durchschnittserträge (t TM/ha) | Gesamtproduktion (Mio. t TM) |
|--|----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Getreide (Weizen, Körnermais,...) | 6,49 | 5,69 | 36,91 |
| Futterpflanzen (Futterrüben, Silomais...) | 2,03 | 14,32 | 29,10 |
| Zuckerpflanzen (Zuckerrohr, -rüben,...) | 0,40 | 14,86 | 5,92 |
| Ölpflanzen (Soja, Raps,...) | 1,37 | 2,64 | 3,63 |
| Knollenfrüchte (Kartoffeln, Cassava,...) | 0,26 | 9,72 | 2,51 |
| Früchte (Bananen, Orangen,...) | 0,18 | 3,03 | 0,54 |
| Faserpflanzen (Baumwolle, Jute,...) | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Hülsenfrüchte (Erbsen, Bohnen,...) | 0,10 | 2,30 | 0,23 |
| Gemüse (Tomaten, Gurken,...) | 0,11 | 1,89 | 0,21 |
| Gewürze und Genussmittel (Tee, Kaffee,...) | 0,02 | 0,99 | 0,02 |
| Nüsse (Walnüsse, Cashewnüsse) | 0,01 | 2,35 | 0,01 |
| Gesamt | 11,0 | | 79,1 |

Wie bereits für die Welt und die EU-27 dargestellt, haben wir die Anbaustatistik zu Futterpflanzen nach FAOSTAT nach unten korrigiert bis eine Übereinstimmung mit der BMEL-Statistik erreicht war. Um diese Problematik zu verdeutlichen zeigt die folgende Tabelle 15 einen Vergleich der Anbauflächen von Futterpflanzen in Deutschland im Jahr 2011 nach BMEL (dort: „Pflanzen zur Grünernte“) und FAOSTAT (dort: „Fodder crops“). Die Tabelle zeigt, dass bei der Silomaisfläche eine sehr gute Übereinstimmung zwischen BMEL und FAOSTAT besteht, nicht jedoch bei den anderen Kulturen. Da beide Datenquellen zudem andere Kategorien verwenden, ist es schwierig, die enormen Abweichungen auf befriedigende Weise zu korrigieren. Zur Vereinfachung, und um immer noch FAOSTAT als Datengrundlage verwenden zu können, haben wir daher die Anbauflächen der Futterpflanzen (außer Silomais) prozentual soweit verringert, bis die gesamte Anbaufläche (2,76 Mio. ha) mit jener nach BMEL identisch war.

Tabelle 15: Vergleich geernteter Futterpflanzen in Deutschland 2011 nach BMEL und FAO (Quelle: BMEL 2014, FAO 2014; eigene Berechnungen)

| BMEL: | 1.000 ha (2011) | FAOSTAT: | 1.000 ha (2011) | Korrigierte Anbaufläche (1.000 ha) |
|---|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---|
| Pflanzen zur Grünernte | 2.758,00 | Fodder crops | 12.662,70 | 2.758,00 |
| Silomais/Grünmais | 2.029,00 | Forage and silage, maize | 2.028,80 | 2.028,80 |
| Feldgras/Grasanbau auf dem Ackerland | 397,00 | Forage and silage, grasses nes | 2.494,00 | 331,94 |
| Getreide zur Ganzpflanzenernte | 68,00 | Forage and silage, rye grass | 4.840,60 | 171,02 |
| Leguminosen zur Ganzpflanzenernte | 264,00 | Forage and silage, clover | 263,50 | 18,07 |
| | | Forage and silage, alfalfa | 42,20 | 2,89 |
| | | Forage and silage, green oilseeds | 2.770,00 | 189,95 |
| | | Beets for fodder | 3,60 | 0,25 |
| | | Forage products | 220,00 | 15,09 |

Importe

Für die Darstellung der Handelsbilanz Deutschlands mit Agrarrohstoffen und -produkten ziehen wir wie für die EU-27 die Eurostat-Handelsdatenbank nach SITC heran. Abbildung 27 zeigt die Originaldaten aus dieser Datenbank. Die Darstellung zeigt, dass Deutschland wie die EU-27 bestimmte Produkte sehr viel stärker importiert als exportiert (insbesondere Gemüse und Obst sowie Ölsaaten und -früchte).

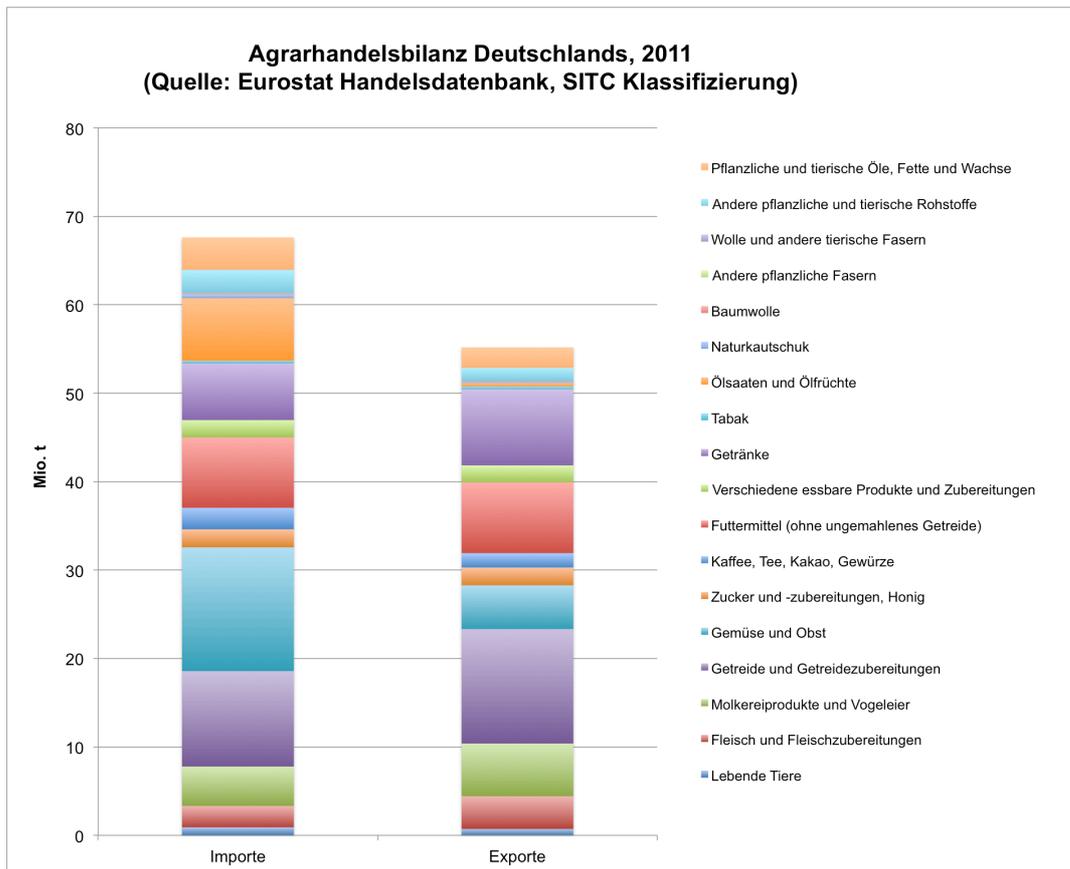


Abbildung 27: Agrarhandelsbilanz der Deutschlands im Jahr 2011 (Quelle: Eurostat Internationaler Handel nach SITC)

Auch die Umrechnung dieser Handelsbilanz in Trockenmasse und Nährstoffe bestätigt wie für die EU-27 ein Handelsdefizit für Protein sowie Öle und Fette (Abbildung 28).

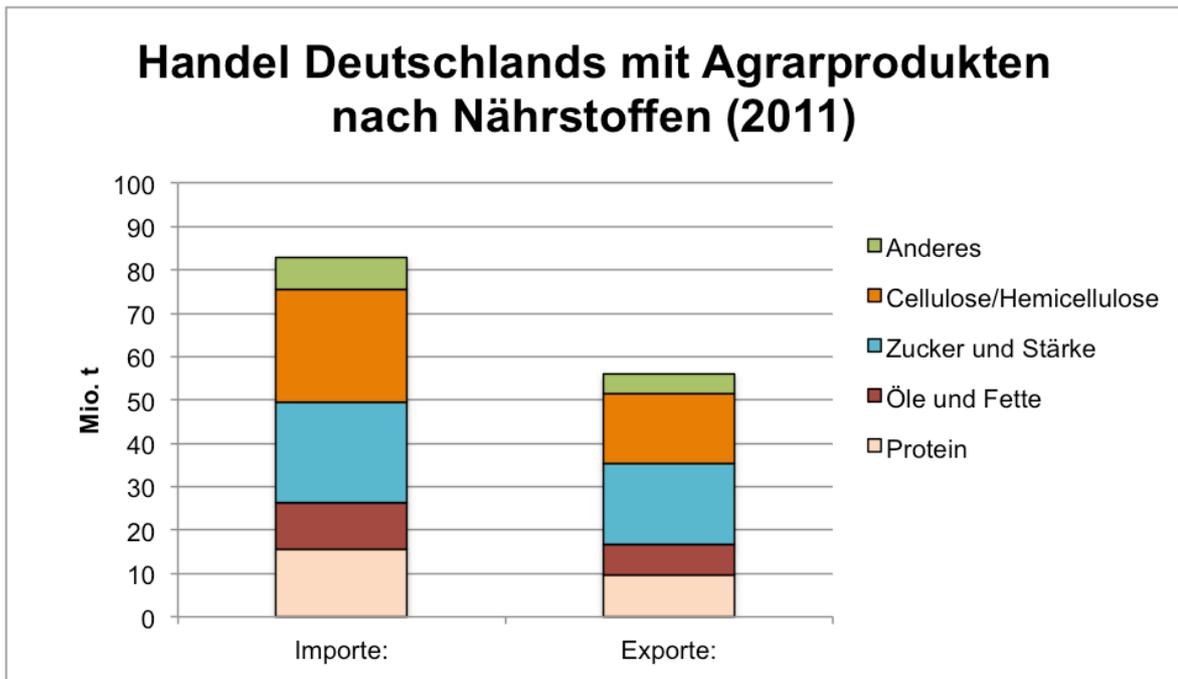


Abbildung 28: Agrarhandelsbilanz Deutschlands im Jahr 2011 (Quelle: Eurostat Internationaler Handel nach SITC, eigene Berechnungen)

Die in Abbildung 28 gezeigte Handelsbilanz lässt auch wieder getrennt nach pflanzlichen und tierischen Produkten darstellen (Abbildung 29). Diese Darstellung zeigt, dass Deutschland im Gegensatz zur EU-27 sowohl pflanzliche als auch tierische Produkte stärker importiert als exportiert. Von den gesamten 83 Mio. t TM an Importen machen pflanzliche Produkte 37 Mio. t TM aus und tierische Produkte (ausgedrückt in Futtermittelbedarf) 46 Mio. t TM.

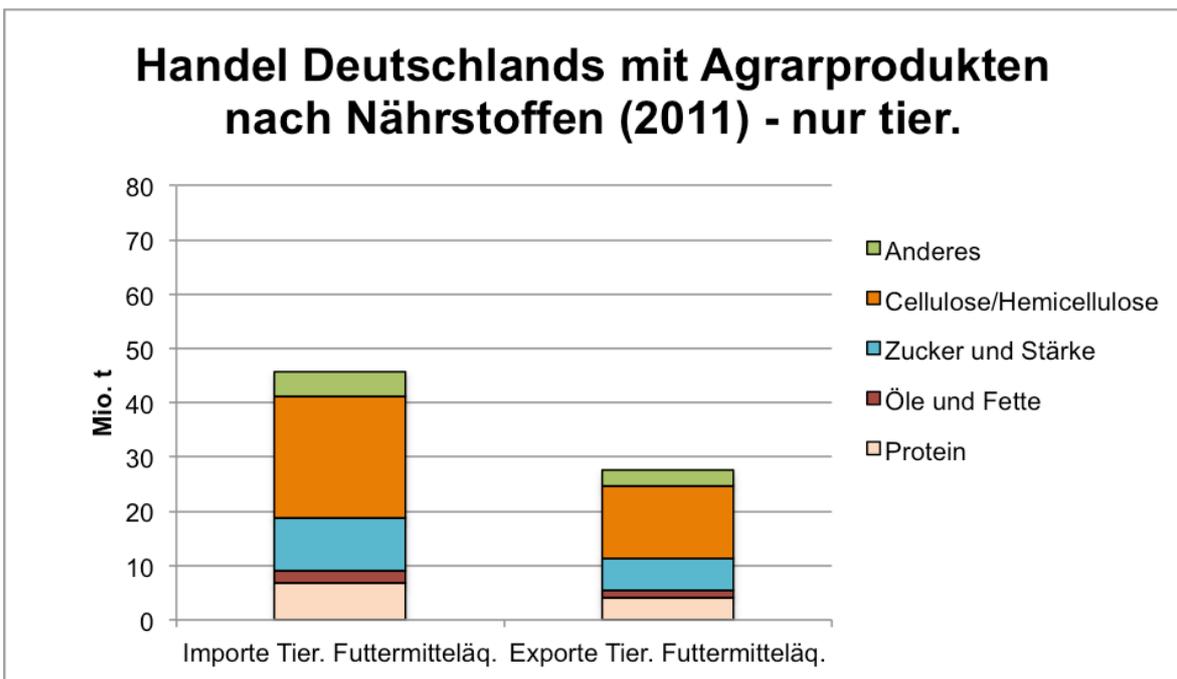
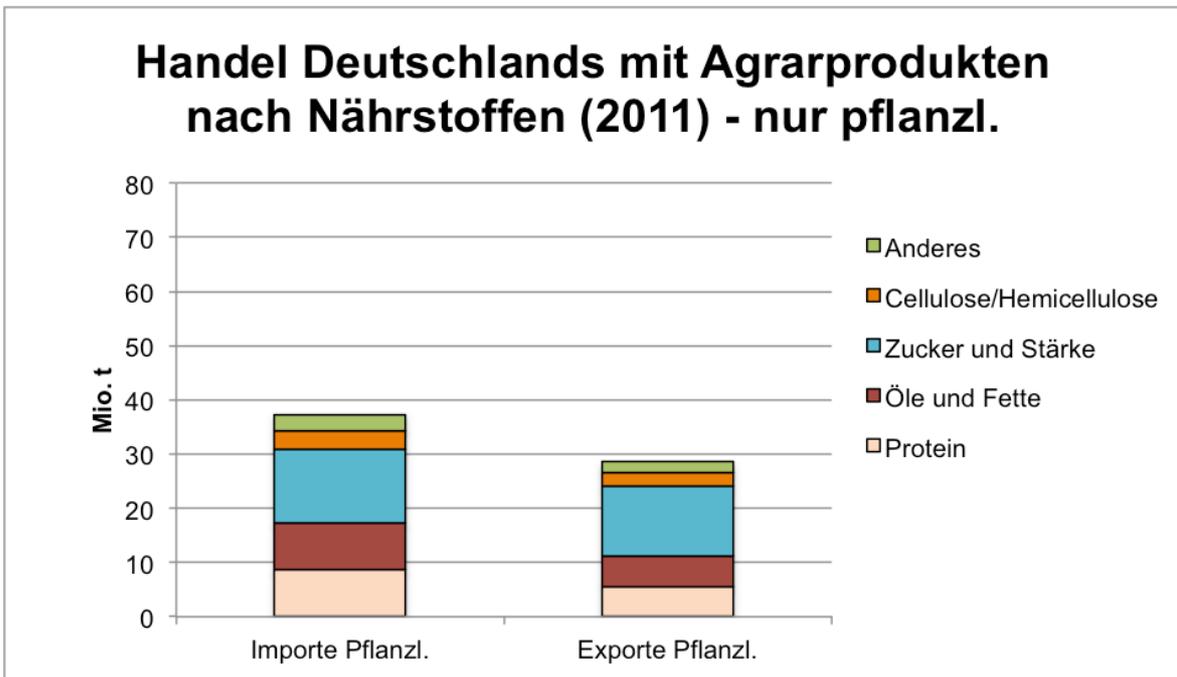


Abbildung 29: Agrarhandelsbilanz Deutschlands im Jahr 2011, aufgeteilt in pflanzliche und tierische Produkte (Quelle: Eurostat Internationaler Handel nach SITC, eigene Berechnungen)

Basisdaten für 2011:

Die im Jahr 2011 in Deutschland geerntete Agrarbiomasse betrug rund **79 Mio. t TM**. Diese Masse wurde auf einer Fläche von etwa 11,0 Mio. ha erzielt. Diese beerntete Fläche ist geringer als die zur Verfügung stehende Fläche (12 Mio. ha). Hieraus ergibt sich ein MCI von etwa **0,91**.

Die Importe Deutschlands von pflanzlichen Agrarrohstoffen und -produkten betragen im Jahr 2011 etwa **37 Mio. t TM**. Die Importe tierischer Produkte, ausgedrückt in Futtermittelbedarf, betragen weitere **46 Mio. t TM**.

5.1.3.3 Erntenebenprodukte

Für die Abschätzung der Menge an genutzten Erntenebenprodukten in Deutschland gehen wir ebenso vor wie bei der Abschätzung für die Welt und die EU-27. Hieraus ergeben sich eine Gesamtmenge an Erntenebenprodukten von etwa knapp 53 Mio. t TM und hiervon eine genutzte Menge von 13 Mio. t TM (etwa 25 %, s. Tabelle 16).

Tabelle 16: Aufkommen und genutzte Menge an Erntenebenprodukten in Deutschland 2011 (Quelle: FAOSTAT 2014, Wirsenius 2000, Jölli und Giljum 2005)

| | Gesamtmenge an Erntenebenprodukten (Mio. t TM) | Genutzte Menge an Erntenebenprodukten (Mio. t TM) |
|--|--|---|
| Getreide (Weizen, Körnermais,...) | 40,427 | 10,11 |
| Futterpflanzen (Futterrüben, Silomais...) | 0,000 | 0,00 |
| Zuckerpflanzen (Zuckerrohr, -rüben,...) | 3,194 | 0,80 |
| Ölpflanzen (Soja, Raps,...) | 6,522 | 1,63 |
| Knollenfrüchte (Kartoffeln, Cassava,...) | 2,513 | 0,63 |
| Früchte (Bananen, Orangen,...) | 0,081 | 0,02 |
| Faserpflanzen (Baumwolle, Jute,...) | 0,000 | 0,00 |
| Hülsenfrüchte (Erbsen, Bohnen,...) | 0,045 | 0,01 |
| Gemüse (Tomaten, Gurken,...) | 0,041 | 0,01 |
| Gewürze und Genussmittel (Tee, Kaffee,...) | 0,004 | 0,00 |
| Nüsse (Walnüsse, Cashewnüsse) | 0,003 | 0,00 |
| Gesamt | 52,83 | 13,21 |

Basisdaten für 2011:

Im Jahr 2011 betrug die Gesamtmenge der Erntenebenprodukte aus der Landwirtschaft in Deutschland rund 53 Mio. t TM. Hiervon wurden rund 25 % (**13 Mio. t TM**) genutzt in dem Sinne, dass diese nicht auf dem Feld verblieben.

5.1.3.4 Weidebiomasse

Für die Bestimmung der von Nutztieren aufgenommenen Weidebiomasse gehen wir analog zur Analyse für die Welt und die EU-27 vor. Für Deutschland nehmen wir ebenfalls

eine durchschnittlich von Nutztieren aufgenommene Menge an Weidebiomasse von 1,8 t TM/ha an. Die gesamte Weidebiomasse von etwa 8,4 Mio. t TM ergibt sich wiederum durch Multiplikation dieses Durchschnittsertrages mit der gesamten Fläche an Dauergrünland und Wiesen im Jahr 2011 (etwa 4,64 Mio. ha).

Basisdaten für 2011:

Im Jahr 2011 betrug die Gesamtmenge an Weidebiomasse in Deutschland rund **8,4 Mio. t TM**.

5.1.3.5 Holz

Inländische Produktion

Als Holzaufkommen in Deutschland im Jahr 2011 nehmen wir eine Gesamtmenge von rund **39 Mio. t TM** an. Laut der FAO-Datenbank ForesSTAT betrug das Holzaufkommen im Jahr 2011 in Deutschland etwa 56 Mio. m³ (Erntefestmeter, d. h. geerntetes Holz ohne Rinde). Nach Mantau 2014 wird dieses jedoch aufgrund nicht registrierter Einschläge aus kleinem Privatwald unterschätzt und lag tatsächlich bei 73,8 Mio. m³. Um dem Rechnung zu tragen nehmen wir einen entsprechenden Zuschlag auf das in ForesSTAT ausgewiesene Aufkommen vor. Wiederum unter Anrechnung eines 10 %-Zuschlages für genutzte Rinde und Umrechnung in Trockenmasse ergeben sich somit rund 39 Mio. t TM.

Importe

Ebenfalls durch Umrechnung der Angaben in ForesSTAT ergeben sich für die deutschen Importe von Holz rund 4 Mio. t TM.

Basisdaten für 2011:

Das Holzaufkommen im Jahr 2011 in Deutschland betrug etwa **39 Mio. t TM**. Holzimporte betragen etwa **4 Mio. t TM**.

5.2 Biomassenachfrage

Als Nachfragesektoren betrachten wir Lebensmittel, Futtermittel, Stoffliche Nutzung, Bioenergie für Strom und Wärme und Biokraftstoffe. Neben der inländischen Nachfrage berücksichtigen wir für Europa und Deutschland auch die Nachfrage durch Exporte.

Im Fall des Exports pflanzlicher Agrarprodukte sowie des Exportanteils der Bioenergie und der stofflichen Nutzung ziehen wir hierfür die entsprechenden Handels- bzw. Verbandsstatistiken heran. Für den Fall exportierter tierischer Produkte rechnen wir dagegen diese Exporte wie bei den Importen in den äquivalenten Futterbedarf um.

In den folgenden Abschnitten leiten wir zunächst die Biomassenachfrage (weltweit, für die EU-27 und für Deutschland) für das Basisjahr 2011 ab.

5.2.1 Welt

Die folgenden beiden Abbildungen (Abbildung 30 und Abbildung 31) zeigen zunächst eine Gesamtübersicht der weltweiten Biomassenachfrage nach Sektoren und nach Biomassearten.

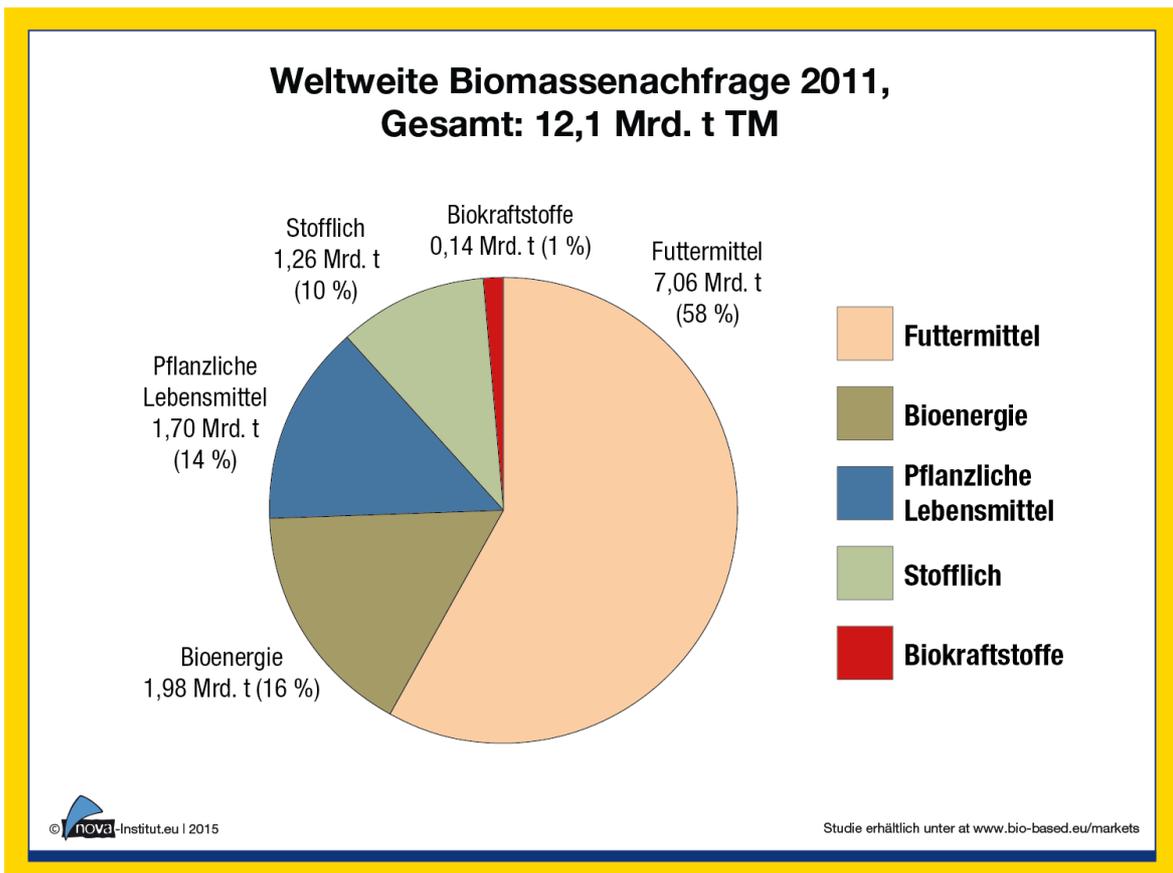


Abbildung 30: Weltweite Biomassenachfrage 2011 (nach Sektoren) (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen)

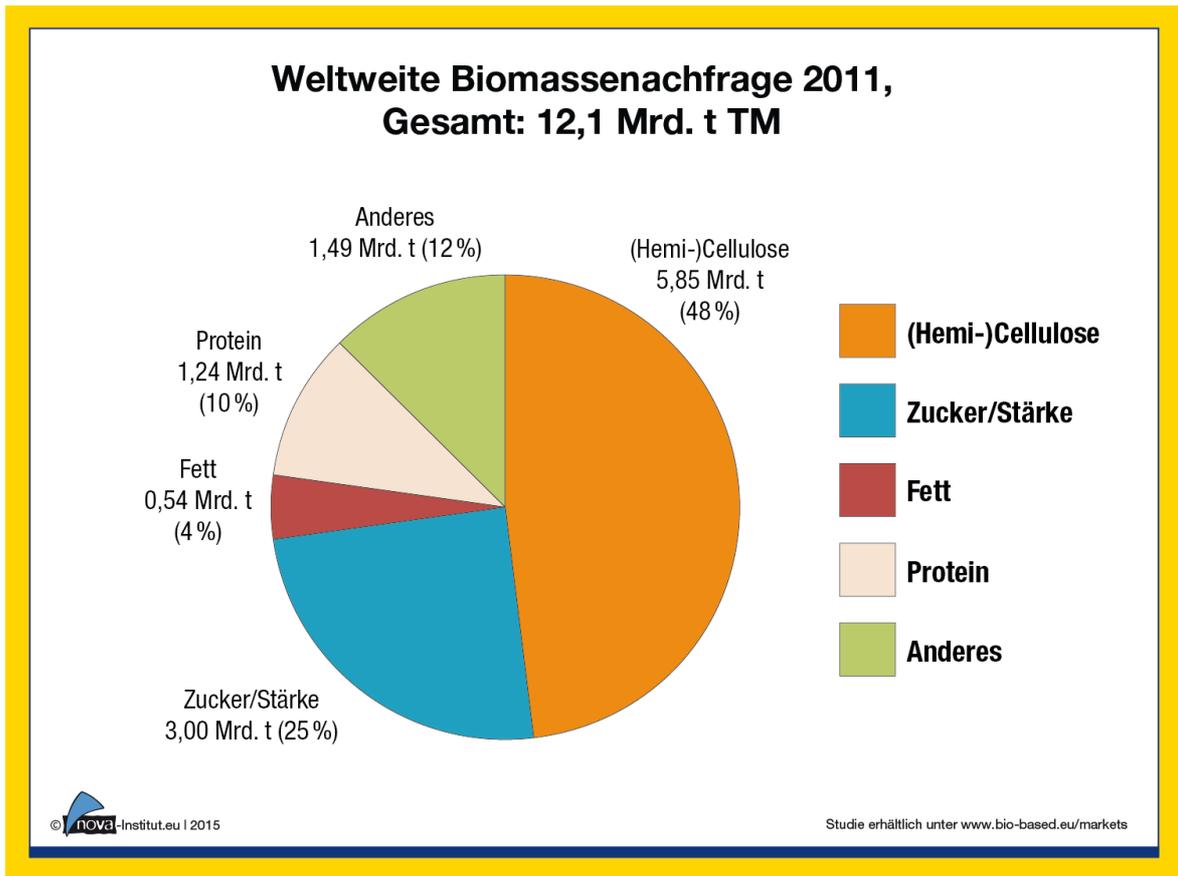


Abbildung 31: Weltweite Biomassenachfrage 2011 (nach Biomassearten) (Quellen: FAO 2014, eigene Berechnungen)

5.2.1.1 Lebensmittel

Nach den FAO *Food Balance Sheets* (FBS) betrug die weltweite durchschnittliche Nährstoffversorgung nach Abzug von Verlusten und Verschwendung bis zur Handelsstufe rund 2.868 kcal/Kopf*Tag. Die FAO berücksichtigt nur Verluste und Verschwendung (die Kategorie „Waste“ in den FBS, s. Abbildung 32) von Lebensmitteln bis zur Handelsstufe, nicht aber jene die beim Handel und beim Endkonsumenten auftreten.

Hierfür liegt jedoch eine Studie vor, die von der FAO in Auftrag gegeben wurde. Nach Gustavsson et al. 2013 betragen die weltweiten Nahrungsmittelverluste und Verschwendung von der landwirtschaftlichen Produktion bis zum Endverbraucher ungefähr 30 % der potenziellen Produktion ohne diese Verluste.

Gustavsson et al. 2013 geben auch Schätzungen an, wie sich diese Verluste und Verschwendung über die gesamte Wertschöpfungskette verteilen. Wir verwenden diese Angaben aus Gustavsson et al. 2013, um die auf jeder Wertschöpfungsstufe verfügbaren Nährstoffe abzuleiten.

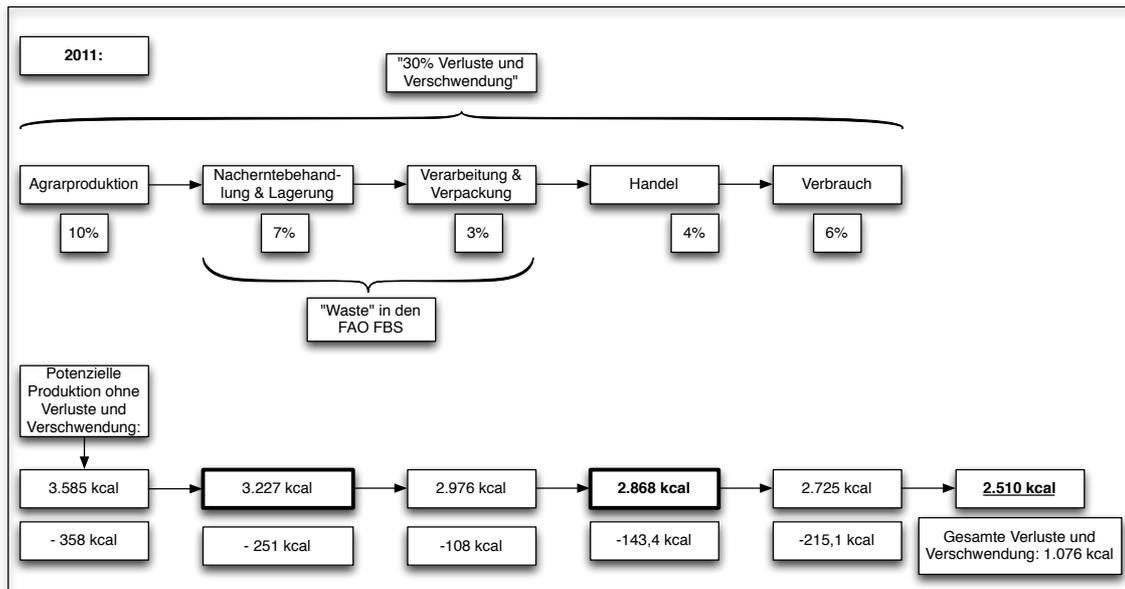


Abbildung 32: Weltweite Nahrungsmittelverluste und -verschwendung entlang der Wertschöpfungskette im Jahr 2011 (Quelle: eigene Darstellung)

Wir nehmen an, dass die Menge an verfügbaren Nährstoffen die nach Abzug von Verlusten in der landwirtschaftlichen Produktion (3.227 kcal/Kopf*Tag, siehe Abbildung 32) zur Verfügung steht der Menge der von der FAO erfassten Erntemengen entspricht die in die Wertschöpfungskette zur Nahrungsmittelproduktion gelangt.

Nach Angaben in den FBS teilte sich im Jahr 2011 die weltweite durchschnittliche Nährstoffversorgung auf in 63 % Kohlenhydrate, 26 % Fett und 11 % Protein. Darüberhinaus geben die FBS an, dass sich diese Versorgung gemäß Tabelle 17 in pflanzliche und tierische Quellen aufteilte.

Tabelle 17: Weltweite durchschnittliche Versorgung mit Nährstoffen im Jahr 2011 (Quelle: FAO Food Balance Sheets)

| | Pflanzlich | Tierisch |
|---------------|------------|----------|
| Protein | 61 % | 39 % |
| Fett | 55 % | 45 % |
| Kohlenhydrate | 97 % | 3 % |

Schließlich rechnen wir diese 3.227 kcal/Kopf*Tag in Trockenmasse pflanzlicher und tierischer Nährstoffe anhand der Aufteilung in Tabelle 17 um und addieren jeweils einen geschätzten 10 % Aufschlag für andere, nicht nährstoffrelevante Stoffe (Mineralien, Ballaststoffe).

Aus diesen Umrechnungen resultiert schließlich eine weltweite Nachfrage nach pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln von rund 1,7 Mrd. t TM bzw. 262 Mio. t TM. Während die 1,7 Mrd. t TM direkt auf der Nachfrageseite als Nachfrage nach Biomasse für pflanzliche Lebensmittel eingingen nutzen wir die Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln (262 Mio. t TM) lediglich zur Ermittlung der weltweiten durchschnittlichen Umsetzungsraten von Futtermitteln in tierische Lebensmittel. Die hierfür erforderliche

Berechnung des weltweiten Futtermittelbedarfs wird im folgenden Abschnitt 5.2.1.2 erläutert.

Basisdaten für 2011:

Im Jahr 2011 wurden weltweit etwa **1,7 Mrd. t TM** an geernteter Agrarbiomasse für die Herstellung von pflanzlichen Lebensmitteln verwendet. Die Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln betrug rund **262 Mio. t TM**.

5.2.1.2 Futtermittel

Wir berechnen die weltweite Nachfrage nach Futtermitteln auf Basis des weltweiten Nutztierbestandes nach FAOSTAT für das Jahr 2011 multipliziert mit tierart- und regionenspezifischem Futterbedarf in kg TM nach Krausmann et al. 2008.

Der von Krausmann et al. 2008 angegebene tierart- und regionenspezifische Futterbedarf war auf das Jahr 2000 bezogen. Es ist jedoch plausibel, dass zwischen 2000 und 2011 die durchschnittliche Futtereffizienz gesteigert werden konnte. Hierfür spielen eine Reihe von Faktoren eine Rolle (Züchtung, Änderung der Futterzusammensetzung, Änderungen des Produktionsverfahrens) die wir hier im Einzelnen nicht differenzieren. Schätzungen der bisherigen und zukünftigen tierart- und verfahrensspezifischen Steigerungen der Futtereffizienz finden sich in Bouwman et al. 2005 und Wirsenius et al. 2010 (s. Abbildung 33 und Abbildung 34. Wie beide Abbildungen zeigen, ergeben sich in beiden Studien ähnliche Tendenzen.

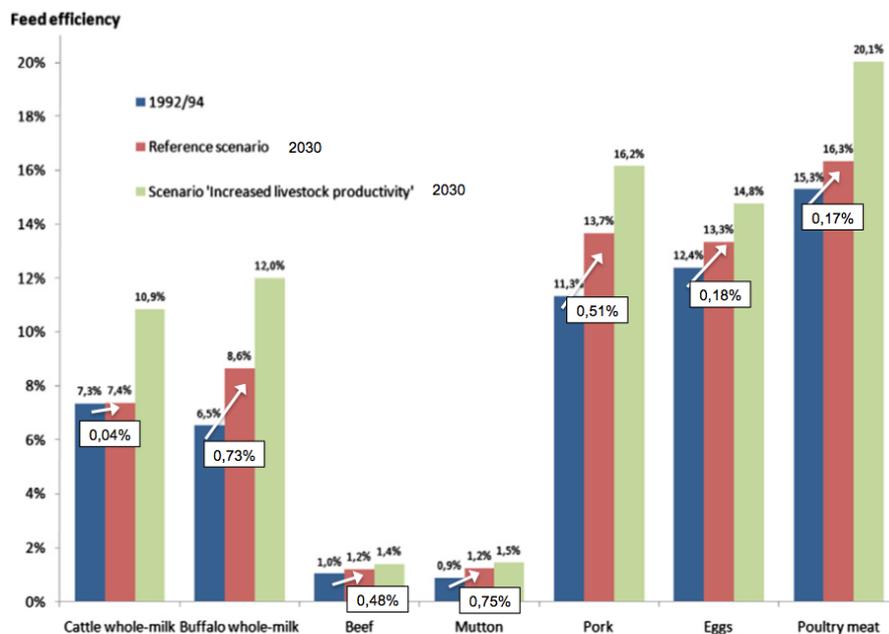


Fig. 3. Global averages of feed-to-food efficiency for major livestock systems in 1992/1994 and in scenarios for 2030. Feed efficiency is calculated as gross energy content of product output, divided by gross energy content of feed eaten. Data for 1992/1994 from Wirsenius (2000, 2003a,b).

Abbildung 33: Weltweite durchschnittliche Futtereffizienz nach Tierarten

(Quelle: Wirsenius et al. 2010, eigene Darstellung 2015) Anmerkung: Die Prozentwerte unterhalb der weißen Pfeile geben die durchschnittliche jährliche Steigerung der Futtereffizienz zwischen 1992/94 und dem Referenzszenario 2030 an.

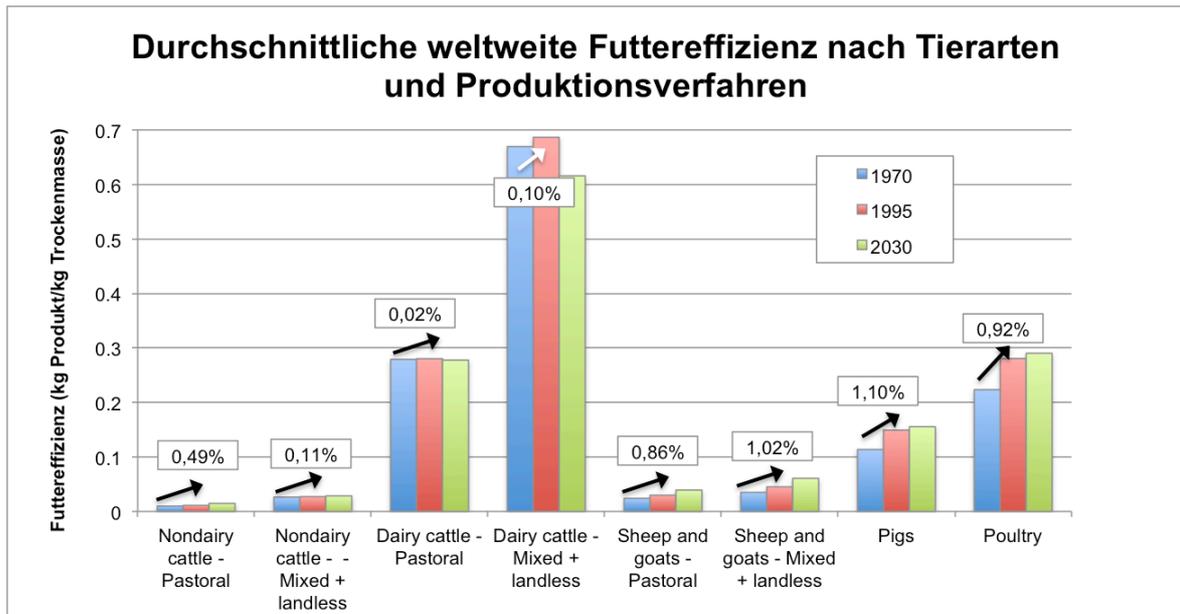


Abbildung 34: Weltweite durchschnittliche Futtereﬃzienz nach Tierarten und Produktionsverfahren (Quelle: Bouwman et al. 2005, eigene Darstellung)

Anmerkung: Die Prozentwerte geben die durchschnittliche jährliche Steigerung der Futtereﬃzienz zwischen 1970 und 1995 an.

Wie genau sich die Futtereﬃzienz im Zeitraum 2000 und 2011 entwickelt hat lässt sich allerdings auch anhand dieser beiden Studien nicht ermitteln. Da die Studie von Wirsenius et al. 2010 neueren Datums ist, nehmen wir daher an, dass die dort ermittelten tierartspezifischen Effizienzsteigerungen für den Zeitraum 1992/94 bis 2030 auch für den Zeitraum 2000 bis 2011 zutreffend sind. Eine Anwendung dieser Schätzungen führt zu einem weltweiten Futterbedarf der etwa 4 % (etwa 0,4 % p.a.) geringer ist als er unter Verwendung der ursprünglichen Angaben von Krausmann et al. 2008 gewesen wäre (etwa 7,1 Mrd. t TM gegenüber 7,4 Mrd. t TM).

Basisdaten für 2011:

Der weltweite Futtermittelbedarf betrug im Jahr 2011 etwa **7,1 Mrd. t TM**.

Wir nehmen an, dass sich dieser Futtermittelbedarf in 70 % Kohlenhydrate (39 % Cellulose/Hemicellulose, 31 % Zucker/Stärke), 15 % Protein, 5 % Fett und 10 % Anderes (Mineralien etc.) aufteilt. 15 % Proteinanteil im Futterbedarf werden z. B. auch von Speedy 2002 angenommen.

Weiterhin nehmen wir an, dass 10 % des Aufkommens an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung (s. Abbildung 32) als Futtermittel genutzt werden. Diese Nutzung der Nahrungsmittelverluste und -verschwendung reduziert die Nachfrage nach Biomasse für Futtermittel entsprechend.

Von der Menge an Nährstoffen in tierischen Nahrungsmitteln (Kohlenhydrate, Protein, Fett und Anderes) wie in Abschnitt 5.2.1.1 berechnet und dem Futterbedarf hierfür berechnen wir theoretische Umsetzungsraten für jeden Nährstoff. Die folgende Tabelle 18

zeigt die Ergebnisse dieser Umrechnung. Diese Ergebnisse sind selbstverständlich mit einer hohen Unsicherheit behaftet. Allerdings deuten mehrere Quellen darauf hin, dass die Tendenz stimmt. Zum Beispiel nennt Smil et al. 2002 typische Proteinumsetzungsraten von 4 % für Rindfleisch, 10 % für Schweinefleisch und 20 % für Geflügel.

Tabelle 18: Weltweite durchschnittliche Futtermittelleffizienz je Nährstoff (Quelle: eigene Berechnungen), *Ohne Abzug der als Futtermittel genutzten Menge an Nahrungsmittelverlusten

| | Weltweiter Futterbedarf (Mrd. t)* | Weltweite Nachfrage nach tierischen Nährstoffen (Mrd. t) | Errechnete Umsetzung von Futtermitteln in tierische Nährstoffe (%) |
|---------------|-----------------------------------|--|--|
| Protein | 1,066 | 0,090 | 8,46 |
| Fett | 0,355 | 0,107 | 30,06 |
| Kohlenhydrate | 4,975 | 0,039 | 0,78 |
| Zucker/Stärke | 1,462 | | |
| Cellulose | 3,513 | | |
| Anderes | 0,711 | 0,026 | 3,69 |
| Gesamt | 7,107 | 0,262 | 3,69 |

5.2.1.3 Stoffliche Nutzung

Als Sektoren der Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung berücksichtigen wir die Chemische Industrie einschließlich der Kunststoffindustrie (Pflanzenöle und tierische Fette, Chemiezellstoff, Zucker/Stärke und Anderes), Bau und Möbel (Holz), die Papier- und Zellstoffindustrie und Textilien (Naturfasern). Zusätzlich berücksichtigen wir den Bedarf an Tiereinstreu (hauptsächlich Getreidestroh) als stoffliche Nutzung. Tabelle 19 zeigt die Ergebnisse für die weltweite Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung im Jahr 2011 (insgesamt etwa 1,26 Mrd. t TM).

Tabelle 19: Weltweite Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung (in Mio. t TM) (Quellen: siehe Text)

| | Cellulose/ Hemicellulose | Stärke und Zucker | Fett | Natur- kautschu k | Lignin | Glycerin | Anderes |
|--|-----------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|--------------|------------|------------|
| Chemische Industrie | | | | | | | |
| Pflanzenöle | - | - | 14,0 | - | - | - | - |
| Tierische Fette | - | - | 4,0 | - | - | - | - |
| Chemiezellstoff | 3,8 | - | - | - | - | - | - |
| Stärke/Zucker | - | 9,0 | - | - | - | - | - |
| Bioethanol (Stärke-Äq.) | - | 9,0 | - | - | - | - | - |
| Naturkautschuk | - | - | - | 11,0 | - | - | - |
| Glycerin | - | - | - | - | - | 3,0 | - |
| Anderes* | - | - | - | - | - | - | 5,0 |
| Bau und Möbel (Holz und Bambus) | 476,3 | - | - | - | 45,7 | - | - |
| Papier und Zellstoff | | | | | | | |
| Papierstärke | - | 6,9 | - | - | - | - | - |
| Verpackungen (Papier, Pappe etc. in Holz-Äq.) | 186,8 | - | - | - | 7,6 | - | - |
| Stroh als Tiereinstreu | 355,3 | - | - | - | 88,8 | - | - |
| Textilien (Naturfasern) | 35,0 | - | - | - | - | - | - |
| Gesamt | 1.057,5 | 24,9 | 18,0 | 11,0 | 142,1 | 3,0 | 5,0 |

- * e.g. pflanzl. Wachse, Harze, Gerbstoffe, Proteine und Medizinalpflanzen

Abbildung 35 zeigt zusammenfassend die Aufteilung der weltweiten stofflichen Nutzung nach Sektoren. Im Folgenden wird die Herleitung dieser Zahlen im Einzelnen erläutert.

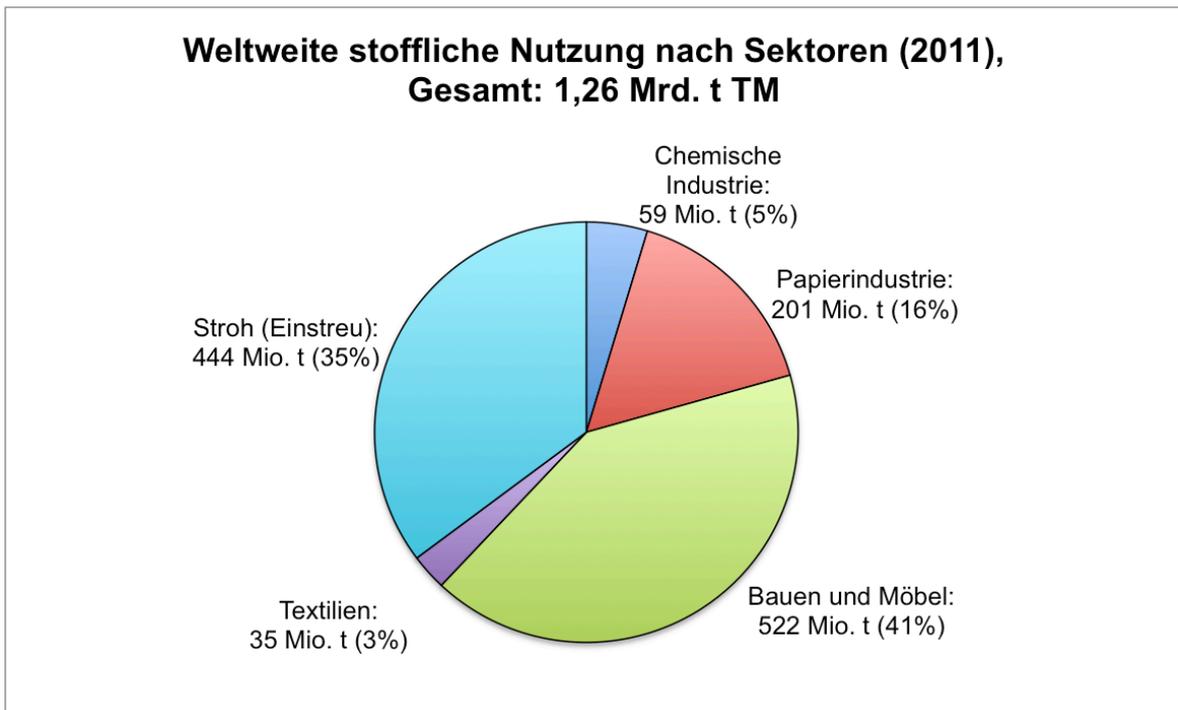


Abbildung 35: Weltweite stoffliche Nutzung nach Sektoren (2011) (Quellen: siehe Text)

Bau und Möbel

Die in Tabelle 19 gezeigten Mengen ergeben sich aus der FAO-Datenbank ForesSTAT als Summe der Mengen an Sägeholz sowie Furnier- und Sperrholz und Spanplatten.

Papier und Zellstoff

Die Abschätzung zur weltweiten Verwendung von Papierstärke (6,9 Mio. t) beruht auf der Angabe in Ullmann's Encyclopedia 2012 (S. 2), dass der Massenanteil von Papierstärke in der weltweiten Papier- und Pappenproduktion (nach FAOSTAT rund 403 Mio. t im Jahr 2011) etwa 1,7 % beträgt.

Die in Tabelle 19 angegebene Nachfrage nach Holz für Verpackungen (Papier und Pappe) beruht auf der Annahme, dass die in ForesSTAT genannte Produktionsmenge an chemisch aufgeschlossenem Zellstoff (*chemical wood pulp*) nach ForesSTAT zu 100 % in die Papierindustrie geht und dieser zu 100 % mit Cellulose gleichgesetzt werden kann. Hinzu kommt mechanisch aufgeschlossener Zellstoff (*mechanical wood pulp*). Die Annahme hierbei ist, dass mechanisch aufgeschlossener Zellstoff zu 90 % aus Cellulose besteht und noch 10 % Lignin enthält.

Stroh als Tiereinstreu

Nach Méo 2014 beträgt die Strohnutzung als Tiereinstreu in Deutschland circa 5 Mio. t jährlich. Da weder für die EU-27 noch für Welt entsprechende Angaben vorliegen, nehmen wir an dass der Strohbedarf eng mit dem Futtermittelbedarf des Nutztierbestandes korrelieren müsste. Bei einem Futtermittelbedarf des deutschen Nutztierbestandes von etwa 80 Mio. t (DVT 2014) kann man demnach einen durchschnittlichen Strohbedarf von 63,5 kg je Tonne Futterbedarf annehmen. Diesen rechnen wir auf den weltweiten Futterbedarf von rund 7,1 Mrd. t TM hoch und nehmen somit einen weltweiten Strohbedarf von 444 Mio. t TM an.

Textilien

Die in Tabelle 19 gezeigten Menge von 35 Mio. t Naturfasern ergibt sich durch Addition der Mengen an Wolle, Baumwolle und anderen Naturfasern sowie der Menge an Cellulosefasern (siehe auch Anhang I).

Basisdaten für 2011:

Der weltweite Biomassebedarf für die stoffliche Nutzung betrug im Jahr 2011 etwa **1,26 Mrd. t TM**.

5.2.1.4 Chemische Industrie

Rohstoffbedarf der Chemischen Industrie im Jahr 2010

Welt, Europa und Deutschland

Unsere Abschätzung zum weltweiten Verbrauch der Chemischen Industrie an organischen Rohstoffen in 2010 liegt bei insgesamt 590 Mio. t (Erdöläquivalente), gedeckt durch Erdöl (68 %), Erdgas (21 %), Kohle (1 %) und Biomasse (10 %). Eine fast ebenso große Masse kommt noch einmal an mineralischen Rohstoffen hinzu, um den Gesamtbedarf zu decken.

Während der Bearbeitung erstaunte es, wie schwierig es ist, den Gesamtrohstoffbedarf der weltweiten Chemischen Industrie abzuschätzen – die verfügbaren Quellen streuen erheblich. Nach UNEP (2013) werden weltweit insgesamt 360 Mio. t Erdöl und Erdgas für Chemikalien eingesetzt, nach Kircher (2014) sind es 310 Mio. t Erdöl, Cayuela (Jahr) kommt in seiner Analyse auf nur 119,5 Mio. t Erdöläquivalente. Und nach OPEC (2013) gehen dagegen allein an Erdöl 400 Mio. t in den Chemiebereich.

In Tabelle 20 sind die Mengen für das Jahr 2010 zusammengestellt – einige sehr starke Unterschiede relativieren sich, wenn man die erste Spalte der Tabelle 20 genauer betrachtet: Die Mengen beziehen sich auf recht unterschiedliche Rohstoffe bzw. Sektoren.

Tabelle 20: Organischer Rohstoffbedarf der Chemischen Industrie weltweit (2010 +/- 2 Jahre)

| Sektor | Volumen in Millionen t | Quelle |
|---|---|---|
| Ölbedarf der weltweiten petrochemischen Industrie (inkl. Energie) | 400 | OPEC 2013 |
| Ölverbrauch der chemischen Industrie | 310 | Kircher 2014 |
| Produktionsvolumen der sieben wichtigsten Building-blocks, Olefinen (Methanol, Ethylen, Propylen, Butadien) und Aromaten (Xylole, Benzole, Toluole) | 360 (Olefine 257.5, Aromaten 102.5) | UNEP 2013 and Davis 2011 |
| Petrochemische Rohstoffe für Olefine (Methanol, Ethylen, Propylen, Butadien) | 120 | Cayuela 2013 |
| Gesamter Rohstoffbedarf für die chemische Industrie (Öl, Gas, Kohle, Biomasse) (inkl. Energie) | 590 | nova 2015, basierend auf OPEC 2013 und Cefic 2014 |

Unsere eigene Abschätzung basiert zunächst auf den neuesten OPEC-Daten für das Jahr 2010. Tabelle 21 zeigt, in welchen Sektoren Erdöl – die 4,03 Mrd. t (Engl.: billion tonnes) Erdöläquivalente – im Jahr 2010 genutzt wurden.

Tabelle 21 : Verwendung des Erdöls in verschiedenen Sektoren weltweit in 2010
(Quelle: OPEC 2013)

| Sektor | Rohöl in % Gesamtmenge 2010: 4,03 Mrd. t |
|---|---|
| Transport | 52 |
| Industrie gesamt | 26 |
| - Petrochemische Industrie (Olefine und Aromaten) | 10 = ca. 400 Millionen t Öläquivalente |
| - Andere Industrien: Eisen und Stahl, Glas und Zement, Bau, Minen | 16 |
| Wohnen/Handel/Landwirtschaft | 11 |
| Stromerzeugung | 6 |
| Andere (inkl. Asphalt ?) | 5 |
| Summe | 100 |

Die Chemische Industrie verwendete im Jahr 2010 demnach eine Menge an Erdöl von 400 Mio. t Erdöläquivalenten um ihren materiellen und energetischen Rohstoffbedarf zu decken². Angaben von Cefic 2014 und Benzing 2014 wurden genutzt, um Abschätzungen für die zusätzlich genutzten Rohstoffe Erdgas, Kohle und Biomasse zu erzielen.

Die Tabelle 22 gibt einen Überblick über die Rohstoffnachfrage der Chemischen Industrie weltweit, in Europa und in Deutschland. Die Daten für Europa stammen von Benzing 2014 und Cefic 2014 und dienen als Basis zur Abschätzung der weltweiten Zahlen. Hierbei erfolgte ein Abgleich mit der nach FAOSTAT tatsächlich produzierten Biomasse. Biomasse deckt so im Jahr 2010 weltweit und in Europa etwa 10 % des Rohstoffbedarfs der Chemischen Industrie, in Deutschland laut Schmitz et al. 2014 und VCI 2013 sogar 13 %. Die Prozentangaben sind allerdings mit Vorsicht zu genießen, da es keine scharfe Abgrenzung der Chemischen Industrie gibt. Zum Teil ist in den Quellen deshalb auch von der chemisch-technischen Industrie die Rede, was aber eine Prozentangabe noch schwieriger macht. So zählt beispielsweise die Naturkautschuk-Industrie nicht im klassischen Sinne zur Chemischen Industrie.

² Auf Basis der OPEC-Daten exakt den Anteil stofflicher Nutzung zu identifizieren ist schwierig. Zum einen weil in den Zahlen für die Petrochemie auch die energetische Nutzung mit einbezogen ist, zum anderen, weil sich unter „Andere“ auch noch stoffliche Nutzungen wie die Produktion von Asphalt verstecken können.

Ferner wird in den Berechnungen davon ausgegangen, dass Biomasse Erdöl im Verhältnis 1:1 ersetzen kann. Dies ist aber für Drop-in-Chemikalien oder -Polymere (s. Kapitel 6.2.1.3) nicht der Fall; hier können die doppelten Mengen an Biomasse erforderlich sein. Bei neuen dedizierten Prozessen und neuen bio-basierten Chemiebausteinen ist eine 1:1-Substitution (bezogen auf das Volumen des finalen Produkts) dagegen durchaus realisierbar und wird bis 2050 als die dominante Option der bio-basierten Chemie angenommen.

Tabelle 22: Rohstoffbedarf der Chemischen Industrie in Deutschland (2011), Europa (2011) und der Welt (2010) (Quelle: eigene Darstellung)

| | Deutschland 2011 | Deutschland 2011 | EU-27 2011 | EU-27 2011 | Welt 2010 | Welt 2010 |
|--|--------------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------|--|--------------|
| | in 1.000 t | in % | in 1.000 t | in % | in 1.000 t | in % |
| | Schmitz et al. 2014, VCI 2013a | | Beinzing2014, Cefic 2014 | | nova 2015, OPEC 2014, Cefic 2014 | |
| Gesamt Fossile | 21.419 | 100 | 90.310 | 100 | 590.000 | 100 |
| Mineralöl und -derivate | 15.200 | 71 | 61.210 | 68 | 400.000 | 68 |
| Erdgas | 3.000 | 14 | 19.200 | 21 | 125.000 | 21 |
| Kohle | 500 | 2 | 1.340 | 1 | 6.000 | 1 |
| Nachwachsende Rohstoffe | 2.719 | 13 | 8.560 | 9 | 59.000 | 10 |
| | | 100 | | 100 | | 100 |
| Pflanzliche Öle | 1.000 | 37 | 1.570 | 18 | 14.000 | 24 |
| Tierische Fette | 210 | 8 | 500 | 6 | 4.000 | 7 |
| Chemiezellstoff | 401 | 15 | 890 | 10 | 4.000 | 7 |
| Stärke | 187 | 7 | 1.560 | 18 | 8.600 | 15 |
| Zucker | 60 | 2 | | | | |
| Bioethanol (Stärke-/Zucker-Äq.) | 131 | 5 | 1.590 | 19 | 8.800 | 15 |
| Naturkautschuk | 270 | 10 | 1.240 | 14 | 11.000 | 19 |
| Glycerin | 171 | 6 | 470 | 5 | 3.000 | 5 |
| Andere (Pflanzenwachse, Naturharze, Gerbstoffe, Proteine, Heilpflanzen) | 289 | 11 | 740 | 9 | 5.000 | 8 |

Petrochemie

Eine nur kleine Anzahl von organischen Basischemikalien dient als Ausgangsmaterial für Zehntausende von chemischen Produkten. Dabei dienen nur sieben Basischemikalien als Ausgangsmaterial für eine Reihe von Schlüssel-Chemikalien. Jede dieser Schlüssel-Chemikalien ist wiederum Ausgangspunkt für eine Vielzahl von chemischen Endprodukten. Abbildung 36 und Tabelle 23 geben einen Gesamtüberblick über die Basischemikalien, ihre Downstream-Prozesswege und Endprodukte.

“Petrochemical Industry: Ethane and naphtha are the main feedstocks in the petrochemical industry. While ethane is an NGL, naphtha is derived from crude oil. Ethylene, propylene and aromatics are the main products of the petrochemical industry.”

They are produced mainly by the steam cracking of either crude oil-based feedstocks, such as naphtha and gas oil, or natural gas based ethane. For the production of ethylene, ethane is preferred to naphtha as a feedstock. This is because ethane is always cheaper than naphtha and yields mainly ethylene. Moreover, the infrastructure costs of setting up an ethylene plant based on naphtha is much higher. Nevertheless, naphtha is used when ethane is not locally available or when the feedstock has to be sourced from distant locations.” (OPEC 2013, p. 100-101)

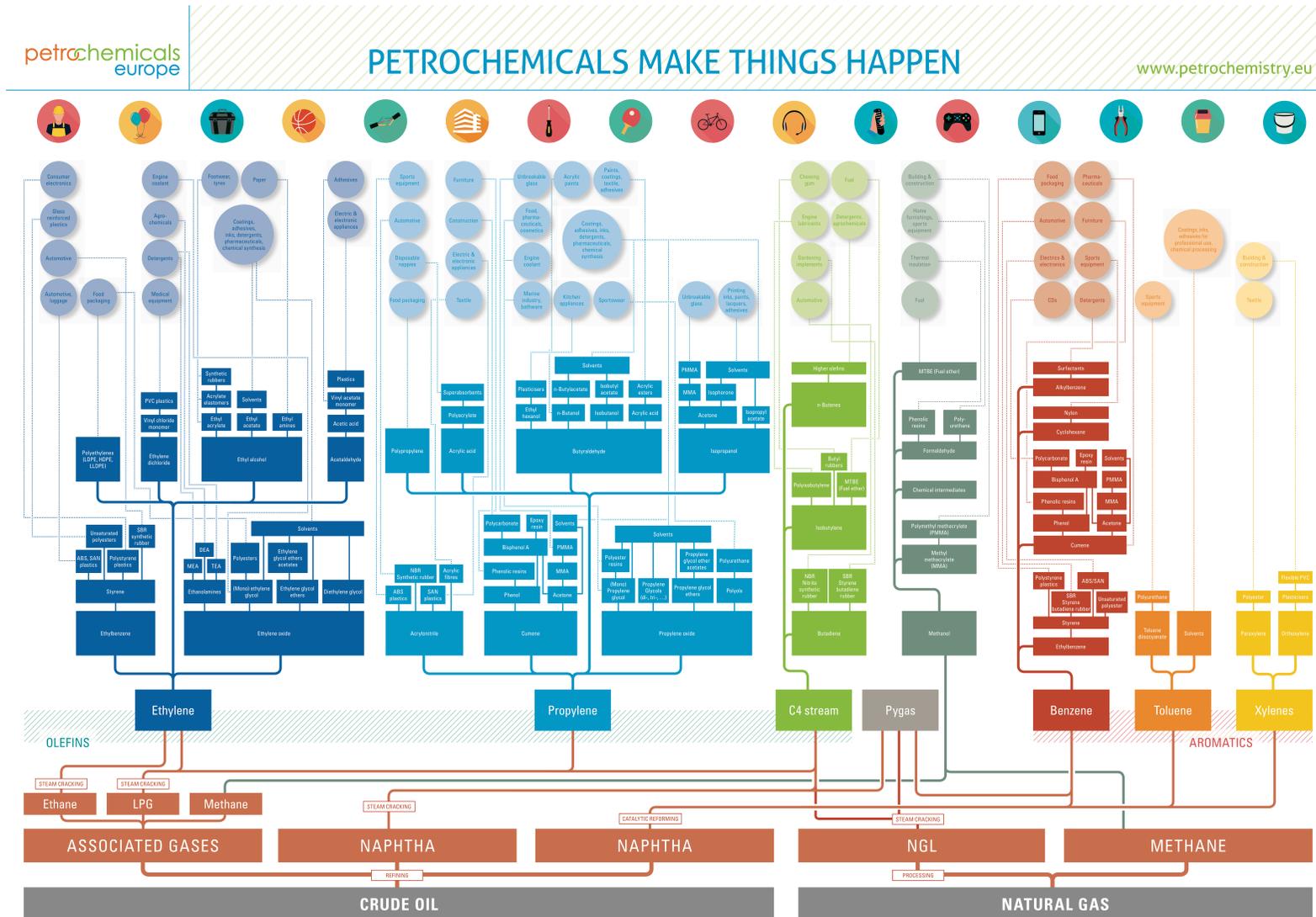


Abbildung 36 Petrochemikalien aus Rohöl und Erdgas (Quelle: www.petrochemistry.net, Abruf: 2015-03-07)

Tabelle 23: Die sieben wichtigsten organischen Massenchemikalien und ihre vielfältigen Anwendungen (Quelle: UNEP 2013)

| Table 2. Bulk Organic Chemicals and their Downstream Products: Examples | | | |
|---|---|---|---|
| Bulk Chemical | Sample chemical products | Sample downstream or intermediate products | Sample final products |
| Methanol | Formaldehyde | Phenol formaldehyde | Resins used in plywood and particle board |
| | Acetic acid | | Latex, paints, coatings, adhesives, textile finishing |
| | Chloromethanes | | Electronics, metal cleaning, paint remover, silicones, insulation |
| | Methylmethacrylate | | Glazing, acrylics |
| Olefins | | | |
| Ethylene | Ethylene dichloride | Vinyl chloride monomer (VCM) | Polyvinyl chloride (PVC) used to make siding, window frames, pipes, other consumer products |
| | Ethylbenzene | Styrene | Polystyrene (cups, insulation); styrene acrylonitrile resins (instrument lenses, houseware); styrene butadiene rubber (tires, footwear, sealants); styrene butadiene latex (carpet backing, paper coatings) |
| | Low Density Polyethylene (LDPE), Linear Low Density Polyethylene (LLDPE), High Density Polyethylene (HDPE) | | Food packaging, plastic bags, toys, housewares, containers, bottles, and other consumer products made from HDPE, LDPE, or LLDPE |
| | Ethylene oxide | Ethylene glycol | Antifreeze; fibers (clothing, carpets); polyester resin (bottles and other consumer items) |
| Propylene | Polypropylene | | Polypropylene used to make resins (automobile components, packaging, rope) and fibers (carpets, matting) |
| | Propylene oxide | Propylene glycol | Polyesters (furniture, boats, fibers, compounds used in automobiles) |
| | Isopropyl alcohol | Acetone | Methyl methacrylate, used to make plastics, signs, paints, lenses, lighting panels. Isopropyl alcohol used directly in solvents, coatings, cosmetics, and health care applications. |
| Butadiene | Styrene butadiene rubber; polybutadiene rubber; styrene-butadiene latex; ABS resins; chloroprene rubber; nitrile rubber | | Styrene butadiene rubber used in tires, footwear; polybutadiene rubber used in tires, golf balls; styrene-butadiene latex used in carpet backing, adhesives; ABS resins used in automotive parts, spas; chloroprene rubber used in gaskets, seals, hoses; nitrile rubber used in shoes, hoses, gaskets. |
| Aromatics | | | |
| Xylenes | o-xylene | Phthalic anhydride, polyester polyol | Plasticizers; resins used auto parts, coatings, furniture; urethanes used in foams and insulation |
| | p-xylene | Isophthalic acid | Polyamide resins used in adhesives |
| | m-xylene | Terephthalic acid | Polyester fibers used in apparel; polyethylene terephthalate (PET) used in bottles, film and other products |
| Benzene | Ethylbenzene | Styrene | See styrene products listed above |
| | Cumene | Phenol | Bisphenol A, used to make polycarbonate resins (eyeglasses, containers, computers) and epoxy resins (coatings, adhesives); phenolic resins, used in plywood and other applications |
| | Cyclohexane | Caprolactam | Nylon fibers & resins |
| | Aniline | Isocyanates; rubber chemicals; pesticides; dyes | |
| | Chlorobenzenes | | Pesticides, dyes |
| Toluene | Benzene, xylene – see above | | |
| | Toluene diisocyanate | | Urethane foams used in bedding, insulation; urethane elastomers used in footwear; urethane coatings used in varnishes, adhesives, sealants. |
| | Solvents | | |

Die nächste Tabelle zeigt die Produktionsmengen der genannten sieben Basischemikalien der Petrochemie, die sich weltweit im Jahr 2010 auf 360 Mio. t addieren, den Zuwachs in den letzten 20 Jahren und die Verschiebung der Produktion von den westlichen Industriestaaten (und Japan) hin zum Rest der Welt – vor allem Asien (ohne Japan).

Tabelle 24: Produktionsvolumen und Trends für die sieben wichtigsten organischen

| Table 3. Global Production of Bulk Organic Chemicals: Changes in Geographic Distribution, 1990-2010 | | | | | | | |
|---|-----------|---|--|--|------|-----------------------------|------|
| Chemical category | Chemical | Global production in 2010 (millions of metric tons) | % Increase in global production, 1990-2010 | % produced in US, Western Europe & Japan | | % produced in Rest of World | |
| | | | | 1990 | 2010 | 1990 | 2010 |
| | Methanol | 49.1 | 143% | 30% | 6% | 70% | 94% |
| Olefins | Ethylene | 123.3 | 117% | 66% | 41% | 34% | 59% |
| | Propylene | 74.9 | 154% | 73% | 45% | 27% | 54% |
| | Butadiene | 10.2 | 62% | 65% | 48% | 35% | 52% |
| Aromatics | Xylenes | 42.5 | 199% | 64% | 35% | 36% | 65% |
| | Benzene | 40.2 | 80% | 66% | 44% | 34% | 56% |
| | Toluene | 19.8 | 85% | 64% | 39% | 36% | 61% |

Basische-Chemikalien in 1990 und 2010 (Quelle: UNEP 2013)

Die nächste Tabelle zeigt die größten Produzenten und Abnehmer der sieben wichtigsten Basis-Chemikalien weltweit und die übernächste die erwarteten Wachstumsraten pro Chemikalie und Region.

Tabelle 25: Basischemikalien: Größte Produzenten und Abnehmer (Quelle: UNEP 2013)

| Table 4. Bulk Organic Chemicals: Largest Producers and Consumers | | | |
|--|--------------------------------|--|--|
| Chemical category | Chemical [year*] | Largest producers (% of global total) in most recent year for which data are available | Largest consumers (% of global total) ⁶³ in most recent year for which data are available |
| | Methanol ⁶⁴ [2010] | China (32%), Middle East (29%) | China (41%), Western Europe (13%) |
| Olefins | Ethylene ⁶⁵ [2010] | United States (19%), Africa and the Middle East (17%), Western Europe (16%) | United States (19.3%), Western Europe (16.3%), Africa and the Middle East (15.9%) |
| | Propylene ⁶⁶ [2010] | United States (18%), China (16%) | United States (19%), China (18%) |
| | Butadiene ⁶⁷ [2009] | Western Europe (22%), Other Asia (19%), United States (18%), China (16%) | United States (22%), Western Europe (20%), Other Asia (18%), China (16%) |
| Aromatics | Xylenes ⁶⁸ [2009] | Republic of Korea (15%), China (15%), United States (13%), Japan (13%) | China (17%), Republic of Korea (15%), United States (11%), Japan (11%) |
| | Benzene ⁶⁹ [2008] | Western Europe (20%), United States (14%), Japan (13%), China (13%) | Western Europe (23%), United States (18%), China (13%), Japan (11%) |
| | Toluene ⁷⁰ [2009] | China (18%), United States (17%) | China (22%), United States (18%) |

Tabelle 26: Basis-Chemikalien: Prognostiziertes durchschnittliches Wachstum der Nachfrage in verschiedenen Regionen (Quelle: UNEP 2013)

| Table 5. Bulk Organic Chemicals: Predicted Average Annual Consumption Growth | |
|---|---|
| Bulk Organic Chemical (period for which estimated growth rates are available) | Regions and countries with highest predicted growth (average annual growth, rounded to nearest whole number)* |
| Methanol (2010-2015) ⁷¹ | Africa (27%); China (16%); Middle East (11%); Central and South America ⁷² (7%) |
| Ethylene (2009-2014) ⁷³ | China (10%); Africa & the Middle East (9%); Singapore (8%) |
| Propylene (2010-2015) ⁷⁴ | Middle East (14%); China (10%); CIS (10%); India (8%) |
| Butadiene (2009-2013) ⁷⁵ | China (9%); Central and South America ⁷⁶ (3%) |
| Xylenes (2009-2014) ⁷⁷ | Mexico (59%); South America (18%); China (13%); Middle East (12%); India (6%) |
| Benzene (2008-2013) ⁷⁸ | Middle East ⁷⁹ (14%); China (11%); Central and South America ⁸⁰ (8%); Other Asia ⁸¹ (7%) |
| Toluene (2009-2014) ⁸² | India (14%); Other Asia ⁸³ (13%); China (7%) |

Bio-basierte Chemikalien (Building-blocks)

Schon heute gibt es neben den petrochemischen Basis-Chemikalien und Building-blocks eine relevante und rasch wachsende bio-basierte Chemie mit ihren eigenen, neuen Building-blocks, aus denen ebenso eine Vielzahl von Produkten hergestellt werden können. Eine aktuelle Studie des nova-Instituts hat die wichtigsten bio-basierten Building-blocks identifiziert und die installierten Produktionskapazitäten im Jahr 2013 erhoben.

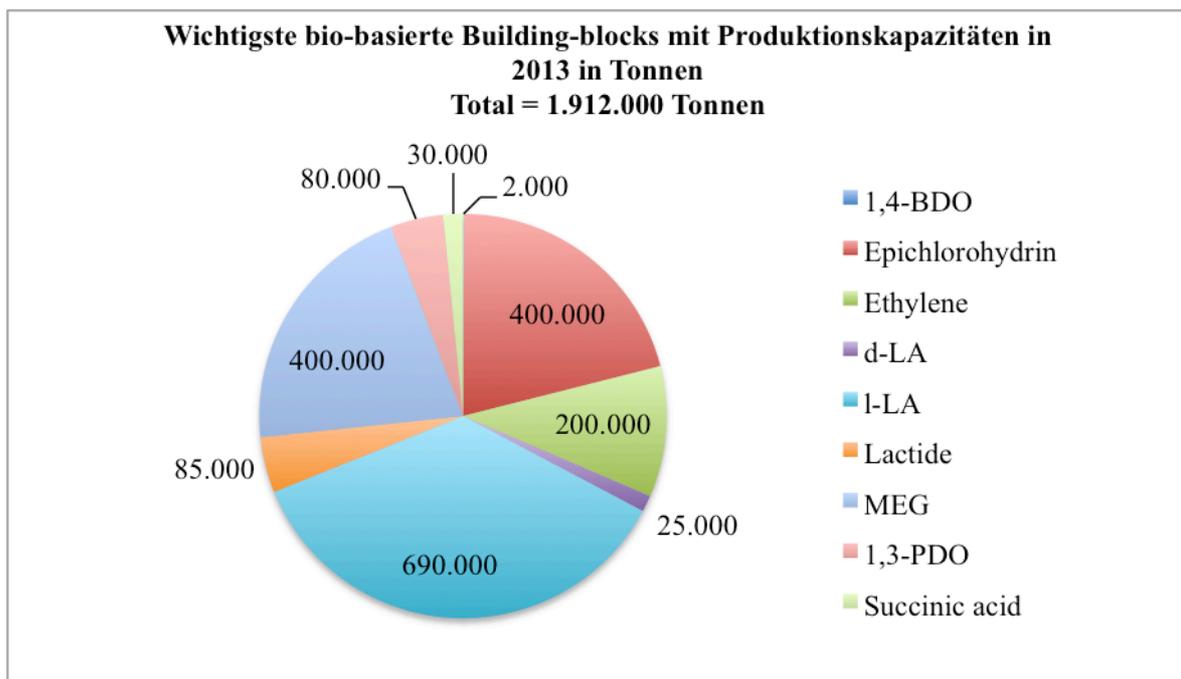


Abbildung 37: Wichtigste bio-basierte Building-blocks mit Produktionskapazitäten in 2013 in Tonnen. Total = 1.912.000 Tonnen (Quelle: Aeschelmann et al. 2015)

Deutschland im Detail

Der Rohstoffeinsatz der deutschen chemischen Industrie lag im Jahr 2007 bei 39,37 Mio. t und wird vom Verband der Chemischen Industrie als „abiotisches Primärmaterial“ bezeichnet. Darauf entfallen (VCI 2013):

- 19,1 Mio. t fossile Rohstoffe (Erdölderivate, Erdgas und Kohle für die stoffliche Nutzung (Quellen: VCI-Primärchemikalienerfassung und Energiestatistik, Destatis)
- 20,27 Mio. t mineralische Rohstoffe (Destatis).
- Aktuellere Werte (2011) liegen nur für die fossilen Rohstoffe und die nachwachsenden Rohstoffe (FNR-Schätzung) vor, aber nicht für die mineralischen Rohstoffe. Damit ergeben sich die Gesamtmengen wie folgt:
- 18,9 Mio. t (45,1 %) fossile Rohstoffe (Erdölderivate, Erdgas und Kohle, nur stofflich) (2011)
- 20,27 Mio. t (48,4 %) mineralische Rohstoffe (Wert aus dem Jahr 2007 übernommen)
- 2,7 Mio. t (6,4 %) nachwachsende Rohstoffe (2011)
- **Total: 41,87 Mio. t**

Die in der Tabelle 22 verwendeten Daten aus Schmitz et al. 2014 stimmen mit den hier genannten VCI 2013 nahezu überein.

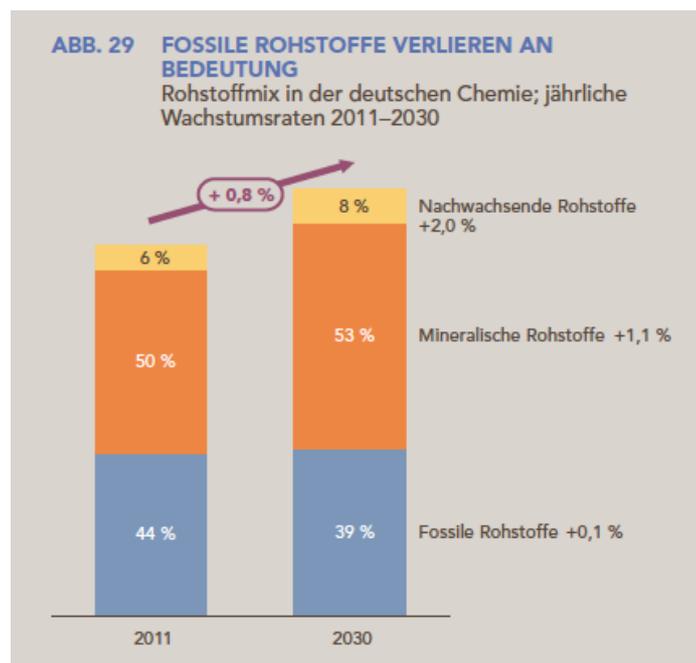


Abbildung 38: Rohstoffmix in der deutschen Chemie; jährliche Wachstumsraten 2011-2030 (Quelle: VCI 2013)

Nachwachsende Rohstoffe werden in Zukunft eine größere Rolle spielen, da sie besonders bei der Herstellung von Spezialchemikalien zum Einsatz kommen. Diese Chemiesparten weisen in den kommenden Jahren ein höheres Wachstum auf als die organischen Grundstoffe und die Standardpolymere. Schätzungen zufolge wird die chemische Industrie bis zum Jahr 2030 mindestens 50 Prozent mehr nachwachsende Rohstoffe einsetzen als heute. Dies ist nur eine Untergrenze, da zusätzliches Potenzial mit Blick auf die Biokunststoffe

besteht. Durchschnittlich wird der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen im Prognosezeitraum mit mindestens 2 Prozent jährlich steigen, während der Einsatz von mineralischen Rohstoffen mit 1,1 Prozent jährlich und der fossiler Rohstoffe mit sogar nur 0,1 Prozent jährlich wachsen wird. Mineralien bleiben damit aber die wichtigste Rohstoffquelle der Chemie. Ihr Anteil steigt sogar auf deutlich über 50 Prozent. Fossile Rohstoffe verlieren dagegen mit einem Anteil von knapp 40 Prozent stark an Gewicht.

Wie die nächste Abbildung zeigt, steigerte die deutsche Chemie im Prognosezeitraum ihre Rohstoff- und Energieeffizienz. Weil viele Prozesse jedoch bereits optimiert sind, ist das zukünftige Effizienzpotenzial gering. Absolute Senkungen des Verbrauchs sind daher nur durch weniger Wachstum zu erreichen (VCI 2013).

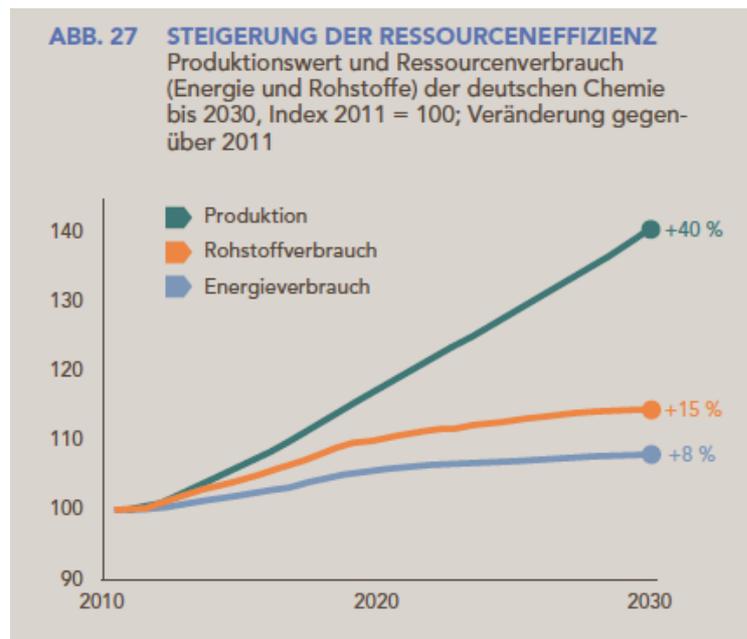


Abbildung 39: Steigerung der Ressourceneffizienz der deutschen Chemie (Quelle: VCI 2013)

Die letzte Grafik zeigt die verschiedenen jährlichen Wachstumsraten für unterschiedliche Sektoren der Chemischen Industrie und für die Welt und Deutschland. In unseren Annahmen gehen wir davon aus, dass der Rohstoffbedarf der Chemischen Industrie bis 2050 in Europa und Deutschland halb so schnell wächst wie weltweit.

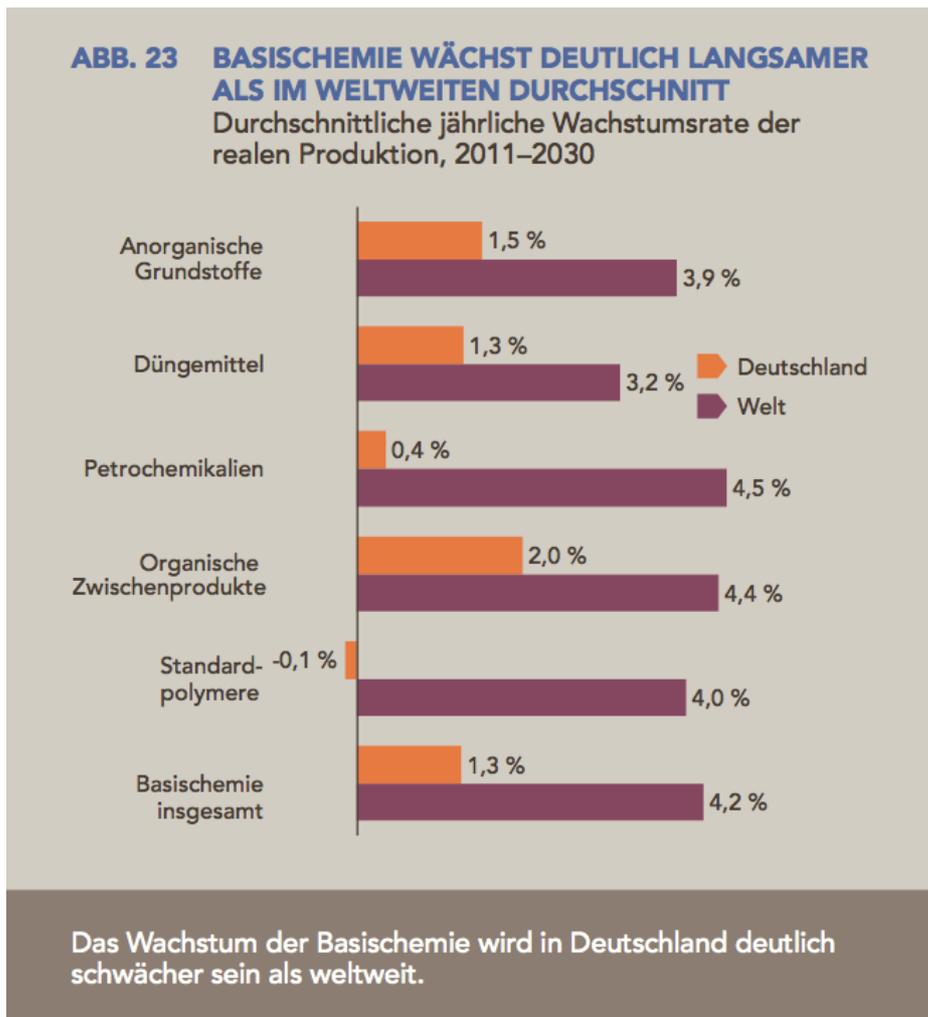


Abbildung 40: Wachstum der Basischemie in Deutschland und der Welt (Quelle: VCI 2013)

Volumen der Kunststoffindustrie im Jahr 2010 weltweit

Die Chemische Industrie hat im Jahr 2010 etwa 590 Mio. t organische Rohstoffe (Erdöl, Erdgas, Biomasse und Kohle) eingesetzt; aus einem großen Teil davon wurden Polymere bzw. Kunststoffe hergestellt: **Im Jahr 2012 waren dies etwa 300 Mio. t Kunststoffe.** Der Anteil der Menge an Kunststoffen am Gesamtrohstoffbedarf der Chemie liegt dabei allerdings niedriger als es zunächst scheint: Nicht bei 50 % (300 Mio. t Kunststoffe zu 590 Mio. t Organische Chemie), sondern wegen anorganischer Anteile und Füllstoffe höchstens bei etwa 1/3 (s. Details unten).

Die angegebene Menge von 300 Mio. t Kunststoffen basiert auf den jährlichen Erhebungen des Branchenverbandes PlasticsEurope und wurde vom nova-Institut leicht angepasst. Die folgende Grafik wurde zuletzt im Jahr 2013 von PlasticsEurope publiziert:

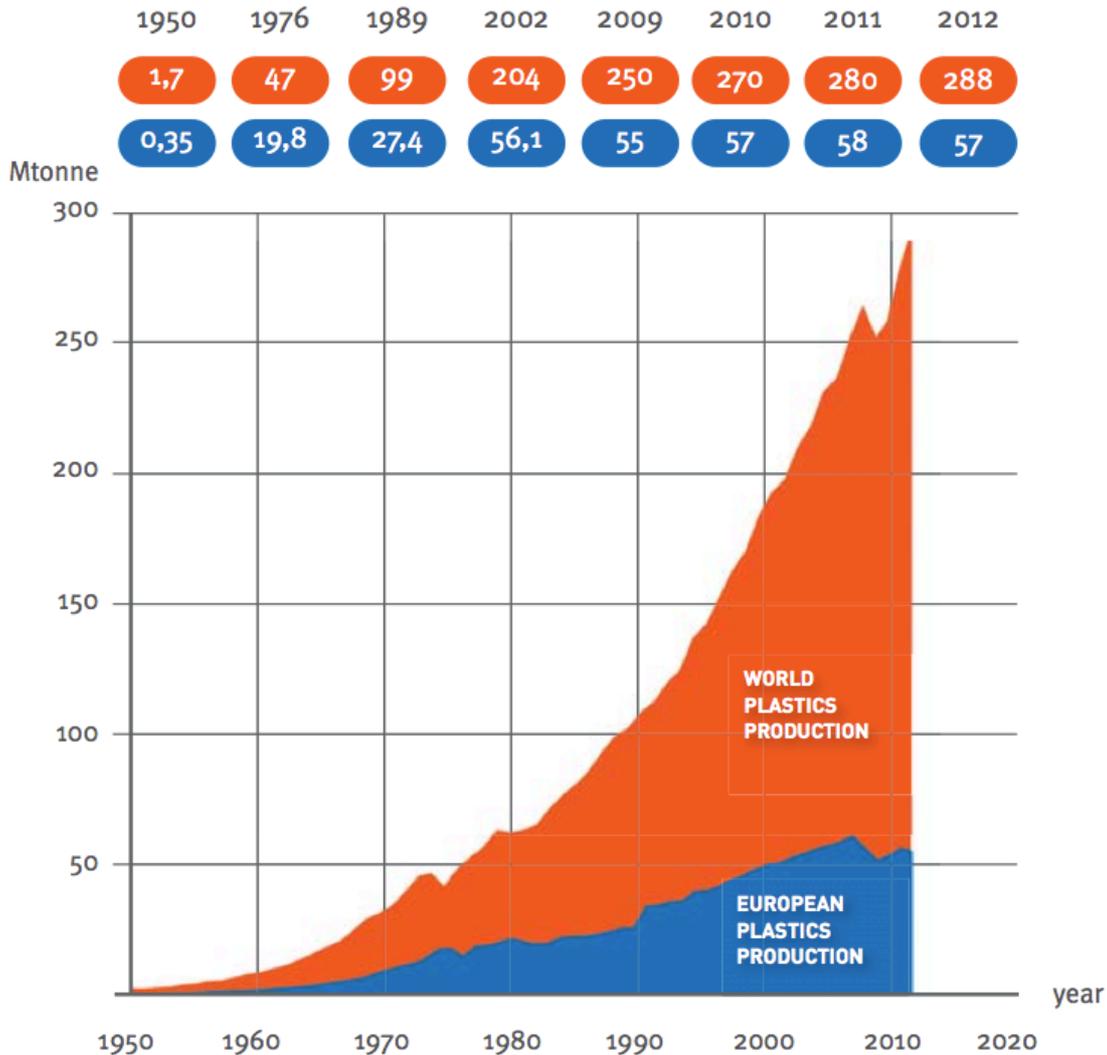


Abbildung 41: Weltweite Kunststoffproduktion 1950-2012; inkl. Thermoplasten, Elastomeren, Klebstoffen, Beschichtungen, Dichtungsmaterialien und PP-Fasern. Nicht enthalten sind PET-, PA- und Polyacrylfasern. Bei einem gleichmäßigen Wachstum über 50 Jahre erreichte das globale Produktionsvolumen 288 Millionen t – dies entspricht einem Wachstum von 2,8% im Vergleich zu 2011. (Quelle: PlasticsEurope 2013)

Genauere Daten als die in Abbildung 41 aufgeführten liegen auch international nicht vor. Da die Daten aus Schätzungen aggregiert wurden, sind laut Simon 2013 keine genaueren Details verfügbar. Jährlich werden auf Basis von Unternehmensbefragungen Vorausberechnungen erstellt. Dies in sich schon grobe, aggregierte Zahlenmaterial wird dann nochmals zusammen gefasst.

Da einige Kunststoffe wie vor allem PET-, PA- und Polyacrylfasern dabei nicht erfasst werden, kann für das Jahr 2012 von einer Gesamtmenge von mindestens 300 Mio. t weltweiter Kunststoffproduktion ausgegangen werden³ (wir setzen diese Menge in unseren

³ Für das Jahr 2013 hat PlasticsEurope 2014 bereits eine Gesamtproduktionsmenge von 299 Mio. t weltweit angegeben (plus 3.9 % gegenüber 2012). Für Europa stagnierte die

Szenarien bereits für das Jahr 2010 an und kalkulieren damit 10 % höher als die Zahlen von PlasticsEurope von 270 Mio. t im Jahr 2010; die Differenz wird zudem noch geringer, wenn man bio-basierte Kunststoffe mit einbezieht. Diese hatten in 2013 eine Produktionskapazität von circa 5 Mio. t weltweit (s.u.). Für 2010 liegen hierzu keine vergleichbaren Daten vor, wir schätzen eine Produktionskapazität von etwa 2 bis 3 Mio. t und ein Produktionsvolumen von mindestens 2 Mio. t.

Die von PlasticsEurope angegebenen Mengen stellen „überwiegend“ (Simon 2013) verarbeitungsfähige Kunststoffe (plastics) dar und nicht die eigentlichen Polymere (aus denen dann mit Füllstoffen und Additiven Kunststoffe werden), auch wenn die Abschätzungen mit der eigentlichen Polymerproduktion beginnen.

In diesen 300 Mio. t Kunststoffen sind daher neben den organischen Komponenten aus Erdöl, Erdgas, Biomasse und Kohle noch mineralische Füllstoffe (circa 5 %⁴), mineralische Verstärkungsfasern, unterschiedliche Additive (meist Erdöl-basiert) sowie andere chemische Elemente wie Sauerstoff oder Chlor (im Fall von PVC) enthalten. Es ist zudem nicht klar, ob die recycelten Kunststoffe in dieser Gesamtmenge der produzierten Kunststoffen mit enthalten sind oder nicht (angenommene, globale Recyclingquote in 2011 circa 15 %, s.u.).

Recycling

Höhere Recyclingquoten würden den Mengenbedarf aus der organischen Chemie zukünftig reduzieren. Laut Simon 2013 gibt es hierzu allerdings keine globalen Daten. Allein die Recyclingquoten für Europa grob zu erheben, ist eine große Herausforderung. Die folgenden drei Grafiken zeigen Details zu den Lebenswegen von Kunststoffen, den wachsenden Anteilen von Recycling und energetischer Nutzung sowie dem Rückgang der Deponierung. Es gibt Bestrebungen der Europäischen Kommission die Deponierung rezyklierbarer Kunststoffabfälle generell zu verbieten, wodurch sich die Recyclingquote deutlich erhöhen würde.

Abbildung 44 zeigt für Europa eine durchschnittliche Recyclingquote von 26,3 %, die für einzelne europäische Länder zwischen 12 % (Malta) und 37 % (Norwegen) liegt. Knapp 35 % erreichen Deutschland, Schweden und die Niederlande. Weltweite Zahlen sind nicht verfügbar und können nur geschätzt werden.

Global setzen wir die Recyclingrate für 2011 bzw. 2012 bei 15 % an und prognostizieren bis 2050 eine globale Recyclingrate von 25 % – also etwa auf dem heutigen, europäischen Niveau. Sollte es zu Rohstoff-Verknappungen kommen, kann eine erheblich höhere Recyclingrate erwartet werden.

Produktionsmenge bei 57 Mio. t, während der Verbrauch um 1 % auf 46.3 Mio. t wuchs (PlasticEurope 2014).

⁴ Nach Expertenschätzung werden nur etwa 25 % der Polymere über alle Anwendungen hinweg mit mineralischen Füllstoffe oder Fasern gefüllt, so dass im Durchschnitt etwa 5 % des Kunststoffvolumens aus mineralischen Beimischungen besteht.

Plastics value chain: “an overview”

The diagram below shows the main steps in the life cycle of plastics – from converter demand to disposal and recovery. Converter demand reached 45.9 million tonnes in 2012. 25.2 million tonnes of plastics ended up in the waste stream in 2012. In 2012, post-consumer plastics waste volumes stayed at the same level as the year before.

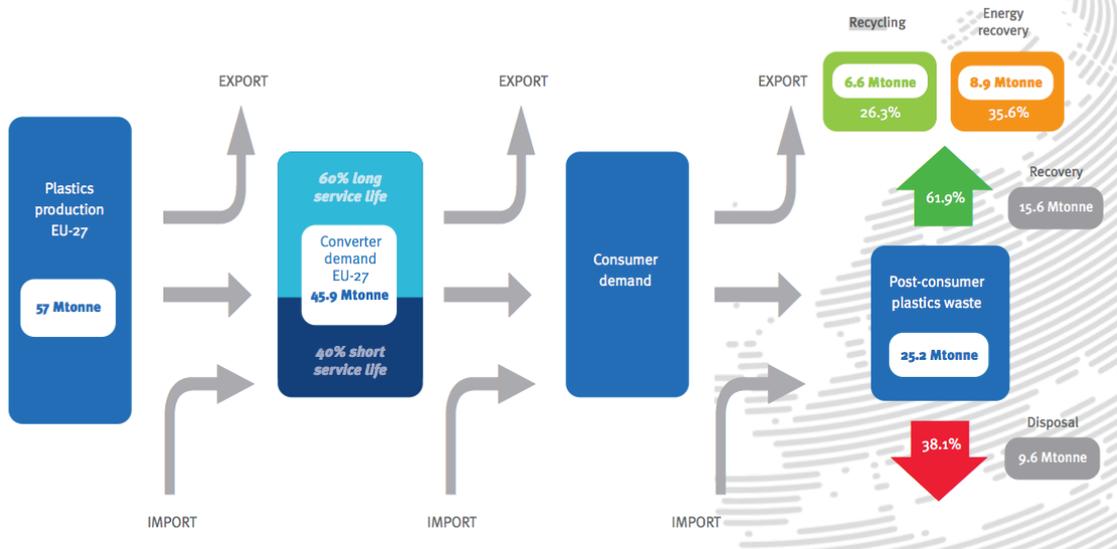


Abbildung 42: Lebensweg von Kunststoffen 2012 (EU-27+N/CH) (Quelle: PlasticsEurope 2013)

Since 2006 recycling and energy recovery have increased...

The annual average of post-consumer plastics waste generation from 2006 to 2012 is 25 Mtonne.

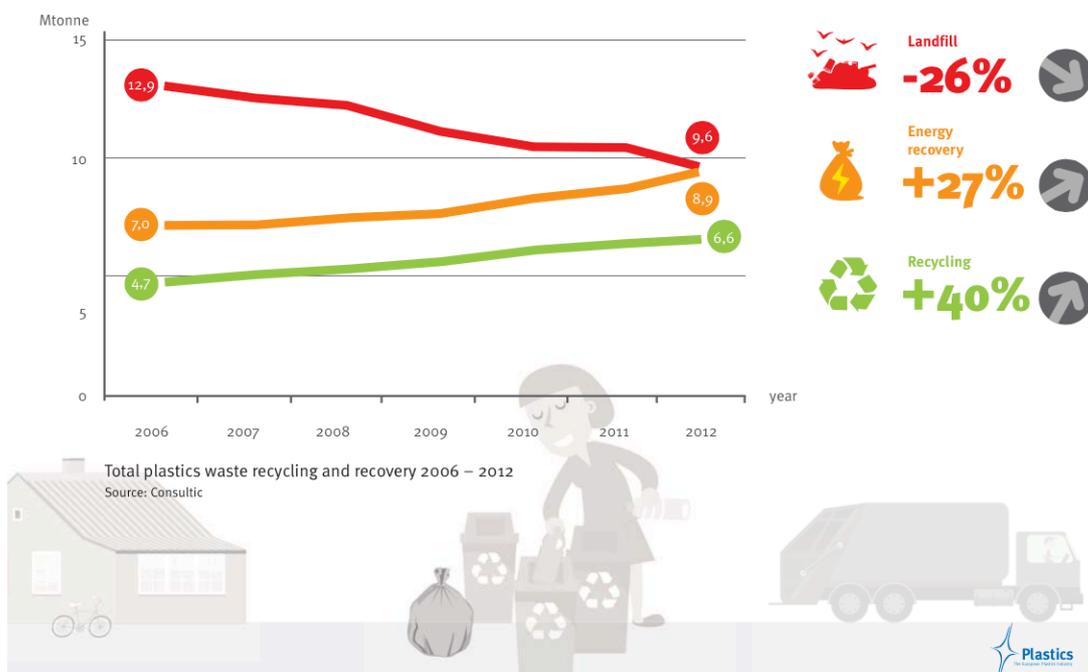


Abbildung 43: Entwicklung von Recycling, energetischer Nutzung und Deponierung von Kunststoffabfällen in Europa 2006 – 2012 (EU-27+N/CH) (Quelle: PlasticsEurope 2014)

Landfill: the hurdle to resource efficiency

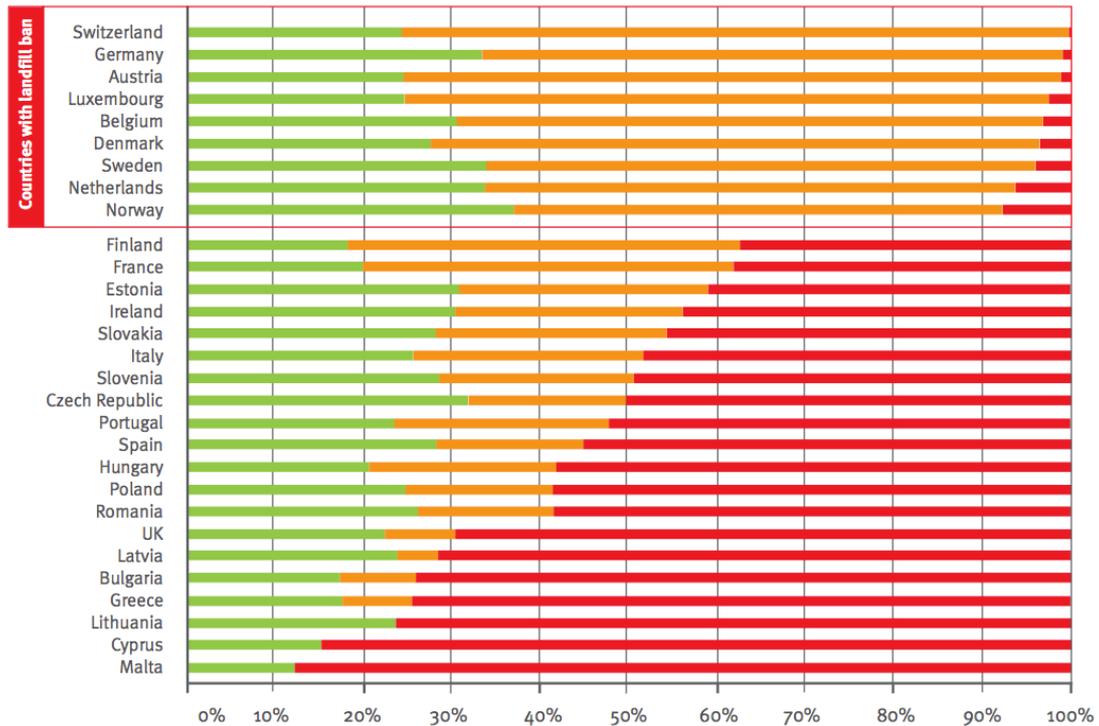


Figure 13: Treatment of post-consumer plastics waste 2012 by EU-27+2
Source: Consultic

● Recycling rate
● Energy recovery rate
● Disposal rate

26

Abbildung 44: Behandlung der Post-Consumer-Kunststoffabfälle im Jahr 2012 in der EU-27+2 (Quelle: PlasticsEurope 2014)

Bio-basierte Kunststoffe

In den Statistiken von PlasticsEurope fehlen bislang die Produktionsmengen von bio-basierten Kunststoffen. Diese werden jährlich vom nova-Institut zusammen mit einem internationalen Projektteam erhoben. Die Tabelle 27 gibt einen Überblick über die installierten Produktionskapazitäten im Jahr 2013.

Tabelle 27: Anzahl von Produzenten und Standorten sowie Produktionskapazitäten bio-basierter Kunststoffe im Jahr 2013 (Quelle: Aeschelmann et al. 2015)

| BIO-BASED POLYMERS | | CURRENT BIO-BASED CARBON CONTENT * | PRODUCING COMPANIES IN 2013 AND UNTIL 2020 | LOCATIONS | PRODUCTION CAPACITIES IN 2013 (TONS) |
|---|------|------------------------------------|--|-----------|--------------------------------------|
| Cellulose Acetate | CA | 50 % | 17 | 20 | 850.000 |
| Epoxies | – | 30 % | – | – | 1.210.000 |
| Ethylene Propylene diene monomer rubber | EPDM | 50 % to 70 % | 1 | 1 | 45.000 |
| Polyamides | PA | 40 % to 100 % | 9 | 11 | 85.000 |
| Poly(butylene adipate-co-terephthalate) | PBAT | Up to 50 % ** | 4 | 5 | 75.000 |
| Polybutylene Succinate | PBS | Up to 100 % ** | 10 | 11 | 100.000 |
| Polyethylene | PE | 100 % | 1 | 1 | 200.000 |
| Polyethylene Terephthalate | PET | 20 % | 5 | 5 | 600.000 |
| Polyhydroxyalkanoates | PHA | 100 % | 14 | 16 | 32.000 |
| Poly(lactic Acid) | PLA | 100 % | 28 | 34 | 195.000 |
| Poly(trimethylene Terephthalate) | PTT | 27 % | 1 | 2 | 110.000 |
| Polyurethane | PUR | 10 % to 100 % | 7 | 7 | 1.200.000 |
| Starch Blends *** | – | 25 % to 100 % | 15 | 16 | 430.000 |
| Total | | | 112 | 129 | 5.132.000 |

* Bio-based carbon content: fraction of carbon derived from biomass in a product (EN 16575 Bio-based products – Vocabulary)

** Currently still mostly fossil-based with existing drop-in solutions and a steady upward trend

*** Starch in plastic compound

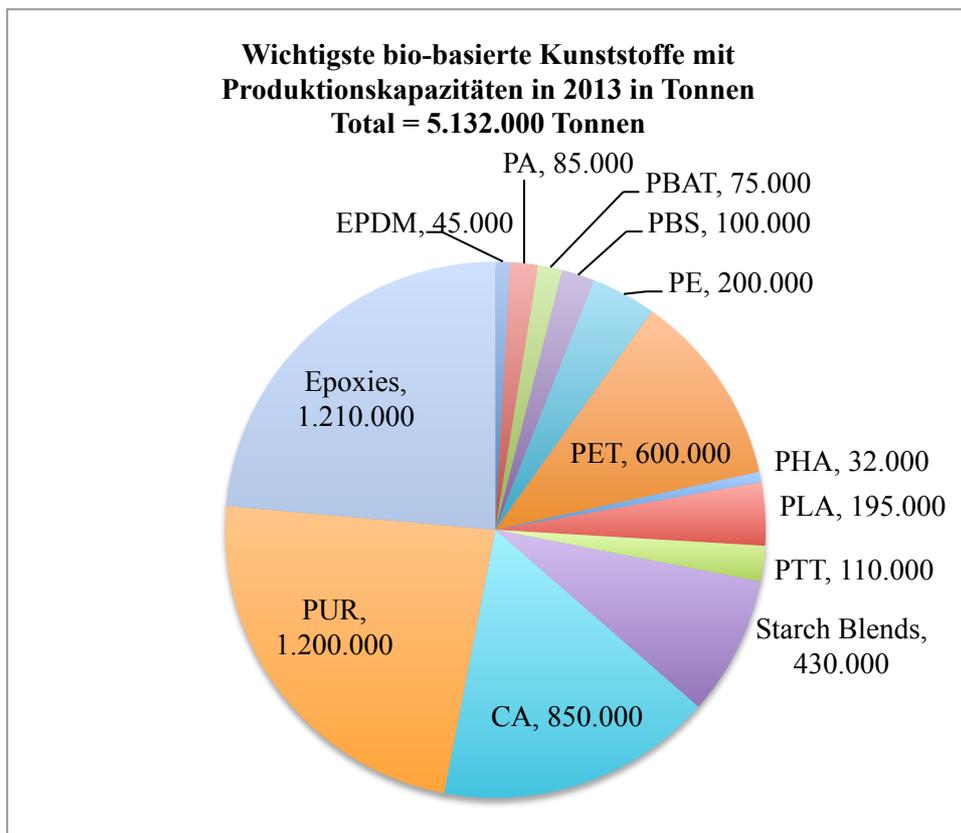


Abbildung 45: Produktionskapazitäten bio-basierter Kunststoffe im Jahr 2013 (Quelle: Aeschelmann et al. 2015)

Die folgende Grafik gibt einen Überblick über alle Arten von Polymeren, der auch funktionelle Kunststoffe (Kleber, Lacke, Beschichtungen), synthetische Fasern und Kautschuk umfasst. Auf allen Ebenen werden die bio-basierten Anteile ausgewiesen.

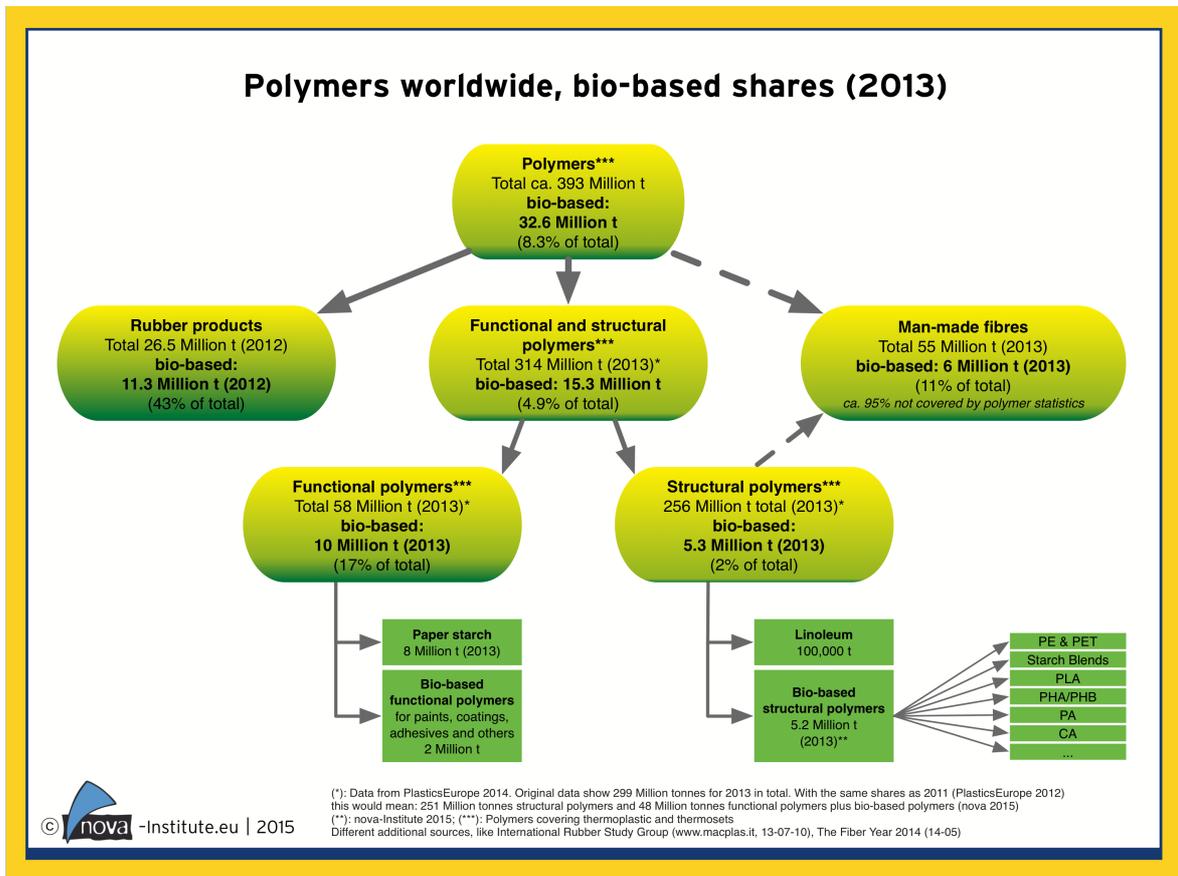


Abbildung 46: Überblick über alle Arten von Polymeren inklusive funktionelle Kunststoffe, synthetische Fasern und Kautschuk (Quelle: eigene Darstellung)

Pflanzliche Öle

Die Weltproduktion pflanzlicher Öle betrug nach FAOSTAT (Food Balance Sheets) im Durchschnitt der Jahre 2007-2009 etwa 140 Mio. t (neuere Zahlen liegen nicht vor). Hiervon wurde ein Anteil von 10 % (14 Mio. t) für den Einsatz in der chemischen Industrie angenommen.

Tierische Fette

Die Weltproduktion tierischer Fette betrug nach FAOSTAT (Food Balance Sheets) im Durchschnitt der Jahre 2007-2009 etwa 35 Mio. t (neuere Zahlen liegen nicht vor). Hiervon wurde ein Anteil von 10 % (aufgerundet etwa 4 Mio. t) für den Einsatz in der chemischen Industrie angenommen.

Chemiezellstoff

Nach FAOSTAT (ForesSTAT) betrug die weltweite Chemiezellstoffproduktion im Jahr 2011 etwa 4 Mio. t.

Naturkautschuk

Die Weltproduktion von Naturkautschuk betrug nach FAOSTAT im Jahr 2011 rund 11 Mio. t. Die Produktion geht praktisch ausschließlich in die chemische Industrie (davon etwa 70 % in die Reifenindustrie).

Glycerin

Abgesehen von einer sehr geringen Menge synthetischen Glycerins fällt praktisch das gesamte weltweite Glycerinangebot als Nebenprodukt bei der Umwandlung von Triglyceriden in Produkte (v.a Biodiesel, Fettsäuren, Seifen und Fettalkohole) an. Das Glycerinangebot ist daher bisher sehr stark abhängig vom Angebot dieser Hauptprodukte. Nach HBI 2012 betrug die weltweite Glycerinproduktion im Jahr 2011 knapp 3 Mio. t. Diese Menge kann komplett der chemischen Industrie zugeordnet werden. Glycerin kommt in einer Reihe von Produkten der chemischen Industrie, z. B. zur Verseifung, in der Kosmetik-, Nahrungs-, Genussmittel- und Pharmaindustrie, sowie als Weichmacher u.ä. in der Kunststoffproduktion zur Anwendung.

Stärke und Zucker

Für den Einsatz von Stärke und Zucker wurde eine Menge von etwa 9 Mio. t angenommen. Dies würde einem Anteil von 15 % am gesamten Einsatz nachwachsender Rohstoffe entsprechen. Diese Einschätzung ergibt sich aus einer Reihe vorliegender Quellen. Zum einen gibt FNR 2014 für den Einsatz von Stärke und Zucker in der deutschen chemischen Industrie eine Gesamtmenge von knapp 250.000 t bzw. 9 % des gesamten Einsatzes nachwachsender Rohstoffe an. Cefic 2014 nehmen dagegen für den Einsatz in der EU-28 eine Gesamtmenge von 1,56 Mio. t bzw. gut 18 % des Gesamteinsatzes nachwachsender Rohstoffe an. Der weltweite Anteil an Stärke und Zucker in der chemischen Industrie könnte daher zwischen diesen beiden Abschätzungen liegen und damit rund 15 % betragen bzw. etwa 9 Mio. t.

Für eine Plausibilitätsprüfung dieser Annahme kann zum einen die Angabe des Europäischen Stärkeindustrieverbandes AAF herangezogen werden dass 5 % der Stärkeproduktion der EU in der Pharma- und chemischen Industrie verwendet werden (AAF 2012). Bezogen auf die weltweite Stärkeproduktion von etwa 60 Mio. t wären dies rund 3 Mio. t. Wenn die Annahme einer Gesamtmenge von 9 Mio. t zutrifft, müssten also weitere 6 Mio. t Zucker in der chemischen Industrie verwendet werden. Die weltweite Zuckerproduktion beträgt etwa 160 Mio. t, wobei nach FAOSTAT (Food Balance Sheets 2007-2009) 12 Mio. t für andere Nutzungen neben Lebens- und Futtermitteln verwendet wurden. Dass etwa 50 % hiervon (6 Mio. t) in der chemischen Industrie verwendet werden, erscheint nicht unplausibel.

Bioethanol (Stärke-/Zucker-Äq.)

Nach Abzug der bisher betrachteten nachwachsenden Rohstoffe bleiben für die Verwendung von Bioethanol in der chemischen Industrie weitere 9 Mio. t übrig. Diese Menge scheint aus folgenden Erwägungen heraus durchaus plausibel. Die gesamte Weltproduktion an Bioethanol beträgt etwa 79 Mio. t. Auf Grundlage eines theoretischen Ethanolertrages von 0,57 kg je kg Stärke oder kg Zucker würde dies einem Rohstoffeinsatz von etwa 139 Mio. t Stärke bzw. Zucker entsprechen. Nach Angaben des französischen Unternehmens Groupe Sucres et Denrées (SUCDEN) beträgt der weltweite Anteil an non-fuel Anwendungen von Ethanol etwa 16 %. Dies entspricht rund 22 Mio. t Zucker- bzw. Stärkeäquivalenten. Die non-fuel Anwendungen umfassen im Wesentlichen Lebensmittel und Getränke, Parfums, Pharma sowie Reinigungs-, Desinfektions- und Lösungsmittel. Dass rund 40 % (9 Mio. t) dieser Anwendungen der chemischen Industrie zugeordnet werden können erscheint recht plausibel.

Andere

Cefic 2014 nimmt für die EU-28 im Jahr 2011 einen Einsatz von weiteren 740.000 t anderen nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Proteinen) an. Dies entspricht 8-9 % der gesamten Verwendung nachwachsender Rohstoffe (knapp 8,6 Mio. t). Auf die weltweite Einsatzmenge von 59 Mio. t bezogen würde sich bei gleichen Anteilen (8-9 %) eine Einsatzmenge von etwa 5 Mio. t anderer nachwachsender Rohstoffe ergeben. Dies nehmen wir für das Basisszenario des Jahres 2011 an.

5.2.1.5 Bioenergie

Nach IEA 2013 wurden im Jahr 2011 etwa 52 EJ Primärenergie aus Biomasse für Strom und Wärme verwendet. Die genaue Zusammensetzung der Biomassequellen für diese Primärenergie werden jedoch nicht von IEA 2013 genannt. Auf Basis der Übersicht in Arvizu et al. 2012 (S. 46), der Daten in FAOSTAT zu Forstprodukten (Feuerholz, Holzkohle) und anderen Quellen nehmen wir an, dass diese 52 EJ Primärenergie für Strom und Wärme gemäß bereitgestellt wurden.

Wir nehmen an, dass 10 % des Aufkommens an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung im Jahr 2011 für Bioenergie für Strom und Wärme genutzt wurden.

Wir berücksichtigen nicht die gesamte in dargestellte Biomasse auch auf der Angebotsseite: Die informelle/illegale Nutzung von Feuerholz (die in Arvizu et al. 2012 mit 30 % der statistisch erfassten Nutzung abgeschätzt wurde), Altholz, tierische Nebenprodukte, Siedlungsabfälle und Deponiegas bleiben unberücksichtigt. Nur unter Berücksichtigung der auf der Angebotsseite erfassten Biomasse ergeben sich somit für das Jahr 2011 insgesamt etwa 1,98 Mrd. t TM Biomasse für Strom und Wärme.

Tabelle 28: Weltweite Nutzung von Biomasse für Strom und Wärme 2011 (Quellen: IEA, 2013, Arvizu et al. 2012, FAOSTAT, eigene Berechnungen)

| | Unterer Heizwert (MJ/kg TM) | Biomasse für Strom und Wärme (Mrd. t TM) | Primärenergie (EJ) | Anteil an der Primärenergie für Strom und Wärme (%) |
|---|-----------------------------|--|--------------------|---|
| Feuerholz (erfasst) | 20,0 | 0,983 | 19,66 | 37,8 |
| Feuerholz (informell/illegal) | 20,0 | 0,295 | 5,90 | 11,3 |
| Holzkohle | 20,0 | 0,183 | 3,66 | 7,0 |
| Holzpellets | 20,0 | 0,013 | 0,26 | 0,5 |
| Andere energetische Holznutzung | 20,0 | 0,140 | 2,81 | 5,4 |
| Schwarzlauge | 16,0 | 0,170 | 2,72 | 5,2 |
| Altholz | 20,0 | 0,150 | 3,00 | 5,8 |
| Tierische Nebenprodukte | 16,0 | 0,150 | 2,40 | 4,6 |
| Erntenebenprodukte | 17,0 | 0,283 | 4,80 | 9,2 |
| Geerntete Agrarbiomasse | 17,0 | 0,212 | 3,60 | 6,9 |
| Siedlungsabfälle und Deponiegas | 15,0 | 0,150 | 2,25 | 4,3 |
| Lebensmittelverluste und -verschwendung | | | | |
| Kohlenhydrate | 16,7 | 0,042 | 0,70 | 1,3 |
| Fett | 37,7 | 0,004 | 0,16 | 0,3 |
| Protein | 16,7 | 0,005 | 0,08 | 0,2 |
| Gesamt | - | 2,779 | 52,0 | 100,0 |
| Davon: Auf der Angebotsseite berücksichtigte Biomasse (Erläuterung siehe Text) | | 1,984 | 37,5 | 72,1 |

Basisdaten für 2011:

Der weltweite Biomassebedarf für die Erzeugung von 52 EJ Primärenergie für Strom und Wärme betrug im Jahr 2011 etwa 2,78 Mrd. t TM. Angebotsseitig berücksichtigen wir hiervon etwa **1,98 Mrd. t TM**.

5.2.1.6 Biokraftstoffe

Nach Angaben in REN21 2012 betrug die Weltproduktion von Biodiesel im Jahr 2011 rund 21 Mrd. l und die Weltproduktion von Ethanol als Kraftstoff rund 86 Mrd. l (REN21, 2012, S. 37). Wir rechnen diese Mengen wie in Tabelle 29 gezeigt in eingesetzte Rohstoffe um. Zunächst rechnen wir die Produktion in Tonnen um unter Berücksichtigung der Dichtekoeffizienten von 0,88 kg/l für Biodiesel und 0,79 kg/l für Bioethanol. Dann berechnen wir die notwendige Menge an Rohstoffen (Pflanzenöl für Biodiesel und Stärke/Zucker für Bioethanol) unter Verwendung der Reaktionsgleichung für Biodiesel in Van Gerpen et al. 2004 (S. 4) und der Konversionsrate für Bioethanol von 0,57 kg Ethanol je kg Stärke nach El-Halwagi 2012 (S. 68).

Tabelle 29: Umrechnung der Weltproduktion von Biodiesel und Bioethanol in Biomassebedarf (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Einheit | Biodiesel | Bioethanol |
|----------------------|---------|-----------|------------|
| Weltproduktion 2011* | Mrd. l | 21,0 | 86,0 |
| | Mio. t | 18,5 | 67,9 |
| Rohstoffbedarf** | Mio. t | 18,4 | 119,2 |
| Primärenergie | EJ | 0,70 | 2,0 |

*Quelle: REN21 2012 (S.37), **Biodiesel: Pflanzenöl, Bioethanol: Zucker/Stärke

Basisdaten für 2011:

Der weltweite Biomassebedarf für die Produktion von Biokraftstoffen beträgt knapp **138 Mio. t TM**. Hiervon entfallen etwa 18 Mio. t TM (hauptsächlich Pflanzenöl) auf die Produktion von Biodiesel und etwa 119 Mio. t TM (Zucker/Stärke) auf die Produktion von Bioethanol.

5.2.2 EU-27

Die folgende Abbildung 47 zeigt zunächst die Biomassenachfrage der EU-27 im Jahr 2011 nach Sektoren.

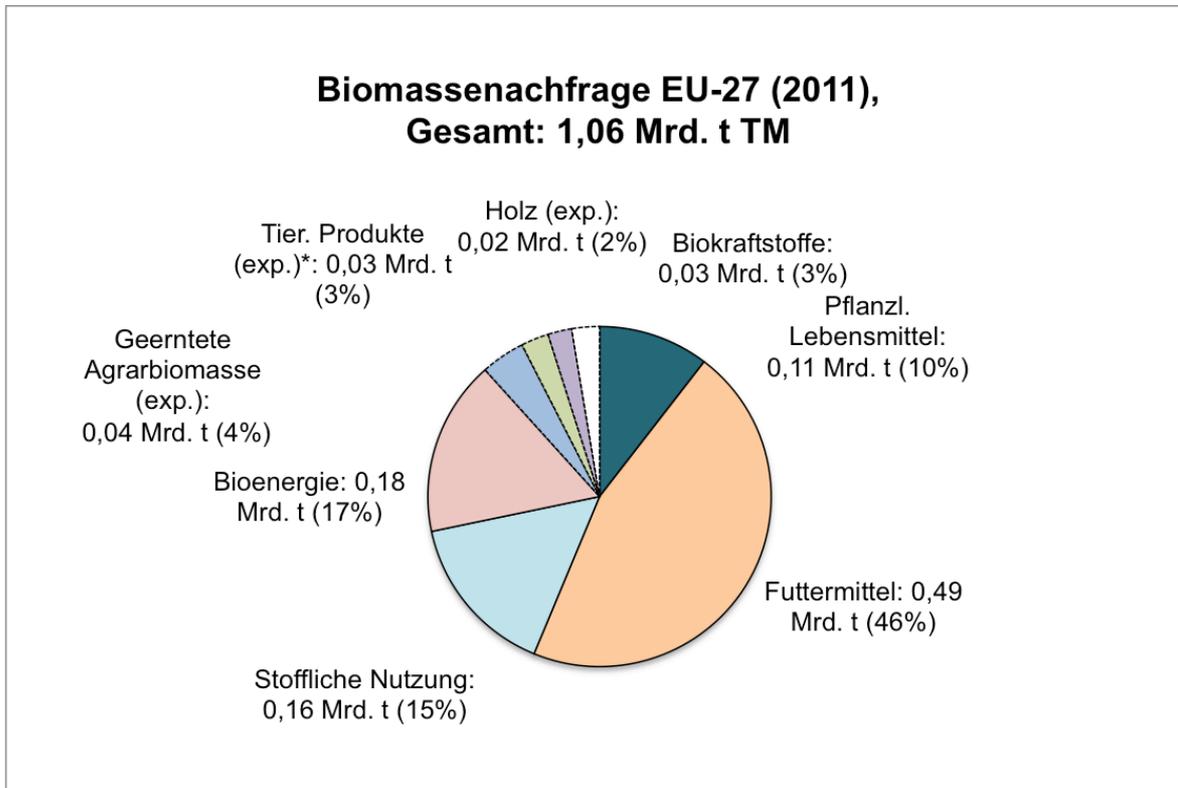


Abbildung 47: Biomassenachfrage der EU-27 (2011, nach Sektoren) (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen), *in Futtermitteläquivalenten

5.2.2.1 Lebensmittel/pflanzliche Agrarprodukte

Inländische Nachfrage

Nach den FAO Food Balance Sheets (FBS) betrug die durchschnittliche Nährstoffversorgung nach Abzug von Verlusten und Verschwendung bis zur Handelsstufe in der EU-27 rund 3.416 kcal/Kopf*Tag.

Auch für die Abschätzung der Verluste und Verschwendung von Lebensmitteln in der EU und einzelnen Mitgliedstaaten liegt eine neuere detaillierte Studie vor. Nach Priefer et al. 2013 (S. 41) betragen die Nahrungsmittelverluste und -verschwendung von der landwirtschaftlichen Produktion bis zum Endverbraucher ungefähr 18 % der potenziellen Produktion.

Priefer et al. 2013 geben auch Schätzungen an, wie sich diese Verluste und Verschwendung über die gesamte Wertschöpfungskette verteilen. Wir verwenden diese Angaben um die auf jeder Wertschöpfungsstufe verfügbaren Nährstoffe abzuleiten (Abbildung 48).

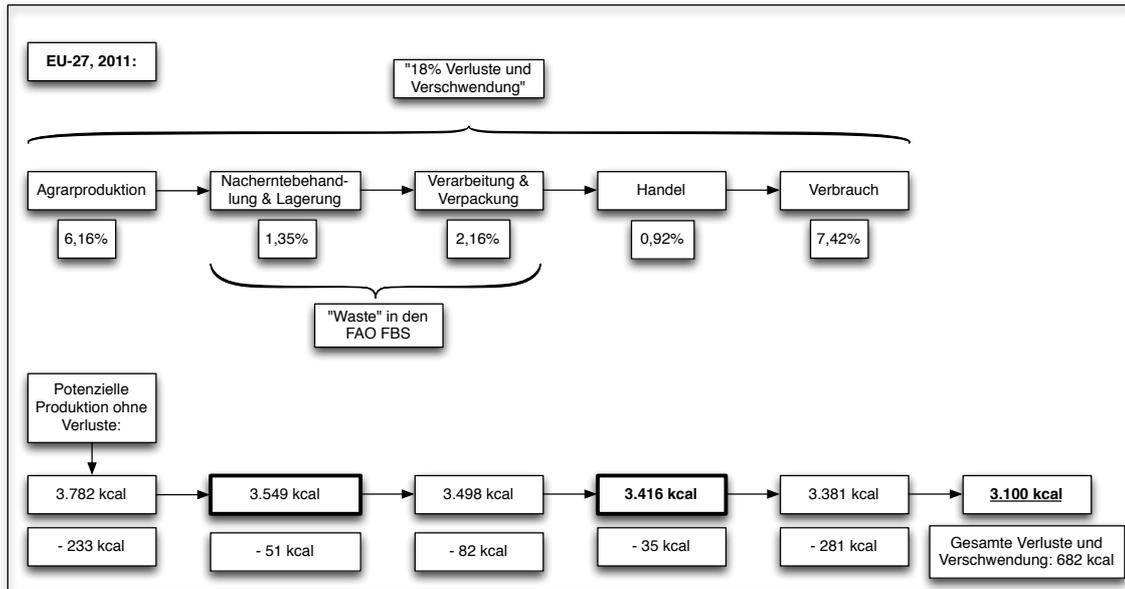


Abbildung 48: Nahrungsmittelverluste und -verschwendung entlang der Wertschöpfungskette in der EU-27 im Jahr 2011 (Quelle: eigene Darstellung)

Wir nehmen an, dass die Menge an verfügbaren Nährstoffen die nach Abzug von Verlusten in der landwirtschaftlichen Produktion (3.549 kcal/Kopf*Tag in Abbildung 48) zur Verfügung steht der von der FAO erfassten Erntemenge entspricht die in die Wertschöpfungskette zur Nahrungsmittelproduktion gelangt.

Nach Angaben in den FBS teilte sich im Jahr 2011 die durchschnittliche Nährstoffversorgung in der EU-27 auf in 50 % Kohlenhydrate, 38 % Fett und 12 % Protein. Darüberhinaus geben die FBS an, dass sich diese Versorgung gemäß Tabelle 30 in pflanzliche und tierische Quellen aufteilte.

Tabelle 30: Durchschnittliche Versorgung mit Nährstoffen in der EU-27 im Jahr 2011 (Quelle: FAO Food Balance Sheets)

| | Pflanzlich | Tierisch |
|---------------|------------|----------|
| Protein | 42 % | 58 % |
| Fett | 48 % | 52 % |
| Kohlenhydrate | 95 % | 5 % |

Schließlich rechnen wir diese 3.549 kcal/Kopf*Tag in Trockenmasse pflanzlicher und tierischer Nährstoffe anhand der Aufteilung in Tabelle 30 um und addieren jeweils einen geschätzten 10 % Aufschlag für andere, nicht nährstoffrelevante Stoffe (Mineralien, Ballaststoffe).

Die resultierenden Mengen an Trockenmasse pflanzlicher und tierischer Lebensmittel (etwa 111 Mio. t TM und 33 Mio. t TM) gingen auf der Nachfrageseite als Bedarf von Biomasse für die Ernährung der Menschen in der EU-27 ein.

Exportnachfrage

Nach Auswertung der Eurostat-Handelsdatenbank nach SITC-Klassifizierung betrug der Export an pflanzlichen Agrarrohstoffen und -produkten der EU-27 im Jahr 2011 rund 44 Mio. t TM (vgl. Abbildung 25).

Basisdaten für 2011:

Für die Ernährung der Menschen in der EU-27 wurden im Jahr 2011 etwa **111 Mio. t TM** für pflanzl. Lebensmittel verwendet und **33 Mio. t TM** an tier. Lebensmitteln. Die Exportnachfrage nach pflanzlichen Agrarprodukten betrug weitere **44 Mio. t TM**.

5.2.2.2 Futtermittel

Inländische Nachfrage

Der Bedarf tierischer Nahrungsmittel in der EU-27 wird sowohl durch inländische Tierhaltung als auch durch Importe gedeckt. Nach FEFAC 2012 beträgt der gesamte Futtermittelbedarf des Nutztierbestandes der EU-27 etwa 470 Mio. t. Dies beinhaltet nach FEFAC 2012 230 Mio. t an Rauhfutter. Eine eigene Anwendung der Methode nach Krausmann et al. 2008 ergibt dagegen einen höheren Futterbedarf des Nutztierbestandes der EU-27 von fast 600 Mio. t TM. Da FEFAC 2012 den Futtermittelbedarf möglicherweise unterschätzt korrigieren wir diesen für unser Modell etwas nach oben und nehmen einen Futterbedarf von 500 Mio. t TM an.

Die Produktion tierischer Erzeugnisse in der EU-27 beläuft sich auf Basis von Eurostat und eigener Umrechnungen auf etwa 41,7 Mio. t TM (Abbildung 49). Damit ergibt sich rechnerisch eine durchschnittliche Futtereffizienz in der EU-27 von 8,34 % (im Vergleich zu 3,69 % im weltweiten Durchschnitt). Diesen Wert nehmen wir für die weiteren Berechnungen sowohl für die EU-27 als auch für Deutschland an.

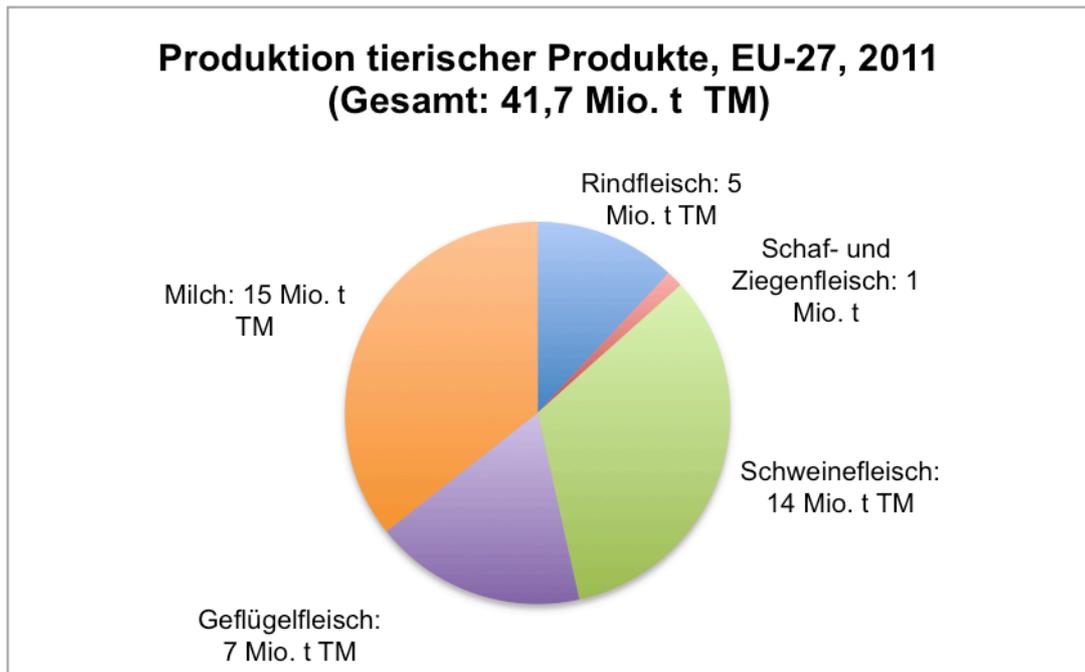


Abbildung 49: Produktion tierischer Produkte, EU-27, 2011 (Quelle: Eurostat, eigene Umrechnungen)

Den Futterbedarf für die Deckung der inländischen Nachfrage nach tierischen Produkten ermitteln wir nun indem wir annehmen, dass die in Abbildung 50 dargestellte Bilanz ausgeglichen sein muss. Da der Futterbedarf für importierte tierische Lebensmittel bereits weiter oben ermittelt wurde (16 Mio. t TM) und auch der Futtermittelbedarf für den Export tierischer Produkte auf gleiche Weise berechnet werden kann (28 Mio. t TM) lässt sich anhand dieser Gleichung ausrechnen, dass der Futterbedarf für die Deckung der inländischen Nachfrage nach tierischen Produkten etwa 488 Mio. t TM beträgt.

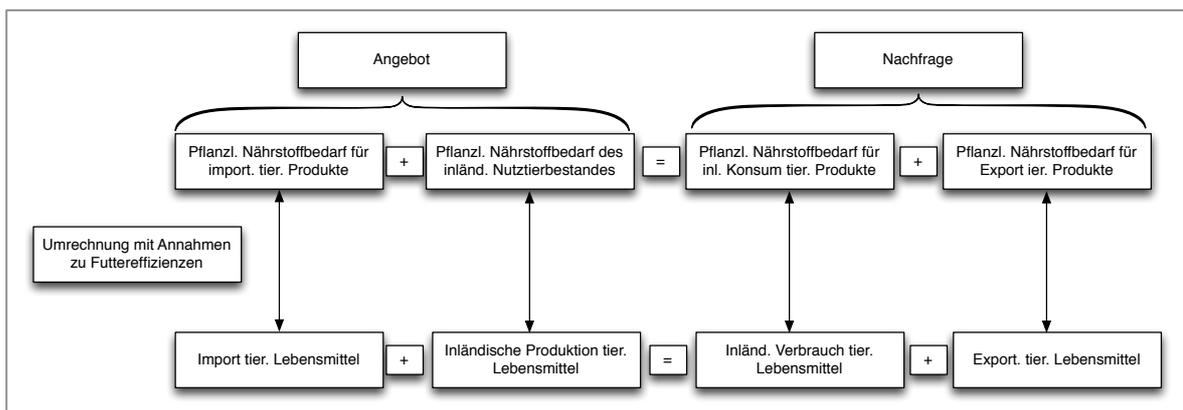


Abbildung 50: Bilanz von Angebot und Nachfrage nach Futtermitteln zur Herleitung des Futterbedarfs für den inländischen Konsum tierischer Produkte

Weiterhin nehmen wir an, dass 10 % des Aufkommens an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung (s. Abbildung 48) als Futtermittel genutzt werden. Diese Nutzung der Nahrungsmittelverluste und -verschwendung reduziert die Nachfrage nach Biomasse für

Futtermittel entsprechend. Diese 10 % des Aufkommens an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung rechnen wir in erster Näherung zu gleichen Teilen auf den Futterbedarf für den inländischen Konsum und den Export tierischer Produkte an. Damit reduziert sich der Futterbedarf für die Deckung der inländischen Nachfrage nach tierischen Produkten leicht auf **487 Mio. t TM**.

Exportnachfrage

Die Handelsbilanz der EU-27 mit Agrarrohstoffen und -produkten wurde bereits in Abschnitt 5.1.2.2 dargestellt. Den Futterbedarf für den Export tierischer Produkte von **28 Mio. t TM** haben wir ermittelt, indem wir die exportierte Menge an tierischen Produkten mit der für die EU-27 angenommenen Futtermittelleffizienz von 8,34 % umrechnen.

Basisdaten für 2011:

Der Futtermittelbedarf Deckung der Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln in der EU-27 betrug im Jahr 2011 etwa **478 Mio. t TM**. Hinzu kam ein Futtermittelbedarf zur Deckung der Exportnachfrage von **28 Mio. t TM**.

5.2.2.3 Stoffliche Nutzung

Als Sektoren der Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung berücksichtigen wir die Chemische Industrie einschließlich der Kunststoffindustrie (Pflanzenöle und tierische Fette, Chemiezellstoff, Zucker/Stärke und Anderes), Bau und Möbel (Holz), die Papier- und Zellstoffindustrie und Textilien (Naturfasern). Zusätzlich berücksichtigen wir den Bedarf an Tiereinstreu (hauptsächlich Getreidestroh) als stoffliche Nutzung.

Tabelle 31 zeigt die Ergebnisse für die Nachfrage der EU-27 nach Biomasse für die stoffliche Nutzung im Jahr 2011 (insgesamt etwa 164 Mio. t TM). Die dort aufgeführten Einsatzmengen von Biomasse in der Chemischen Industrie stammen von Benzing 2014 basierend auf Cefic 2014. Die Angaben zur Verwendung von Holz für den Bereich Bau und Möbel sowie Papier und Zellstoff sind wie für die weltweite Nachfrage aus der FAO-Datenbank ForesSTAT berechnet. Die Abschätzung zur Verwendung von Papierstärke basiert wie für die weltweite Nachfrage auf der Annahme, dass der Anteil der Papierstärke rund 1,7 % der Papier- und Pappenproduktion in der EU-27 (rund 403 Mio. t) beträgt.

Tabelle 31: Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in der EU-27 (in Mio. t TM) (Quelle: FAOSTAT 2104, Cefic 2014, Benzing 2014, nova 2015)

| | Cellulose/ Hemicellulose | Stärke & Zucker | Fett | Kautschuk | Lignin | Glycerin | Anderes |
|--|-----------------------------|--------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Chemische Industrie | | | | | | | |
| Pflanzenöle | - | - | 1,57 | - | - | - | - |
| Tierische Fette | - | - | 0,50 | - | - | - | - |
| Chemiezellstoff | 0,89 | - | - | - | - | - | - |
| Stärke/Zucker | - | 1,56 | - | - | - | - | - |
| Bioethanol (Stärke-Äq.) | - | 1,59 | - | - | - | - | - |
| Naturkautschuk | - | - | - | 1,24 | - | - | - |
| Glycerin | - | - | - | - | - | 0,47 | - |
| Anderes* | - | - | - | - | - | - | 0,74 |
| Bau und Möbel (Holz und Bambus) | 72,91 | - | - | - | 8,10 | - | - |
| Papier und Zellstoff | | | | | | | |
| Papierstärke | - | 1,42 | - | - | - | - | - |
| Verpackungen (Papier, Pappe etc. in Holz-Äq.) | 39,43 | - | - | - | 1,34 | - | - |
| Stroh als Tiereinstreu | 25,00 | | | | 6,25 | - | - |
| Textilien (Naturfasern) | 1,46 | - | - | - | - | - | - |
| Gesamt | 139,69 | 4,57 | 2,07 | 1,24 | 15,69 | 0,47 | 0,74 |

* e.g. pflanzl. Wachse, Harze, Gerbstoffe, Proteine und Medizinalpflanzen

Die in Tabelle 31 gezeigten Angaben zum Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der EU-27 differenzieren nicht zwischen dem Inlands- und Exportbedarf. Hierzu können nur grobe Abschätzungen getroffen werden. Nach Angaben von Cefic 2012 betrug der Extra-EU Export von Chemieprodukten etwa 25 % des gesamten Verkaufswertes von rund 539 Mrd. Euro (Cefic 2012, S. 10). Der Intra-EU Export dominiert dagegen die Chemiebranche mit 50 % der Verkäufe und weitere 25 % machen Verkäufe innerhalb der eigenen Mitgliedstaaten aus. Daher nehmen wir auch für die stoffliche Nutzung von Biomasse in der Chemischen Industrie eine Exportquote (Extra-EU-27) von 25 % an.

Nach CEPI 2011 betrug der Exportanteil der europäischen Papierindustrie im Jahr 2011 18 %. Für die Bereiche Bauen und Möbel sowie die Textilindustrie liegen keine genauen Daten vor. Wir nehmen daher für alle drei Branchen (Papier- und Zellstoff, Bauen und Möbel und Textilien) einen Exportanteil von rund 20 % an.

Basisdaten für 2011:

Der Biomassebedarf für die stoffliche Nutzung der EU-27 betrug im Jahr 2011 etwa **164 Mio. t TM**.

5.2.2.4 Bioenergie

Nach Eurostat (s. auch AEBIOM 2013, S. 8) betrug die Inlandsverwendung von Primärenergie aus Biomasse im Jahr 2011 in der EU-27 etwa 4,81 EJ. Hinzu kamen etwa 0,24 EJ an exportierter Primärenergie aus Biomasse. Von diesen etwa 5,05 EJ

Primärenergie wurden 4,3 EJ für Strom und Wärme verwendet und 0,75 EJ für Biokraftstoffe.

Die 4,3 EJ für Strom und Wärme setzten sich nach Eurostat zusammen aus 3,5 EJ Festbrennstoffen außer Holzkohle, 0,43 EJ Biogas, 0,35 EJ Siedlungsabfällen und 0,01 EJ Holzkohle. Eine genauere Aufgliederung existiert nach Kenntnis der Autoren bei Eurostat oder AEBIOM nicht. Daher zeigt die folgende Tabelle 32 den Versuch, diese Aufteilung entlang der gleichen Kategorien wie für die weltweite Analyse vorzunehmen.

Wir nehmen an, dass 10 % des Aufkommens an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung im Jahr 2011 für Bioenergie für Strom und Wärme genutzt wurden.

Wie bei der weltweiten Analyse berücksichtigen wir nicht die gesamte in Tabelle 32 dargestellte Biomasse auch auf der Angebotsseite: Die Nutzung von Altholz, tierischen Nebenprodukte, Siedlungsabfällen und Deponiegas bleibt unberücksichtigt. Nur unter Berücksichtigung der auf der Angebotsseite erfassten Biomasse ergeben sich somit für das Jahr 2011 insgesamt etwa 177 Mio. t TM Biomasse für Strom und Wärme.

Tabelle 32: Nutzung von Biomasse für Strom und Wärme in der EU-27 im Jahr 2011 (Quellen: AEBIOM 2013, Eurostat, eigene Berechnungen)

| | Unterer Heizwert (MJ/kg TM) | Biomasse für Strom und Wärme (Mio. t TM) | Primärenergie (EJ) | Anteil an der Primärenergie für Strom und Wärme (%) |
|---|-----------------------------|--|--------------------|---|
| Feuerholz | 20,0 | 54,8 | 1,096 | 25,5 |
| Holzkohle | 20,0 | 0,5 | 0,010 | 0,2 |
| Holzpellets | 20,0 | 7,7 | 0,154 | 3,6 |
| Andere energetische Holznutzung | 20,0 | 10,9 | 0,219 | 5,1 |
| Schwarzlauge | 16,0 | 41,7 | 0,667 | 15,5 |
| Altholz | 20,0 | 20,0 | 0,400 | 9,3 |
| Tierische Nebenprodukte | 16,0 | 20,0 | 0,320 | 7,4 |
| Geerntete Agrarbiomasse | 17,0 | 33,2 | 0,564 | 13,1 |
| Erntenebenprodukte | 17,0 | 28,3 | 0,481 | 11,2 |
| Siedlungsabfälle und Deponiegas | 15,0 | 23,5 | 0,352 | 8,2 |
| Lebensmittelverluste und -verschwendung | | | | |
| Kohlenhydrate | 16,7 | 1,5 | 0,025 | 0,6 |
| Fett | 37,7 | 0,3 | 0,010 | 0,2 |
| Protein | 16,7 | 0,2 | 0,003 | 0,1 |
| Gesamt | - | 242,5 | 4,30 | 100,0 |
| Davon: Auf der Angebotsseite berücksichtigte Biomasse (Erläuterung siehe Text) | - | 177,1 | 3,19 | 74,2 |

Basisdaten für 2011:

Der Biomassebedarf der EU-27 für die Erzeugung von 4,3 EJ Primärenergie für Strom und Wärme betrug im Jahr 2011 etwa **242 Mio. t TM**. Angebotsseitig berücksichtigen wir hiervon etwa **177 Mio. t TM**.

5.2.2.5 Biokraftstoffe

Nach Eurostat teilten sich die 0,75 EJ Primärenergie für Biokraftstoffe in der EU-27 im Jahr 2011 (Inlandsverwendung und Export, Abschnitt 5.2.2.4) auf in 0,58 EJ für Biodiesel, 0,14 EJ für Bioethanol und 0,04 EJ andere Biokraftstoffe. Zusätzlich gibt Eurostat auch die Mengen an Biokraftstoffen in Tonnen Öläquivalente (toe) an. Tabelle 33 zeigt die Umrechnung dieser Mengen in Rohstoffe, wobei wir Konversionsfaktoren von AEBIOM 2013 (S. 112) verwendet haben. Die Rückrechnung von Tonnen Öläquivalente in EJ Primärenergie in Tabelle 29 zeigt, dass diese für Biodiesel und andere Kraftstoffe sehr gut mit den Angaben von Eurostat übereinstimmt, während für Bioethanol eine leichte Abweichung zustande kommt (0,17 EJ gegenüber 0,14 EJ). Dies ist eventuell in der Unsicherheit der Statistiken als auch den Konversionsfaktoren begründet.

Da diese Datenunsicherheit nicht abschließend geklärt werden kann nehmen wir für 2011 den in Tabelle 33 dargestellten Rohstoffbedarf von 16,6 Mio. t Pflanzenöl für Biodiesel und andere Kraftstoffe und 10,3 Mio. t Zucker/Stärke für Bioethanol an.

Tabelle 33: Umrechnung des Inlandsverbrauchs und Exports (Quellen: Eurostat, AEBIOM 2013)

| | Einheit | Biodiesel | Bioethanol | Andere Kraftstoffe |
|----------------------|----------|-----------|------------|--------------------|
| Verbrauch und Export | Mio. toe | 13,76 | 3,39 | 0,86 |
| Verbrauch und Export | Mio. t | 15,73 | 5,89 | 0,98 |
| Rohstoffbedarf** | Mio. t | 15,60 | 10,30 | 0,90 |
| Primärenergie | EJ | 0,59 | 0,17 | 0,04 |

*Biodiesel und andere Kraftstoffe: Pflanzenöl, Bioethanol: Zucker/Stärke

Basisdaten für 2011:

Der Biomassebedarf der EU-27 für die Produktion von Biokraftstoffen beträgt knapp **27 Mio. t TM**. Hiervon entfallen etwa 17 Mio. t TM (hauptsächlich Pflanzenöl) auf die Produktion von Biodiesel und andere Kraftstoffe und etwa 10 Mio. t TM (Zucker/Stärke) auf die Produktion von Bioethanol.

5.2.3 Deutschland

Die folgende Abbildung 51 zeigt zunächst die Biomassenachfrage der EU-27 im Jahr 2011 nach Sektoren.

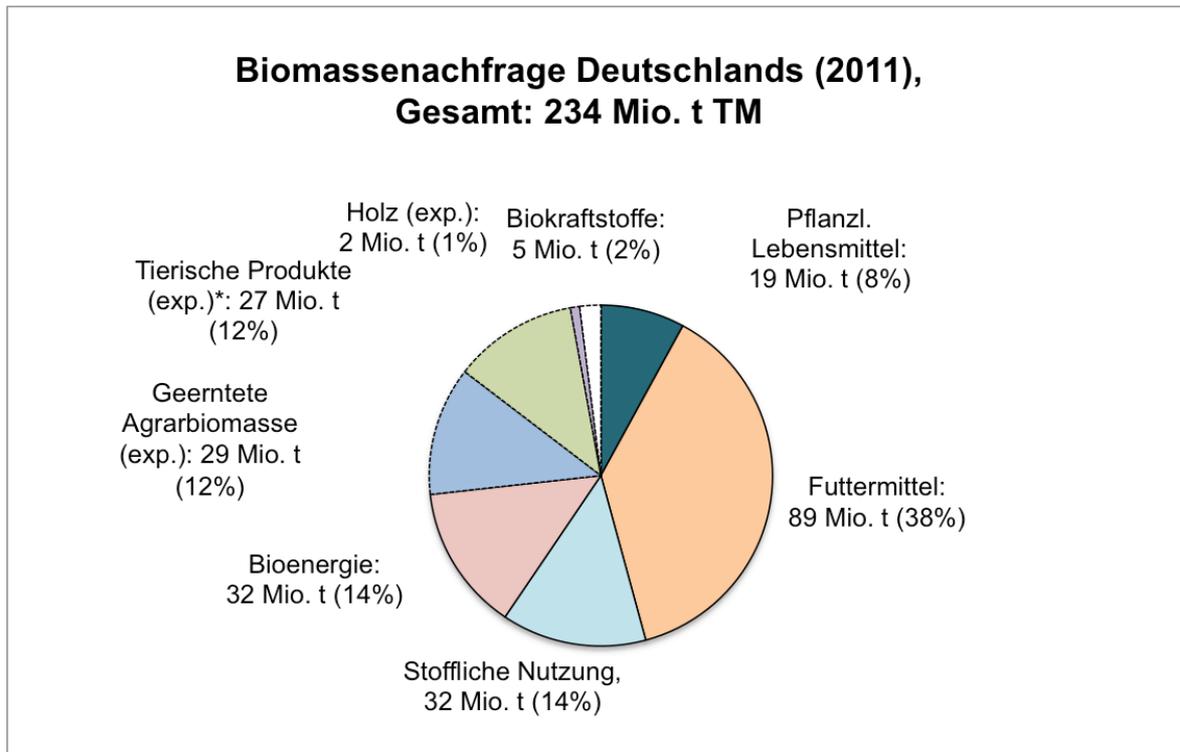


Abbildung 51: Biomassenachfrage Deutschlands (2011, nach Sektoren) (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen), *in Futtermitteläquivalenten

5.2.3.1 Lebensmittel/pflanzliche Agrarprodukte

Inländische Nachfrage

Nach den FAO Food Balance Sheets (FBS) betrug die durchschnittliche Nährstoffversorgung nach Abzug von Verlusten und Verschwendung bis zur Handelsstufe in Deutschland rund 3.539 kcal/Kopf*Tag (Abbildung 52).

Nach Priefer et al. 2013 (S. 41) betragen die Nahrungsmittelverluste und -verschwendung von der landwirtschaftlichen Produktion bis zum Endverbraucher ungefähr 13 % der potenziellen Produktion.

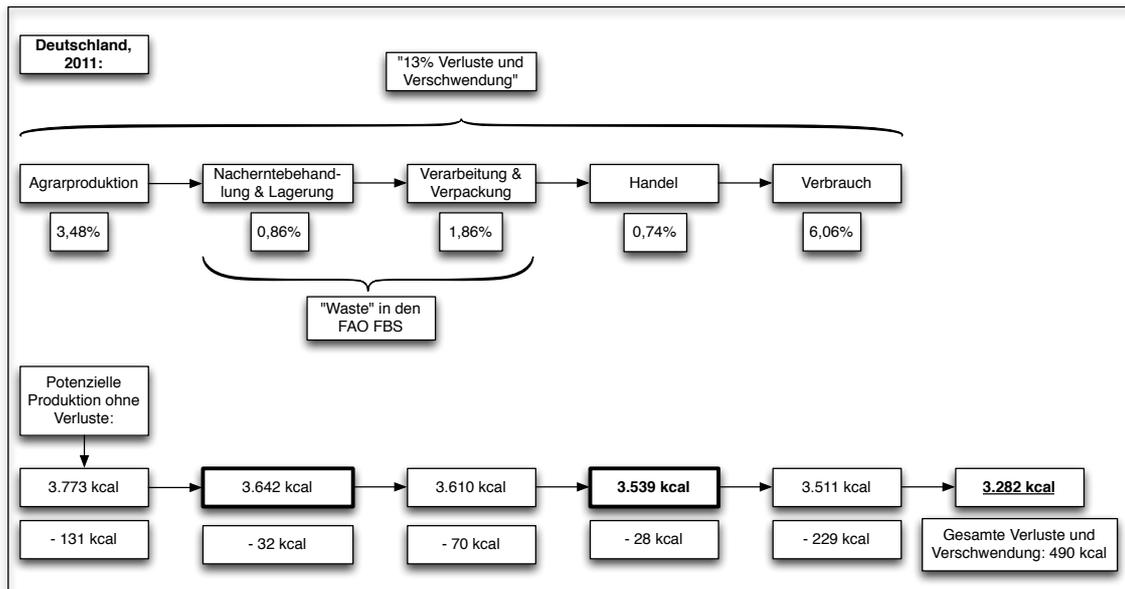


Abbildung 52: Nahrungsmittelverluste und -verschwendung entlang der Wertschöpfungskette in Deutschland im Jahr 2011 (Quelle: eigene Darstellung)

Wie für die EU-27 nehmen wir an, dass die Menge an verfügbaren Nährstoffen die nach Abzug von Verlusten in der landwirtschaftlichen Produktion (3.642 kcal/Kopf*Tag in Abbildung 52) zur Verfügung steht der von der FAO erfassten Erntemenge entspricht die in die Wertschöpfungskette zur Nahrungsmittelproduktion gelangt.

Nach Angaben in den FBS teilte sich im Jahr 2011 die durchschnittliche Nährstoffversorgung in Deutschland auf in 51 % Kohlenhydrate, 37 % Fett und 12 % Protein. Darüberhinaus geben die FBS an, dass sich diese Versorgung gemäß Tabelle 34 in pflanzliche und tierische Quellen aufteilte.

Tabelle 34: Durchschnittliche Versorgung mit Nährstoffen in Deutschland im Jahr 2011 (Quelle: FAO Food Balance Sheets)

| | Pflanzlich | Tierisch |
|---------------|------------|----------|
| Protein | 39 % | 61 % |
| Fett | 44 % | 56 % |
| Kohlenhydrate | 95 % | 5 % |

Schließlich rechnen wir diese 3.642 kcal/Kopf*Tag in Trockenmasse pflanzlicher und tierischer Nährstoffe anhand der Aufteilung in Tabelle 34 um und addieren jeweils einen geschätzten 10 % Aufschlag für andere, nicht nährstoffrelevante Stoffe (Mineralien, Ballaststoffe).

Die resultierenden Mengen an Trockenmasse pflanzlicher und tierischer Lebensmittel (etwa 19 Mio. t TM und 5,8 Mio. t TM) gingen auf der Nachfrageseite als Bedarf von Biomasse für die Ernährung der Menschen in der EU-27 ein.

Exportnachfrage

Nach Auswertung der Eurostat-Handelsdatenbank nach SITC-Klassifizierung betrug der Export an pflanzlichen Agrarrohstoffen und -produkten Deutschlands im Jahr 2011 rund 29 Mio. t TM (vgl. Abbildung 29).

Basisdaten für 2011:

Für die Ernährung der Menschen in Deutschland wurden im Jahr 2011 etwa **19 Mio. t TM** für pflanzl. Lebensmittel verwendet und **5,8 Mio. t TM** an tier. Lebensmitteln. Die Exportnachfrage nach pflanzlichen Agrarprodukten betrug weitere **29 Mio. t TM**.

5.2.3.2 Futtermittel

Inländische Nachfrage

Wie für die EU-27 leiten wir den Futtermittelbedarf für die Deckung der inländischen Nachfrage nach tierischen Nahrungsmitteln ab indem wir annehmen, dass die Bilanz zwischen Futterbedarf des inländischen Tierbestandes und dem Import an tierischen Produkten umgerechnet in den Futtermittelbedarf auf der einen Seite und dem Futterbedarf im Inland und der Exportnachfrage auf der anderen Seite ausgeglichen sein müsste.

Nach DVT 2014 beträgt der Futterbedarf des deutschen Nutztierbestandes rund 80 Mio. t, ausgedrückt in Getreideeinheiten⁵. Wir nehmen an, dass dieser Futterbedarf noch mit einer Restfeuchte von 12 % zu verstehen ist und nehmen daher einen Futterbedarf von rund 70 Mio. t TM an.

Der Futterbedarf für importierte tierische Produkte betrug annahmegemäß rund 46 Mio. t TM (umgerechnet mit der Futtereffizienz von 3,69 %) sowie der Futterbedarf für den Export tierischer Produkte rund 27 Mio. t TM (umgerechnet mit der Futtereffizienz von 8,34 %). Dadurch ergibt sich ein Futtermittelbedarf für den inländischen Konsum von 88,7 Mio. t TM. Durch die Anrechnung des als Futtermittel genutzten Aufkommens an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung (s. Abbildung 52) verringert sich dieser Futtermittelbedarf nur geringfügig.

Exportnachfrage

Die Handelsbilanz Deutschlands mit Agrarrohstoffen und -produkten wurde bereits in Abschnitt 5.1.3.2 dargestellt. Den Futterbedarf für den Export tierischer Produkte von **27 Mio. t TM** haben wir ermittelt, indem wir die exportierte Menge an tierischen Produkten mit der für Deutschland angenommenen Futtermitteleffizienz von 8,34 % umrechnen.

⁵ Eine Getreideeinheit entspricht dem Futterwert von Futtergerste. Alle anderen Futtermittel werden auf diesen Futterwert umgerechnet.

Basisdaten für 2011:

Der Futtermittelbedarf zur Deckung der Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln in Deutschland betrug im Jahr 2011 etwa **89 Mio. t TM**. Hinzu kam ein Futtermittelbedarf zur Deckung der Exportnachfrage von **27 Mio. t TM**.

5.2.3.3 Stoffliche Nutzung

Tabelle 35 zeigt die Ergebnisse für die Nachfrage Deutschlands nach Biomasse für die stoffliche Nutzung im Jahr 2011 (insgesamt etwa 32 Mio. t TM). Auch diese Angaben stammen überwiegend aus FAOSTAT sowie eigenen Abschätzungen auf Basis von Méo 2014 und Cefic 2014 sowie Benzing 2014.

Tabelle 35: Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in Deutschland (in Mio. t TM) (Quelle: FAOSTAT 2104, Schmitz et al. 2014, Cefic 2014, eigene Berechnungen)

| | Cellulose/ Hemicellulose | Stärke & Zucker | Fett | Kautschuk | Lignin | Glycerin | Anderes |
|--|-----------------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Chemische Industrie | | | | | | | |
| Pflanzenöle | - | - | 1,00 | - | - | - | - |
| Tierische Fette | - | - | 0,21 | - | - | - | - |
| Chemiezellstoff | 0,40 | - | - | - | - | - | - |
| Stärke/Zucker | - | 0,25 | - | - | - | - | - |
| Bioethanol (Stärke- Äq.) | - | 0,13 | - | - | - | - | - |
| Naturkautschuk | - | - | - | 0,27 | - | - | - |
| Glycerin | - | - | - | - | - | 0,17 | - |
| Anderes* | - | - | - | - | - | - | 0,29 |
| Bau und Möbel (Holz und Bambus) | 14,21 | - | - | - | 3,55 | - | - |
| Papier und Zellstoff | | | | | | | |
| Papierstärke | - | 0,34 | - | - | - | - | - |
| Verpackungen (Papier, Pappe etc. in Holz-Äq.) | 6,34 | - | - | - | 0,33 | - | - |
| Stroh als Tiereinstreu | 3,52 | | | | 0,88 | - | - |
| Textilien (Naturfasern) | 0,03 | - | - | - | - | - | - |
| Gesamt | 24,49 | 0,72 | 1,21 | 0,27 | 4,76 | 0,17 | 0,29 |

* z. B. pflanzl. Wachse, Harze, Gerbstoffe, Proteine und Medizinalpflanzen

Wie für die EU-27 unterscheiden die Angaben in Tabelle 35 nicht zwischen Inlands- und Exportbedarf. Nach VCI 2014 (S. 76) betrug die Exportquote der deutschen Chemischen Industrie, also der Anteil der Exporte am Gesamtumsatz, in den vergangenen Jahren rund 80 %. Diesen Exportanteil nehmen wir auch für den Anteil nachwachsender Rohstoffe an.

Nach Angaben von Arbeit und Leben Bielefeld 2012 (S. 32) beträgt die Exportquote sowohl der deutschen Möbel- also auch der Holzindustrie rund 27-28 %. Nach VDP 2014 beträgt der Auslandsabsatz deutscher Papierfabriken etwa 45 %. Diese Werte übernehmen wir entsprechend für die Berechnung des Exportanteils der Nachfrage nach

nachwachsenden Rohstoffen. Für den Bereich Textilien liegen entsprechende Angaben nicht vor. Wir nehmen daher an, dass dieser auch bei rund 30 % liegen dürfte.

Basisdaten für 2011:

Der Biomassebedarf für die stoffliche Nutzung Deutschlands betrug im Jahr 2011 etwa **32 Mio. t TM**.

5.2.3.4 Bioenergie

Auf Basis von Schillings 2013 ergibt sich, dass Bioenergie für Strom und Wärme in Deutschland 2011 etwa 0,9 EJ und Biokraftstoffe etwa 0,14 EJ zum gesamten Primärenergiebedarf von etwa 1,04 EJ beitrugen.

Wir nehmen wie für die Welt und die EU-27 an, dass 10 % des Aufkommens an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung im Jahr 2011 für Bioenergie für Strom und Wärme genutzt wurden.

Ebenso berücksichtigen wir wieder nicht die gesamte in Tabelle 36 dargestellte Biomasse auch auf der Angebotsseite: Die Nutzung von Altholz, tierischen Nebenprodukte, Siedlungsabfällen und Deponiegas bleibt unberücksichtigt. Nur unter Berücksichtigung der auf der Angebotsseite erfassten Biomasse ergeben sich somit für das Jahr 2011 insgesamt etwa 32 Mio. t TM Biomasse für Strom und Wärme.

Die Abschätzung, die wir in Tabelle 36 vornehmen, stimmt nur teilweise mit anderen Darstellungen zur Zusammensetzung der Bioenergie in Deutschland überein. Im Wesentlichen haben wir versucht, die genannten 1,04 EJ Primärenergie auf Grundlage der von uns auf der Angebotsseite angenommenen Mengen an Rohstoffen zu erklären. Für die nicht erfassten Rohstoffen haben wir andere Quellen zur Plausibilitätsprüfung herangezogen. So geben Mühlenhoff et al. 2014 an, dass in Deutschland derzeit etwa zwei Drittel des Aufkommens von 8 Mio. t Altholz energetisch genutzt werden.

Tabelle 36: Nutzung von Biomasse für Strom und Wärme in Deutschland im Jahr 2011
(Quellen: Schillings 2013, eigene Berechnungen)

| | Unterer Heizwert (MJ/kg TM) | Biomasse für Strom und Wärme (Mio. t TM) | Primärenergie (EJ) | Anteil an der Primärenergie für Strom und Wärme (%) |
|---|-----------------------------|--|--------------------|---|
| Feuerholz | 20,0 | 6,21 | 0,124 | 13,84 % |
| Holzkohle | 20,0 | 0,06 | 0,001 | 0,13 % |
| Holzpellets | 20,0 | 1,32 | 0,026 | 2,93 % |
| Andere energetische Holznutzung | 20,0 | 2,38 | 0,048 | 5,30 % |
| Schwarzlauge | 16,0 | 6,47 | 0,104 | 11,53 % |
| Altholz | 20,0 | 6,00 | 0,120 | 13,36 % |
| Tierische Nebenprodukte | 16,0 | 7,00 | 0,112 | 12,47 % |
| Geerntete Agrarbiomasse | 17,0 | 11,86 | 0,202 | 22,45 % |
| Erntenebenprodukte | 17,0 | 3,96 | 0,067 | 7,50 % |
| Siedlungsabfälle und Deponiegas | 15,0 | 6,0 | 0,090 | 10,02 % |
| Lebensmittelverluste und -verschwendung | | | | |
| Kohlenhydrate | 16,7 | 0,18 | 0,003 | 0,33 % |
| Fett | 37,7 | 0,03 | 0,001 | 0,11 % |
| Protein | 16,7 | 0,02 | 0,0003 | 0,03 % |
| Gesamt | - | 51,49 | 0,90 | 100,00 % |
| Davon: Auf der Angebotsseite berücksichtigte Biomasse (Erläuterung siehe Text) | - | 32,26 | 0,57 | 63,67 % |

Basisdaten für 2011:

Der Biomassebedarf Deutschlands für die Erzeugung von 0,9 EJ Primärenergie für Strom und Wärme betrug im Jahr 2011 etwa **51 Mio. t TM**. Angebotsseitig berücksichtigen wir hiervon etwa **32 Mio. t TM**.

5.2.3.5 Biokraftstoffe

Nach Schmitz et al. 2014 (S. 990) betrug die Produktion von Biodiesel in Deutschland im Jahr 2011 etwa 2,4 Mio. t und die von Bioethanol etwa 1,2 Mio. t. Umgerechnet auf den Rohstoffbedarf entsprach dies etwa 2,4 Mio. t Pflanzenöl und 2,2 Mio. t Stärke/Zucker. Tabelle 37 zeigt die Umrechnung detailliert.

Tabelle 37: Umrechnung des Inlandsverbrauchs und Exports von Biokraftstoffen in Deutschland

| | Einheit | Biodiesel | Bioethanol |
|----------------------|---------|-----------|------------|
| Verbrauch und Export | Mrd. l | 3,1 | 1,4 |
| Verbrauch und Export | Mio. t | 2,4 | 1,2 |
| Rohstoffbedarf* | Mio. t | 2,4 | 2,2 |
| Primärenergie | EJ | 0,04 | 0,09 |

Basisdaten für 2011:

Der Biomassebedarf Deutschlands für die Produktion von Biokraftstoffen beträgt etwa **4,6 Mio. t TM**. Hiervon entfallen etwa 2,4 Mio. t TM (hauptsächlich Pflanzenöl) auf die Produktion von Biodiesel und etwa 2,2 Mio. t TM (Zucker/Stärke) auf die Produktion von Bioethanol.

6 Szenarien für 2050

Wie bereits für die Darstellung der Flächenentwicklungen erläutert wurde, werden für die Abschätzung des Biomasseaufkommens im Jahr 2050 drei Szenarien jeweils für die Welt, die EU-27 und Deutschland entwickelt, die die folgenden möglichen Entwicklungspfade widerspiegeln sollen:

- **Niedrig:** Sehr moderate Entwicklung bezüglich landwirtschaftlicher Intensivierung und Flächenumnutzungen
- **BAU:** Im Wesentlichen eine Trendfortschreibung
- **Hoch:** Nachfragegetriebene, starke Flächenumnutzungen zugunsten von Ackerland und intensiver Forstwirtschaft (Plantagenwald)

Nachdem im Abschnitt 0 die Annahmen zur Flächenentwicklung bis zum Jahr 2050 dargelegt wurden, sollen im Folgenden die Annahmen zur Ertragsentwicklung auf diesen Flächen bestimmt werden. Diese Darstellung gliedert sich wiederum in die Abschnitte geerntete Agrarbiomasse, Erntenebenprodukte, Weidebiomasse und Holz.

6.1 Biomasseangebot

6.1.1 Welt

Die folgende Abbildung 53 zeigt zusammenfassend die Ergebnisse für das erwartete Biomasseangebot im Jahr 2050 in den drei Szenarien im Vergleich zu den Basisdaten für 2011. Im Folgenden werden die Annahmen, unter denen diese Ergebnisse zustande gekommen sind, hergeleitet.

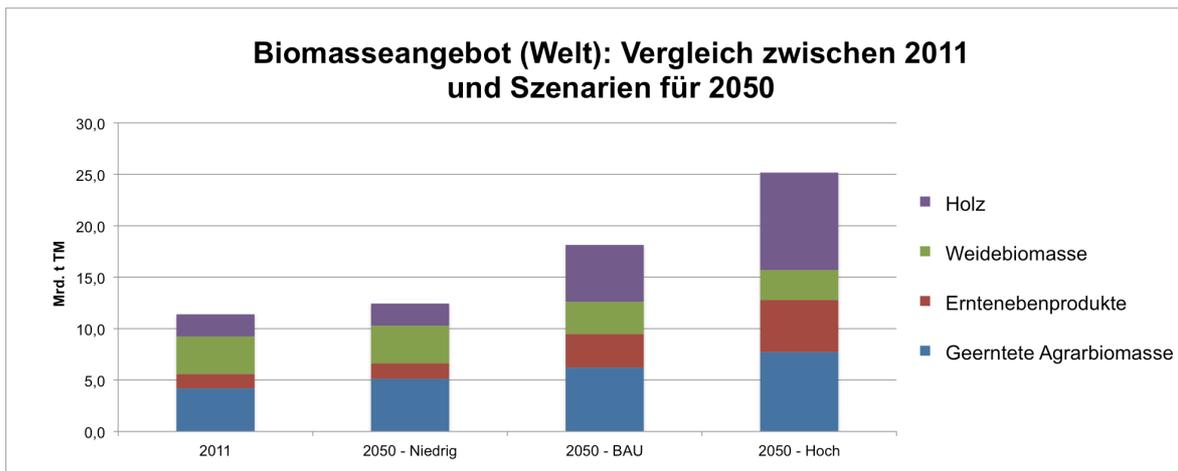


Abbildung 53: Biomasseangebot (Welt): Vergleich zwischen 2011 und Szenarien für 2050 (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen)

6.1.1.1 Flächenverschiebungen

Für die Abschätzung der Verschiebungen der Flächen bis zum Jahr 2050 werden drei Szenarien jeweils für die Welt, die EU-27 und Deutschland entwickelt, die die folgenden möglichen Entwicklungspfade widerspiegeln sollen:

- **Niedrig:** Sehr moderate Entwicklung bezüglich landwirtschaftlicher Intensivierung und Flächenumnutzungen
- **BAU:** Im Wesentlichen eine Trendfortschreibung
- **Hoch:** Nachfragegetriebene, starke Flächenumnutzungen zugunsten von Ackerland und intensiver Forstwirtschaft (Plantagenwald)

Im Folgenden werden für die Welt, die EU-27 und Deutschland die Annahmen erläutert die diesen Szenarien zugrunde liegen.

Tabelle 38 gibt zunächst einen Gesamtüberblick über die Basisdaten und Modellannahmen zur globalen Flächenbelegung. Diese Ergebnisse werden in den folgenden Unterkapiteln erläutert.

Tabelle 38: Modellannahmen für die Belegung der globalen Landfläche in 2050 im Vergleich zu den Basisdaten 2011 (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Einheit | 2011 | 2050 - Niedrig | 2050 - BAU | 2050 - Hoch |
|---|----------------|--------------|-------------------|---------------|----------------|
| Globale Landfläche: | Mrd. ha | 13,02 | 13,02 | 13,02 | 13,02 |
| Agrarfläche | | 4,91 | 4,81 | 4,83 | 4,89 |
| davon Ackerfläche | Mrd. ha | 1,40 | 1,37 | 1,77 | 2,03 |
| davon Dauerkulturen | Mrd. ha | 0,15 | 0,15 | 0,19 | 0,22 |
| davon Dauergrünland und Wiesen | Mrd. ha | 3,36 | 3,29 | 2,87 | 2,64 |
| <i>Erklärung Flächenveränderungen:</i> | | | | | |
| + <i>Zusätzliches Land</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | +435 | +760 |
| + <i>Waldfläche die in Agrarfläche umgewandelt wird</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | +100 | +100 |
| - <i>Weideland</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | -218 | -380 |
| - <i>Degradation</i> | <i>Mio. ha</i> | - | -100 | -400 | -500 |
| Waldfläche | | 4,03 | 4,03 | 3,90 | 3,90 |
| davon naturnaher Wirtschaftswald | Mrd. ha | 2,29 | 2,29 | 2,20 | 2,00 |
| davon Primärwald | Mrd. ha | 1,45 | 1,45 | 1,21 | 1,21 |
| davon Plantagenwald | Mrd. ha | 0,29 | 0,29 | 0,49 | 0,68 |
| <i>Erklärung Flächenveränderungen:</i> | | | | | |
| - <i>Waldfläche</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | -133 | -133 |
| - <i>Primärwald</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | -236 | -236 |
| - <i>Naturnaher Wirtschaftswald</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | -92 | -287 |
| + <i>Plantagenwald</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | +195 | +390 |
| Sonstige Fläche | | 4,08 | 4,18 | 4,30 | 4,23 |
| davon Wüsten und Ödland | Mrd. ha | 2,75 | 2,85 | 2,98 | 2,91 |
| davon Eis- und Kaltwüsten | Mrd. ha | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 |
| davon Küstenstreifen | Mrd. ha | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,43 |
| Feuchtgebiete | Mrd. ha | 0,09 | 0,09 | 0,05 | 0,05 |
| Bebautes Land | Mrd. ha | 0,03 | 0,03 | 0,06 | 0,06 |
| <i>Erklärung Flächenveränderungen:</i> | | | | | |
| <i>Umwandlung von Feuchtgebieten in Ackerland</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | -40 | -40 |
| <i>Zunahme der bebauten Fläche durch Abholzung</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | + 30 | + 30 |

Flächenausweitungen

Zahlreiche Studien haben sich mit der zukünftigen Entwicklung der globalen Landflächen beschäftigt. Einen guten Überblick über bestehende Studien finden sich z. B. in Kampman et al. 2008 und Kleinhanß und Junker 2012. Wie eingangs erwähnt, untersuchen die meisten dieser Studien den Agrarflächenbedarf für bestimmte Nachfrageszenarien (z. B. IPCC 2013, Alexandratos und Bruinsma 2012). Andere Studien legen den Fokus auf die für Bioenergie potenziell zur Verfügung stehende Fläche (z. B. Smeets et al. 2007, Hoogwijk et al. 2005, Tilman et al. 2006).

Um unabhängig von Nachfrageszenarien das Flächenpotenzial anhand agrarökologischer Bedingungen zu quantifizieren, nehmen wir daher Bezug auf Fischer et al. 2011, die die Landpotenziale für den Regenfeldanbau berechnet haben (Tabelle 39).

Tabelle 39: Land mit Potenzial für Regenfeldanbau (Quelle: Fischer et al. 2011, in: Alexandratos und Bruinsma 2012, S. 104)

| Mio. ha:* | Total | Potenzial | VS** | S | MS | mS | vmS | NS |
|---|--------|-----------|------------|------------|-----|-------|-------|-------|
| Gesamt | 13.295 | 4.495 | 1.315 | 2.187 | 993 | 1.111 | 1.627 | 6.061 |
| Davon: landwirtschaftlich genutzt | 1.559 | 1.260 | 442 | 616 | 201 | 120 | 104 | 75 |
| Davon: im Regenfeldanbau | 1283 | 1.063 | 381 | 516 | 166 | 93 | 84 | 43 |
| Davon: bewässert | 276 | 197 | 61 | 100 | 35 | 27 | 20 | 32 |
| Bruttobilanz: Land mit Potenzial für Regenfeldanbau | | 3.236 | 873 | 1.571 | 792 | 991 | 1.523 | |
| Waldfläche | 3.736 | 1.601 | 453 | 854 | 293 | 342 | 530 | 1.263 |
| Streng geschütztes Land | 638 | 107 | 30 | 50 | 27 | 39 | 59 | 432 |
| Bebaute Fläche | 152 | 116 | 41 | 61 | 14 | 12 | 10 | 15 |
| Nettobilanz: Land mit Potenzial für Regenfeldanbau | | 1.412 | 349 | 606 | 458 | 598 | 923 | |

*Berücksichtigte Kulturen: Getreide, Knollenfrüchte, Zuckerpflanzen, Hülsenfrüchte, Ölpflanzen.

** Eignungsklassen des Landes für Regenfeldanbau; Klassifizierung aufgrund des zu erzielenden Ertrages relativ zum maximal erzielbaren Ertrages; VS (*Very Suitable*): 80-100 %, S (*Suitable*): 60-80 %, MS (*Moderately Suitable*): 40-60 %, mS (*marginally Suitable*): 20-40 %, vmS (*very marginally Suitable*): 5-20 %, NS (*Not Suitable*): <5 %.

Insgesamt bliebe nach Fischer et al. 2011 nach Abzug der bereits genutzten Flächen, der Waldfläche, anderer streng geschützter Fläche und der bebauten Fläche ein Nettopotenzial an Land für Regenfeldanbau von rund 1,4 Mrd. ha übrig (s. Tabelle 39). Der Großteil dieses Potenzials befindet sich in Sub-Sahara Afrika und Südamerika (s. Abbildung 54).

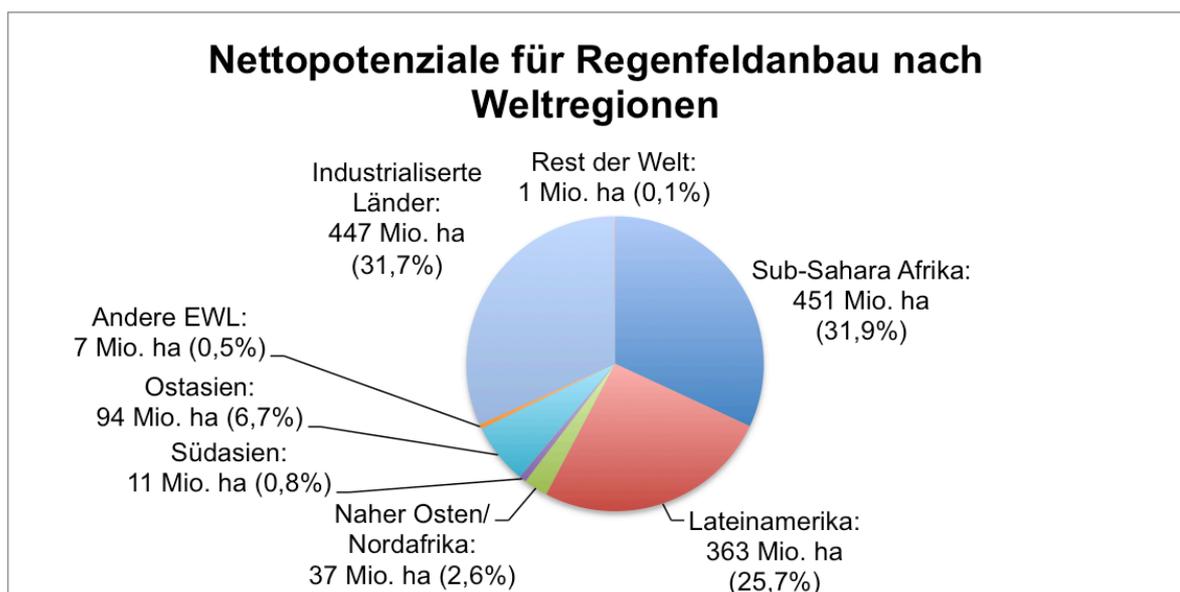


Abbildung 54: Nettopotenziale für Regenfeldanbau nach Weltregionen (Quelle: Fischer et al. 2011, in: Alexandratos und Bruinsma 2012, S. 104)

Wir nehmen an, dass im Szenario „2050 – BAU“ von den in Tabelle 39 aufgeführten Flächen mit Potenzial für Regenfeldanbau (abzüglich der heute streng geschützten Flächen, der Waldfläche und der bebauten Fläche) zwei Drittel des sehr geeigneten Landes (VS, *very suitable*; gesamt: 349 Mio. t) und ein Drittel des Landes mit guter Eignung (S, *suitable*; gesamt: 606 Mio. ha) in Nutzung genommen werden.

Diese Flächen ergeben in der Summe etwa 435 Mio. ha. Demensprechend nehmen wir für das BAU-Szenario an, dass die Fläche für Acker- und Dauerkulturen um diese 435 Mio. ha ausgeweitet werden könnte. Für das Szenario „2050 – Niedrig“ nehmen wir hingegen an, dass diese Flächenausweitungen nicht realisierbar seien. Im Szenario „2050 – Hoch“ sei es dagegen möglich, das Potenzial für Regenfeldanbau noch stärker zu aktivieren und den Flächenausbau auf die gesamte Fläche des Landes mit sehr hohem Potenzial und zwei Drittel des Landes mit hohem Potenzial auszuweiten – also insgesamt etwa 760 Mio. ha. Wir nehmen an, dass diese Flächen jeweils entsprechend des heutigen Flächenverhältnisses von Acker- und Dauerkulturen genutzt würden. Aufgrund der guten Eignung dieses Landes für Acker- und Dauerkulturen wären signifikant geringere Erträge gegenüber bereits genutzten Flächen nicht zu erwarten.

Die folgenden drei Modellannahmen fassen die genannten Annahmen zu Flächenausweitungen zusammen.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Niedrig“:

Es wird kein zusätzliches Land für Acker- und Dauerkulturen in Nutzung genommen.

Modellannahme für das Szenario „2050 – BAU“:

Es können **435 Mio. ha** Land mit sehr hohem oder hohem Potenzial für Regenfeldanbau zusätzlich in Nutzung genommen werden. Diese Fläche setzt sich zusammen aus zwei Dritteln des Landes mit sehr hohem Potenzial nach Fischer et al. 2011 ($349 \text{ Mio. ha} * 67 \% = 233 \text{ Mio. ha}$) und einem Drittel des Landes mit hohem Potenzial ($606 \text{ Mio. ha} * 33 \% = 202 \text{ Mio. ha}$).

Modellannahme für das Szenario „2050 – Hoch“:

Es können **760 Mio. ha** Land mit sehr hohem oder hohem Potenzial für Regenfeldanbau zusätzlich in Nutzung genommen werden. Diese Fläche setzt sich zusammen aus der gesamten Fläche des Landes mit sehr hohem Potenzial nach Fischer et al. 2011 (349 Mio. ha) und zwei Dritteln des Landes mit hohem Potenzial ($606 \text{ Mio. ha} * 67 \% = 406 \text{ Mio. ha}$).

Degradation

Flächenverluste durch Bodendegradation sind in bisherigen Studien zu Flächenpotenzialen kaum berücksichtigt worden. Gleichzeitig gibt es jedoch eine Reihe von Studien, die Flächenverluste durch Degradation bestätigen (Tabelle 40).

Tabelle 40: Jährlich durch Degradation verloren gehende Agrarfläche (Quelle: eigene Darstellung)

| | Jährlich durch Degradation verloren gehende Agrarfläche (Mio. ha) | Erläuterungen |
|----------------------|---|--|
| Bringezu et al. 2010 | 2-5 | Ackerland, dass durch Bodenerosion verloren geht |
| Qadir et al. 2014 | 0,7 | Ackerland, dass durch Versalzung verloren geht |
| IFAD 2013 | 12 | Verlust durch Wüstenbildung |
| Pimentel 2006 | 10 | Verlust durch Summe aller Degradationsformen |

Anhand dieser Studien lässt sich folgern, dass das Ausmaß der verschiedenen Degradationsformen in der Vergangenheit insgesamt eine Größenordnung von etwa 10 Mio. ha jährlich erreicht hat. Setzt man diesen Trend eines jährlichen Verlustes von 10 Mio. ha bis 2050 fort, so könnten bis 2050 etwa 400 Mio. ha Agrarland verloren gehen. Diesen Flächenverlust durch Degradation nehmen wir für das BAU-Szenario an. Für das Hoch-Szenario nehmen wir dagegen einen höheren Flächenverlust von 500 Mio. ha an als Folge nicht nachhaltiger, intensiverer Landwirtschaft. Analog nehmen wir im Niedrig-Szenario einen Verlust von nur 100 Mio. ha an aufgrund extensiverer Bewirtschaftung. Wir nehmen außerdem in jedem Szenario an, dass das Land für Acker- und Dauerkulturen sowie das Grünland gleichermaßen entsprechend ihres Anteils an der Agrarfläche in 2011 durch die Degradation betroffen ist und sich in jedem Fall durch diese Verluste die Ödlandfläche entsprechend erhöht.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Niedrig“:

Durch Bodendegradation sinkt die Fläche für Acker- und Dauerkulturen sowie das Grünland um insgesamt **100 Mio. ha**. Die Ödlandfläche erhöht sich entsprechend.

Modellannahme für das Szenario „2050 – BAU“:

Durch Bodendegradation sinkt die Fläche für Acker- und Dauerkulturen sowie das Grünland um **400 Mio. ha**. Die Ödlandfläche erhöht sich entsprechend.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Hoch“:

Durch Bodendegradation sinkt die Fläche für Acker- und Dauerkulturen sowie das Grünland um **500 Mio. ha**. Die Ödlandfläche erhöht sich entsprechend.

Rückgang der Weideflächen und der sonstigen Flächen

Die Flächen, die das oben diskutierte Potenzial ausmachen, werden derzeit überwiegend als Weideland genutzt und sind zum Teil dem sonstigen Land, d. h. Ödland und Feuchtgebiete, zuzurechnen.

Für das BAU-Szenario nehmen wir an, dass die zusätzlichen 435 Mio. ha je zur Hälfte aus umgebrochenen Weideland und aus den sonstigen Flächen (z. B. Feuchtgebiete und Ödland) stammen. Den Umbruch von Feuchtgebieten nehmen wir jedoch als gering an im Vergleich zu dem Teil der aus der Urbarmachung von Ödland stammt. Im Ergebnis sinkt in diesem Szenario das Weideland um 218 Mio. ha, das Ödland um 178 Mio. ha und die Feuchtgebiete um 40 Mio. ha. Tatsächlich findet bereits in großem Ausmaß ein Umbruch von Grünland in Ackerland statt, häufig zum Anbau von Futterpflanzen, z. B. für den Sojaanbau in Südamerika (Fritz 2013).

Für das Hoch-Szenario gehen wir gleichermaßen vor und nehmen an, dass die zusätzlichen 760 Mio. ha je zur Hälfte aus Grünland und sonstigen Flächen stammen, allerdings lassen wir den Verlust von Feuchtgebieten konstant bei 40 Mio. ha. Dadurch sinkt das Grünland um 380 Mio. ha während das Ödland um 340 Mio. ha sinkt.

Im Niedrig-Szenario erfolgt dagegen keine Ausdehnung der Ackerflächen. Dadurch sinken die Weideflächen nur durch die anteilige Degradation um etwa 68 Mio. ha.

Die folgenden drei Modellannahmen fassen diese Annahmen wiederum zusammen.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Niedrig“:

Es erfolgt keine Ausdehnung der Ackerflächen. Dadurch sinken die Weideflächen nur durch die anteilige Degradation um etwa **68 Mio. ha**.

Modellannahme für das Szenario „2050 – BAU“:

Die zusätzlichen 435 Mio. ha Fläche für Acker- und Dauerkulturen stammen zu jeweils 50 % aus Weideland und sonstigen Flächen. Dadurch sinkt das Weideland zusätzlich zur anteiligen Degradation um **218 Mio. ha**, das Ödland um **178 Mio. ha** und die Feuchtgebiete um **40 Mio. ha**.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Hoch“:

Die zusätzlichen 760 Mio. ha Fläche für Acker- und Dauerkulturen stammen zu jeweils 50 % aus Weideland und sonstigen Flächen. Dadurch sinkt das Weideland zusätzlich zur anteiligen Degradation um **380 Mio. ha**, das Ödland um **340 Mio. ha** und die Feuchtgebiete um **40 Mio. ha**.

Rückgang der Waldflächen und Änderung der Waldflächenverteilung

In der Zeit von 1990 bis 2011 hat die weltweite Waldfläche insgesamt um etwa 140 Mio. ha bzw. jährlich um etwa 7 Mio. ha abgenommen (vgl. Kapitel 5.1.1.1). Ein Teil dieser Fläche ist in Acker- oder Weideland umgewandelt worden. Für das BAU-Szenario muss eine Annahme getroffen werden, wie sich die Waldfläche bis 2050 entwickeln wird. Als Grundlage hierfür nehmen wir das von der EU erklärte Ziel, den weltweiten Waldverlust

bis 2030 zu stoppen (Council of the European Union 2009). Vereinfachend haben wir daher angenommen, dass sich der Trend eines jährlichen Waldverlustes von 7 Mio. ha bis 2030 fortsetzt und die Waldfläche von da an bis 2050 konstant bleibt. Daher nehmen wir an, dass insgesamt eine Waldfläche von gut 130 Mio. ha verloren ginge und die gesamte Waldfläche 2050 dann knapp 3,9 Mrd. ha betrage.

Von den gut 130 Mio. ha würde jedoch nicht alles in Land für Acker- und Dauerkulturen umgewandelt werden. Für das Referenzszenario gehen wir daher davon aus, dass 75 % der abgeholzten Fläche zu Land für Acker- und Dauerkulturen werden, während die restlichen 25 % anders genutzt werden (Infrastruktur, Bebauung etc.). Damit würden durch Abholzung bis 2050 rund 100 Mio. ha landwirtschaftliche Fläche dazu gewonnen werden.

Für das Hoch-Szenario treffen wir die gleichen Annahmen wie für das BAU-Szenario während wir für das Niedrig-Szenario eine Konstanz der Waldflächen annehmen.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Niedrig“:

Die Waldflächen bleiben 2050 gegenüber den Basisdaten konstant.

Modellannahme für das Szenario „2050 – BAU“ und „2050 – Hoch“:

Etwa **100 Mio. ha** Land für Acker- und Dauerkulturen werden durch Abholzung hinzugewonnen. Dies ergibt sich dadurch, dass der derzeitige Trend eines Waldverlustes von 7 Mio. ha p.a. bis 2030 fortgesetzt wird, der Waldverlust ab diesem Zeitpunkt jedoch gestoppt wird. Von diesen gut 130 Mio. ha würden jedoch nur 75 % in Agrarland umgewandelt ($7 \text{ Mio. ha} \cdot 19 \text{ Jahre} \cdot 75 \% = \text{circa } 100 \text{ Mio. ha}$), die anderen 25 % (circa 33 Mio. ha) würden in bebaute Fläche und Infrastrukturflächen umgewandelt.

Neben der Abnahme des Waldes bis 2030 und einer von da an konstanten Fläche bis 2050 nehmen wir weiterhin an, dass sich im BAU-Szenario der Trend der Flächenentwicklung von Primärwald und Plantagenwald bis zum Jahr 2050 linear fortsetzt. Laut FAO 2010 betrug im Zeitraum 2000 bis 2010 der Verlust an Primärwald etwa 0,4 % bzw. etwa 6 Mio. ha pro Jahr. Für das BAU-Szenario treffen wir die Annahme, dass sich dieser Trend bis 2050 fortsetzen würde, so dass die Fläche des Primärwaldes gegenüber 2011 um rund 236 Mio. ha abgenommen hätte. Der Plantagenwald wuchs dagegen im gleichen Zeitraum (2000 bis 2010) um etwa 5 Mio. ha pro Jahr. Auch diesen Trend setzen wir für das Referenzszenario bis 2050 fort, so dass sich im Jahr 2050 der Plantagenwald um 195 Mio. ha auf 485 Mio. ha erhöht hätte.

Die lineare Fortsetzung dieser Trends ergibt damit einen Nettorückgang der Waldflächen von 41 Mio. ha. Um schließlich zu einer Gesamtbilanz des Waldflächenrückgangs von 133 Mio. ha bis zum Jahr 2050 zu kommen, müsste der naturnahe Wirtschaftswald schließlich zusätzlich bis 2050 um etwa 92 Mio. ha zurückgehen.

Für das Hoch-Szenario nehmen wir an, dass sich der Trend einer Zunahme des Plantagenwaldes verdoppelt und dieser damit bis 2050 um insgesamt 390 Mio. ha steigt. Da wir die Abnahme des Primärwaldes um 236 Mio. ha beibehalten, müsste in diesem Szenario die Fläche des naturnahen Wirtschaftswaldes noch um 287 Mio. ha sinken um wiederum auf einen Gesamtverlust von 133 Mio. ha Waldfläche zu kommen.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Niedrig“:

Die Verteilung der Waldflächen bleibt 2050 gegenüber den Basisdaten konstant.

Modellannahme für Szenario „2050 – BAU“:

Die weltweite Fläche an Primärwald sinkt von 2011 bis 2050 um etwa **236 Mio. ha**. Der Plantagenwald nimmt im gleichen Zeitraum um etwa **195 Mio. ha** zu und die Fläche des naturnahen Wirtschaftswaldes um etwa **92 Mio. ha** ab.

Modellannahme für Szenario „2050 – Hoch“:

Die weltweite Fläche an Primärwald sinkt von 2011 bis 2050 um etwa **236 Mio. ha**. Der Plantagenwald nimmt im gleichen Zeitraum um etwa **390 Mio. ha** zu und die Fläche des naturnahen Wirtschaftswaldes um etwa **287 Mio. ha** ab.

Zunahme der bebauten Fläche

Oben wurde die Annahme getroffen, dass 25 % der bis 2030 abgeholzten Waldfläche (circa 33 Mio. ha) in Infrastrukturflächen bzw. bebautes Land im weitesten Sinne umgewandelt würden. Damit würde sich die bebauten Fläche (vgl. Tabelle 38) von 2011 bis 2050 von etwa 0,03 Mrd. ha auf 0,06 Mrd. ha ungefähr verdoppeln.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Niedrig“:

Die bebauten Fläche bleibt 2050 gegenüber den Basisdaten konstant.

Modellannahme für das Szenario „2050 – BAU“ und „2050 – Hoch“:

Die weltweite Infrastrukturfläche bzw. bebauten Fläche im weitesten Sinne verdoppelt sich von 2011 bis 2050 von ungefähr 0,03 auf 0,06 Mrd. ha. Die hierfür notwendige Fläche stammt annahmegemäß aus der bisherigen Waldfläche.

Zusammenfassung und Diskussion

Durch die Summe der genannten Effekte würde im BAU-Szenario die Fläche für Acker- und Dauerkulturen bis 2050 von 1,55 Mrd. ha um rund 409 Mio. ha auf etwa 1,96 Mrd. ha zunehmen. Im Niedrig-Szenario würde sie dagegen um rund 32 Mio. ha auf 1,52 Mrd. ha sinken und im Hoch-Szenario um 702 Mio. ha auf 2,25 Mrd. ha steigen.

Nun stellt sich zu Recht die Frage, ob Landnutzungsänderungen in dieser Größenordnung global gesehen noch als nachhaltig bezeichnet werden könnten. Bringezu et al. 2014 ziehen auf Basis der Modellergebnisse von Van Vuuren und Faber 2009 den Schluss, dass, um den globalen Biodiversitätsverlust bis 2020 zu stoppen, die weltweite Fläche für Acker- und Dauerkulturen netto auf maximal 1,64 Mrd. ha steigen dürfte. Diese Größenordnung wird als „*safe operating space*“ bezeichnet, d. h. die äußeren Grenzen innerhalb derer eine nachhaltige Entwicklung als möglich angesehen wird. Unter den in Bringezu et al. 2014 entwickelten BAU-Szenarien würde die Agrarflächenausdehnung

jedoch zum Teil weit darüber liegen (vgl. Abbildung 55). Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse erscheint die von uns getroffene Modellannahme einer Nettoausdehnung auf 1,96 Mrd. ha im BAU-Szenario bis zum Jahr 2050 als schon nicht mehr innerhalb dieses „safe operating space“ liegend. Allerdings vernachlässigt die reine Fokussierung auf die Ausdehnung der Agrarflächen viele andere Faktoren die für die Beurteilung der Nachhaltigkeit der Landnutzung eine Rolle spielen, z. B. die Form der Landwirtschaft und die Ausweisung von Schutzzone.

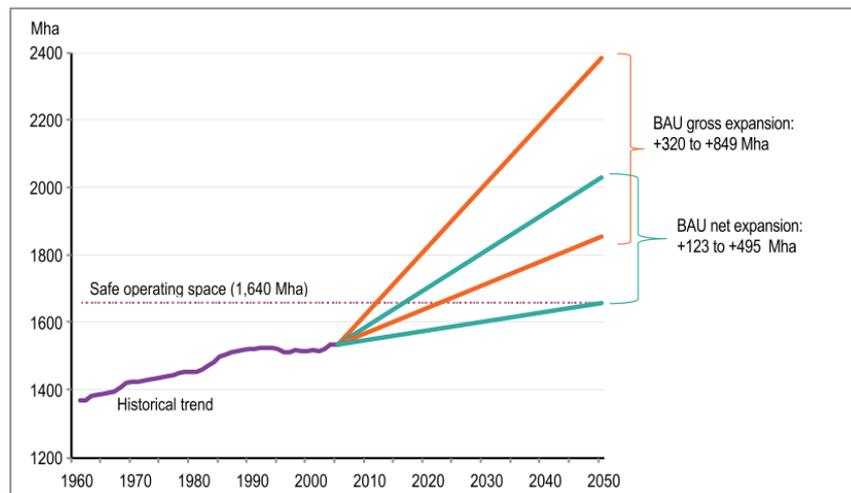


Abbildung 55: Ausdehnung der weltweiten Agrarfläche (Acker- und Dauerkulturen): BAU- Szenarien und *safe operating space* (Quelle: Bringezu et al. 2014, S. 68)

Sämtliche oben genannten Modellannahmen führen schließlich zu den in Tabelle 38 aufgeführten Flächenverschiebungen. Nimmt man alle Modellannahmen zusammen, so ergibt sich, dass die Agrarfläche bis 2050 im BAU-Szenario um etwa 80 Mio. ha sinken würde (von 4,91 Mrd. ha auf 4,83 Mrd. ha), denn der Ausweitung der Ackerfläche und der Fläche mit Dauerkulturen um 135 Mio. ha stünde ein Verlust an Weideflächen von 218 Mio. ha gegenüber. Aus Vereinfachungsgründen nehmen wir an, dass es zu keinen Verschiebungen des Verhältnisses zwischen Ackerfläche und der Fläche mit Dauerkulturen kommen würde, so dass die 135 Mio. ha hinzugewonnene Fläche gemäß des derzeitigen Flächenverhältnisses aufgeteilt würden. Die Waldfläche würde wie beschrieben von 4,03 Mrd. ha auf 3,90 Mrd. ha sinken und die sonstige Fläche von etwa 4,08 Mrd. ha auf 4,30 Mrd. ha steigen.

Im Niedrig-Szenario würde die Agrarfläche dagegen durch die Flächendegradation um 100 Mio. ha sinken und die sonstige Fläche entsprechend zunehmen. Im Hoch-Szenario würde die Agrarfläche um etwa 20 Mio. ha gegenüber 2011 sinken da der Ausweitung der Fläche für Acker- und Dauerkulturen um 360 Mio. ha ein Rückgang der Weideflächen um 380 Mio. ha gegenübersteht.

Zur besseren Veranschaulichung zeigt die Abbildung 56 wie im BAU-Szenario die einzelnen Effekte auf die gesamte Verschiebung der weltweiten Flächenverteilung wirken.

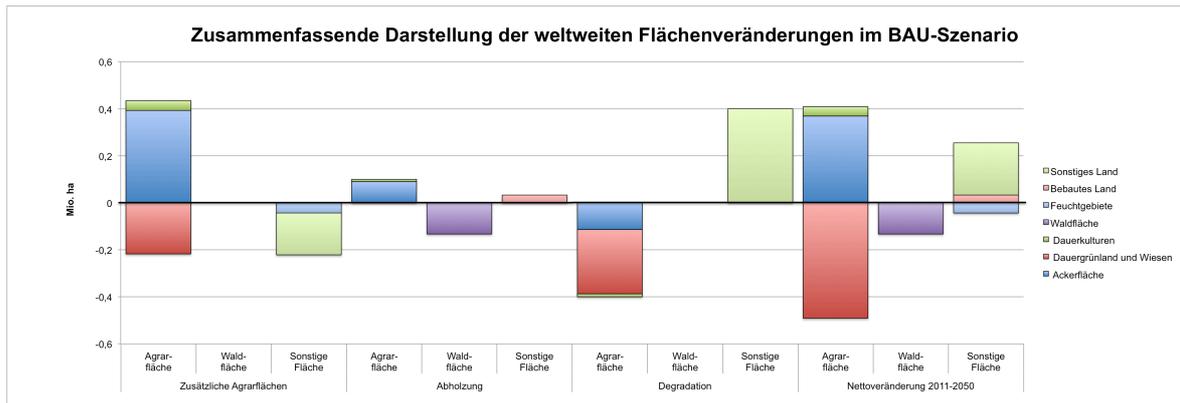


Abbildung 56: Zusammenfassung der weltweiten Flächenveränderungen im Szenario „2050 – BAU“ (Quelle: eigene Darstellung)

6.1.1.2 Geerntete Agrarbiomasse

Im Folgenden wird hergeleitet, welches Angebot an geernteter Agrarbiomasse wir im Rahmen der Modellannahmen und auf Grundlage des heutigen Biomasseangebotes für das Jahr 2050 herleiten. Die Flächenentwicklungen wurden im vorangegangenen Abschnitt bereits diskutiert. Als weitere Parameter, die das Angebot an geernteter Agrarbiomasse bestimmen, sind Annahmen über die Entwicklung der Hektarerträge und über die Entwicklung des *Multi-Cropping-Index* zu treffen.

Der Einschätzung der FAO zufolge waren Ertragssteigerungen in der Vergangenheit die Hauptantriebskraft für Produktionssteigerungen und werden es auch in Zukunft bleiben. Wie Abbildung 57 zeigt, ist die im Zeitraum 1961-2007 weltweit erzielte Steigerung der Agrarproduktion zu knapp 80 % auf Ertragssteigerungen zurückzuführen und dies wird sich nach Einschätzung von Alexandratos und Bruinsma 2012 bis 2050 nicht wesentlich ändern, wobei die Bedeutung von Intensitätssteigerungen (im Sinne des *Multi-Cropping*) leicht zunimmt. Die Situation in Entwicklungsländern unterscheidet sich vom weltweiten Durchschnitt im Wesentlichen durch eine höhere Bedeutung der Flächenausdehnung.

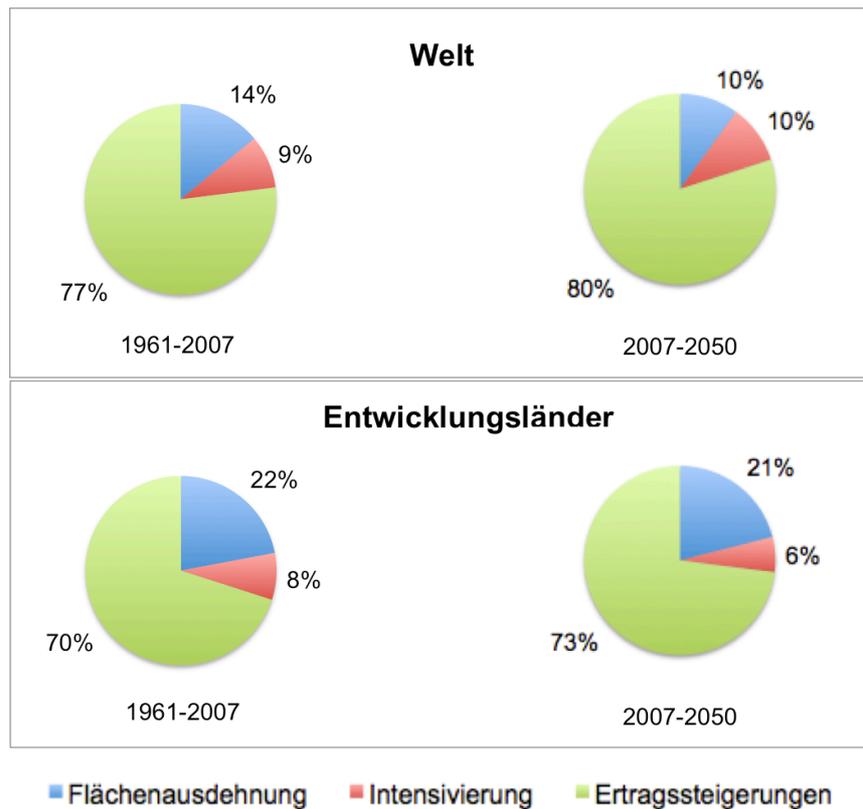


Abbildung 57: Gründe für landwirtschaftliche Produktionssteigerungen in Entwicklungsländern und weltweit (Quelle: Alexandratos und Bruinsma 2012)

In Sub-Sahara Afrika waren in den vergangenen vier Jahrzehnten sogar nur 34 % der Produktionssteigerung auf Ertragssteigerungen und Intensivierung (im Sinne des *Multi-Cropping*) zurückzuführen, während 66 % durch Flächenausdehnungen erzielt wurden (UNEP 2013a, S. 433).

Wie Alexandratos und Bruinsma 2012 betonen, können diese Abschätzungen nur eine grobe Orientierung für die Einschätzung der künftigen Entwicklung geben. Zum Beispiel sind, wie bereits im Abschnitt zum heutigen Biomasseangebot erwähnt, historische Angaben zur Gesamtackerfläche in vielen Ländern unzuverlässig. Zudem existieren für die meisten Länder keine belastbaren Angaben zur Bewirtschaftungsintensität. Stattdessen wurde jene durch einen Vergleich gerernteter Fläche, aggregiert über alle Kulturen, mit der vorhandenen Ackerfläche abgeleitet (Alexandratos und Bruinsma 2012, S. 98).

Wie bereits erläutert, waren in der Vergangenheit Ertragssteigerungen der wichtigste Faktor für Steigerungen der landwirtschaftlichen Produktion. In den letzten Jahren hat sich jedoch gezeigt, dass die jährlichen Wachstumsraten der Getreideerträge nicht mehr mit dem denen der Weltbevölkerung Schritt halten konnten (Bringezu 2009).

Entwicklung der Hektarerträge

Alexandratos und Bruinsma 2012 halten eine weitere Steigerung der globalen Durchschnittserträge jedoch weiterhin für möglich. Die folgende Tabelle 41 zeigt die von den Autoren prognostizierte Ertragsentwicklung der wichtigsten Ackerkulturen und ihre Prognose bis 2050. Den Autoren zufolge wurden diese Einschätzungen auf Basis des FAO-

Expertenwissens und v.a. auf Grundlage der Arbeit von Fischer et al. 2011 zu agrarökologischen Zonen und deren Ertragspotenzialen getroffen.

Tabelle 41: Hektarerträge wichtiger Ackerkulturen: Entwicklung und Prognosen (Quelle: Alexandratos und Bruinsma 2012, S. 121, FAOSTAT 2013)

| | Weltweite Durchschnittserträge (t/ha) | | | | Prozentuale Ertragssteigerung 2011-2050 |
|------------------------|---------------------------------------|-----------|------|-------|---|
| | 1961/63 | 2005/2007 | 2011 | 2050* | |
| Getreide: | | | | | |
| Weizen | 1,1 | 2,8 | 3,2 | 3,8 | +19 % |
| Mais | 2,0 | 4,7 | 5,2 | 6,1 | +17 % |
| Reis | 1,9 | 4,1 | 4,4 | 5,3 | +16 % |
| Gerste | 1,4 | 2,4 | 2,7 | 2,9 | +7 % |
| Hirse (Sorghum) | 0,9 | 1,3 | 1,4 | 1,9 | +36 % |
| Hirse (Millet) | 0,6 | 0,9 | 0,8 | 1,4 | +75 % |
| Zuckerpflanzen: | | | | | |
| Zuckerrohr | 49 | 68 | 71 | 104 | +47 % |
| Ölpflanzen: | | | | | |
| Soja | 1,1 | 2,3 | 2,5 | 3,2 | +28 % |
| Raps | 0,6 | 1,6 | 1,9 | 2,8 | +47 % |
| Sonnenblumen | 1,0 | 1,3 | 1,6 | 1,7 | +6 % |
| Erdnüsse | 0,9 | 1,5 | 1,6 | 2,0 | +25 % |
| Faserpflanzen: | | | | | |
| Baumwolle | 0,9 | 2,0 | 2,2 | 2,6 | +18 % |
| Hülsenfrüchte | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 1,6 | +78 % |

In Alexandratos und Bruinsma 2012 sind jedoch nur für die 13 in Tabelle 41 aufgeführten Kulturen Ertragsprognosen zu finden. Um zu einer Einschätzung der Ertragsentwicklung für die übrigen (etwa 200) weltweit heute angebauten Kulturen zu gelangen, haben wir daher den nach Anbaufläche gewichteten Mittelwert der in Tabelle 41 genannten prozentualen Ertragssteigerungen (etwa 23 %) auf diese übrigen Kulturen angewendet. Diese Ertragsentwicklungen werden für das Referenzszenario BAU angenommen.

Für das Niedrig-Szenario nehmen wir dagegen an, dass diese prozentualen Ertragssteigerungen nur zu 50 % erreicht werden können, im Hoch-Szenario dagegen, dass 125 % der Ertragssteigerungen erzielt werden können.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Niedrig“:

Bis zum Jahr 2050 werden die prozentualen Ertragssteigerungen die in Alexandratos und Bruinsma 2012 für 13 Kulturen bzw. Kulturgruppen prognostiziert wurden sowie die in dieser Studie angenommenen Ertragssteigerungen für die übrigen Kulturen, die sich als nach Anbaufläche gewichteter Mittelwert dieser Ertragssteigerungen ergeben, zu 50 % erreicht.

Modellannahme für das Szenario „2050 – BAU“:

Bis zum Jahr 2050 werden die prozentualen Ertragsteigerungen die in Alexandratos und Bruinsma 2012 für 13 Kulturen bzw. Kulturgruppen prognostiziert wurden sowie die in dieser Studie angenommenen Ertragssteigerungen für die übrigen Kulturen, die sich als nach Anbaufläche gewichteter Mittelwert dieser Ertragssteigerungen ergeben erreicht.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Hoch“:

Bis zum Jahr 2050 werden die prozentualen Ertragsteigerungen die in Alexandratos und Bruinsma 2012 für 13 Kulturen bzw. Kulturgruppen prognostiziert wurden sowie die in dieser Studie angenommenen Ertragssteigerungen für die übrigen Kulturen, die sich als nach Anbaufläche gewichteter Mittelwert dieser Ertragssteigerungen ergeben, zu 125 % erreicht.

Entwicklung des Multi-Cropping-Index (MCI)

Wie Abbildung 58 zeigt, lag der MCI im weltweiten Durchschnitt im Jahr 2010 bei etwa 0,84, wobei er nur in Asien in den vergangenen Jahrzehnten teilweise über 1 lag. Neben den geographischen und damit klimatischen Bedingungen wird die hohe Landnutzungsintensität in Asien vor allem dadurch erreicht, dass rund ein Drittel der Ackerfläche bewässert wird. Die regional begrenzte Verfügbarkeit von Wasser für die erforderliche Bewässerung ist ein stark begrenzender Faktor für eine weitere Intensivierung, nicht nur in Asien.

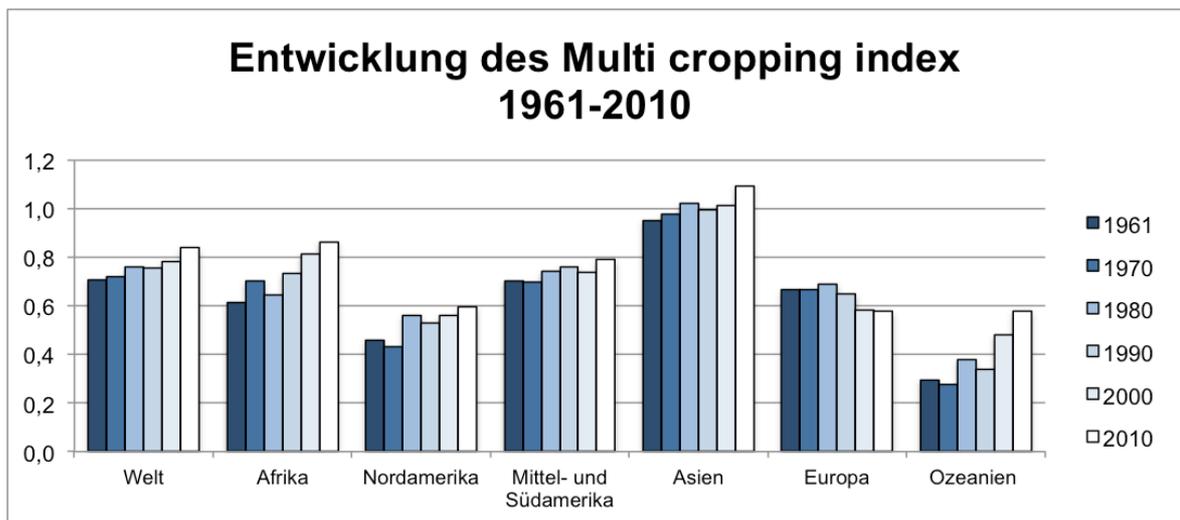


Abbildung 58: Entwicklung des *Multi-Cropping-Index*, weltweit und Kontinent-bezogen (Quelle: OECD-FAO 2009, S. 68)

Der OECD-FAO Agricultural Outlook 2009 geht davon aus, dass die Bewirtschaftungsintensität zwar weltweit weiter zunehmen wird, allerdings mit geringeren Steigerungsraten. Ein besonders großes Potenzial wird für Lateinamerika und einige afrikanische Länder gesehen (OECD-FAO 2009, S. 69).

Als Grund für das abgeschwächte Wachstum des MCI wird im OECD-FAO Agricultural Outlook 2009 u.a. der Abzug von Arbeitskräften aus der Landwirtschaft, durch fortschreitende Industrialisierung und Urbanisierung, genannt, wodurch die Möglichkeiten zur intensiven Bewirtschaftung einschränkt werden.

Darüber hinaus wird eine weiter zunehmende Intensivierung durch mehrere Ernten pro Jahr in einigen Regionen als Hauptfaktor der Bodendegradation angesehen, was das langfristige Ertragspotenzial mindert und eine weitere Steigerung des MCI verhindert. In anderen Regionen (Lateinamerika und einige afrikanische Länder) bestünde nach Angaben der Autoren dagegen ein hohes Potenzial für eine verträgliche Intensivierung.

Im Durchschnitt der letzten 50 Jahre konnte der MCI jährlich um etwa 0,003 gesteigert werden. Für das BAU-Szenario nehmen wir an, dass sich dieser Trend bis 2050 fortsetzt, sodass im Jahr 2050 ein MCI von 0,96 erreicht wird (Abbildung 59). Für das Niedrig-Szenario nehmen wir an, dass die jährliche Zunahme zwischen 2011 und 2050 50 % geringer ausfällt und für das Hoch-Szenario 50 % höher.

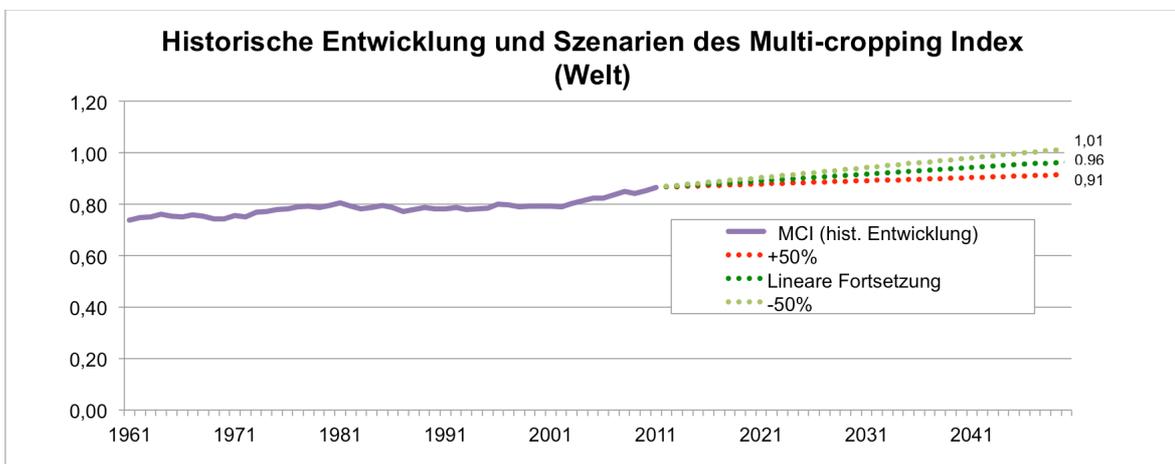


Abbildung 59: Historische Entwicklung und Szenarien des Multi-Cropping-Index (Welt)
(Quelle: eigene Darstellung auf der Basis von FAOSTAT 2013a)

Modellannahme für „2050 – Niedrig“:

Die durchschnittliche jährliche Steigerung des MCI verringert sich zwischen 2011 und 2050 von 0,003 auf 0,001. Im Jahr 2050 erreicht der MCI einen Wert von **0,91**.

Modellannahme für „2050 – BAU“:

Die durchschnittliche jährliche Steigerung des MCI von 0,003 setzt sich bis 2050 fort. Im Jahr 2050 erreicht der MCI einen Wert von **0,96**.

Modellannahme für „2050 – Hoch“:

Die durchschnittliche jährliche Steigerung des MCI erhöht sich zwischen 2011 und 2050 von 0,003 auf etwa 0,004. Im Jahr 2050 erreicht der MCI einen Wert von **1,01**.

Unter Berücksichtigung der drei beschriebenen Faktoren Flächenausweitung, Ertragssteigerungen und Steigerung der Ernten pro Jahr würde die geerntete Agrarbiomasse im BAU-Szenario von etwa 4,9 Mrd. t TM auf gut 7,3 Mrd. t TM steigen (Tabelle 42). Im Niedrig-Szenario würde das Aufkommen an Agrarbiomasse dagegen nur knapp 5 Mrd. t TM betragen und im Hoch-Szenario dagegen knapp 9,4 Mrd. t TM. Diese Ergebnisse sind noch einmal in Tabelle 44 etwas ausführlicher dargestellt.

In den Szenarien für 2050 nehmen wir an, dass die Verteilung der Kulturen gleich bleibt, mit der einzigen Ausnahme, dass wir annehmen, dass die Baumwollanbaufläche konstant bleibt. Stattdessen dehnen sich die Anbauflächen der anderen Faserpflanzen aus.

Diese Annahme ist darin begründet, dass Baumwollanbau mit sehr negativen Umweltauswirkungen verbunden ist. Zum einen führt der hohe Wasserbedarf der Baumwolle in vielen Anbaugenden der Welt bereits heute zu Wasserknappheit, Versalzung und Bodendegradation (Small 2013, WWF 1999). Selbst um die Anbaufläche konstant zu halten müssten daher bereits neue Flächen beansprucht werden. Auch aufgrund des hohen Wärmebedarfs der Baumwolle sind diese Möglichkeiten sehr regional begrenzt. Zum anderen ist der Pestizideinsatz für Baumwolle höher als für jede andere einzelne Kultur (EJF 2007).

Tabelle 42: Ergebnisse auf Basis der Modellannahmen im BAU-Szenario zur geernteten Agrarbiomasse 2050 (Welt) (Quelle: eigene Darstellung)

| | Beerntete Fläche (Mio. ha) | Weltweite Durchschnittserträge (t TM/ha) | Gesamtproduktion (Mio. t TM) |
|--|----------------------------|--|------------------------------|
| Getreide (Weizen, Körnermais,...) | 888,3 | 3,8 | 3,374,4 |
| Futterpflanzen (Futtermais, Silomais,...) | 220,2 | 1,2 | 56,9 |
| Zuckerpflanzen (Zuckerrohr, -rüben,...) | 38,4 | 2,4 | 185,6 |
| Ölpflanzen (Soja, Raps,...) | 306,4 | 2,9 | 888,0 |
| Knollenfrüchte (Kartoffeln, Cassava,...) | 69,0 | 0,9 | 94,7 |
| Früchte (Bananen, Orangen,...) | 77,1 | 5,0 | 342,3 |
| Faserpflanzen (Baumwolle, Jute,...) | 48,1 | 1,5 | 19,8 |
| Hülsenfrüchte (Erbsen, Bohnen,...) | 99,7 | 1,4 | 90,3 |
| Gemüse (Tomaten, Gurken,...) | 65,3 | 0,5 | 22,0 |
| Gewürze und Genussmittel (Tee, Kaffee,...) | 45,0 | 5,2 | 1,153,2 |
| Nüsse (Walnüsse, Cashewnüsse) | 12,8 | 29,0 | 1,115,1 |
| Kautschuk | 12,2 | 0,9 | 10,4 |
| Gesamt | 1.882,5 | - | 7.352,9 |

Modellannahme für Szenario „2050 – Niedrig“:

Die geerntete Agrarbiomasse beträgt im Jahr 2050 knapp **5 Mrd. t TM**. Dieses Ergebnis kommt unter folgenden Annahmen zustande: 1) Rückgang der Fläche für Acker- und Dauerkulturen um 32 Mio. ha auf 1,52 Mio. ha, 2) die prozentualen Ertragssteigerungen in Alexandratos und Bruinsma 2012 für 13 Kulturen bzw. Kulturgruppen sowie die in dieser Studie angenommenen Ertragssteigerungen für die übrigen Kulturen, die sich als nach Anbaufläche gewichteter Mittelwert dieser Ertragssteigerungen ergeben, werden zu 50 % erreicht, 3) der MCI erreicht einen Wert von 0,91.

Modellannahme für Szenario „2050 – BAU“:

Die geerntete Agrarbiomasse beträgt im Jahr 2050 gut **7,3 Mrd. t TM**. Dieses Ergebnis kommt unter folgenden Annahmen zustande: 1) Nettoausdehnung der Fläche für Acker- und Dauerkulturen um 702 Mio. ha auf 2,25 Mio. ha, 2) die prozentualen Ertragssteigerungen in Alexandratos und Bruinsma 2012 für 13 Kulturen bzw. Kulturgruppen sowie die in dieser Studie angenommenen Ertragssteigerungen für die übrigen Kulturen, die sich als nach Anbaufläche gewichteter Mittelwert dieser Ertragssteigerungen ergeben, werden erreicht, 3) der MCI erreicht einen Wert von 0,96.

Modellannahme für Szenario „2050 – Hoch“:

Die geerntete Agrarbiomasse beträgt im Jahr 2050 knapp **9,4 Mrd. t TM**. Dieses Ergebnis kommt unter folgenden Annahmen zustande: 1) Nettoausdehnung der Fläche für Acker- und Dauerkulturen um 32 Mio. ha, 2) die prozentualen Ertragssteigerungen in Alexandratos und Bruinsma 2012 für 13 Kulturen bzw. Kulturgruppen sowie die in dieser Studie angenommenen Ertragssteigerungen für die übrigen Kulturen, die sich als nach Anbaufläche gewichteter Mittelwert dieser Ertragssteigerungen ergeben, werden zu 125 % erreicht, 3) der MCI erreicht einen Wert von 1,01.

Abgesehen von den beschriebenen Annahmen hängt das zukünftige Biomasseangebot selbstverständlich von einer Fülle weiterer Faktoren ab, die im Rahmen unseres Modells nicht alle erfasst werden können. Einige Faktoren wurden jedoch im Projektverlauf wiederholt intensiv und kontrovers diskutiert, so dass auf diese im Folgenden in kurzen Exkursen eingegangen werden soll.

Exkurs 1: Phosphatverfügbarkeit

Die Nutzung von Phosphatdünger ist essentiell für die moderne Landwirtschaft. Da dessen Gewinnung zur Zeit fast ausschließlich auf dem Abbau von Phosphatgestein beruht, stellen Phosphate eine endliche Ressource dar, deren Verfügbarkeit das Angebot an Agrarbiomasse zukünftig begrenzen könnte. Dementsprechend werden in der Literatur Szenarien eines „*peak phosphorous*“ diskutiert (Cordell und White 2011). Neuere Untersuchungen kommen jedoch zu dem Ergebnis, dass ein Engpass noch in diesem Jahrhundert unwahrscheinlich ist, insbesondere wenn die verschiedenen Optionen für ein Phosphatrecycling umgesetzt werden (Heckenmüller et al. 2014, Scholz und Wellmer 2013). Dieser Argumentation schließen wir uns an und nehmen in unsere Szenarien daher die Phosphatverfügbarkeit nicht als limitierenden Faktor an.

Exkurs 2: Wasserverfügbarkeit

Schätzungen zufolge benötigt die Landwirtschaft circa zwei Drittel des weltweit genutzten Wassers (UFZ 2011). Die Wasserverfügbarkeit könnte daher ebenfalls zukünftig das Biomassepotenzial begrenzen.

Während mit unseren Biomasseangebotsszenarien für 2050 eine relevante Ausdehnung der Agrarflächen einhergeht, sind diese nach Fischer et al. (2011) allerdings nur solche Flächen, die sich für Regenfeldanbau eignen. Wir nehmen daher an, dass die künstliche Bewässerung durch diese zusätzlichen Flächen nicht gleichzeitig ausgedehnt würde. Damit würde der Druck auf die Wasserressourcen nicht steigen und Wasser kein limitierender Faktor für die Biomasseverfügbarkeit darstellen.

Exkurs 3: Klimawandel

Die Folgen des Klimawandels haben wir in unseren Szenarien nicht mit einbezogen, da deren Netto-Effekte nicht belastbar kalkuliert werden können. Positive Effekte wie der CO₂-Düngungseffekt und Anpassungen im Anbau könnten dazu führen, dass die Auswirkungen bis zur Mitte des Jahrhunderts relativ gering bleiben. Die Häufung von Extremsituationen (Dürren, Hitzewellen, Stürme) wird zudem als bedeutsamer eingeschätzt als die allmähliche Veränderung der Durchschnittswerte (Fischer 2009).

Die große Unsicherheit in Bezug auf die Auswirkungen des Klimawandels zeigt sich auch in den Flächenszenarien des IPCC: Abhängig von den modellierten Treibhausgaskonzentrationen berechnet das IPCC eine Veränderung der Ackerfläche +/- 20 % und des Grünlandes von +8% bis -25 % (IPCC 2013).

6.1.1.3 Erntenebenprodukte

Durch die höhere Agrarproduktion würde gleichzeitig auch bereits das Aufkommen an Erntenebenprodukten steigen. Zusätzlich nehmen wir jedoch an, dass der genutzte Anteil der Erntenebenprodukte steigen würde. Von einem heute genutzten Anteil von rund 25 % (Jölli und Giljum 2005) könnte der Anteil nach Einschätzung von Fischer et al. 2007 (S. 53) auf etwa 50 % steigen ohne die Bodenfruchtbarkeit zu gefährden. Diese Steigerung des Anteils genutzter Nebenprodukte nehmen wir daher für das Hoch-Szenario an. Dies würde

2050 zu einem genutzten Aufkommen an Erntenebenprodukten von etwa 5,0 Mrd. t TM führen im Vergleich zu 1,4 Mrd. t TM heute.

Für das Niedrig-Szenario nehmen wir dagegen an, dass der Anteil genutzter Nebenprodukte bei 25 % bleibt. Dies würde nur durch die gestiegene Agrarproduktion zu einem genutzten Aufkommen von etwa 1,5 Mrd. t TM Erntenebenprodukten führen. Für das BAU-Szenario nehmen wir schließlich an, dass der Anteil auf 40 % gesteigert würde, was zu einem Aufkommen von knapp 3,2 Mrd. t TM führen würde.

Modellannahme für Szenario „2050 – Niedrig“:

Der genutzte Anteil an Erntenebenprodukten bleibt wie im Jahr 2011 bei 25 %. Dadurch beträgt das genutzte Aufkommen an Erntenebenprodukten in diesem Szenario im Jahr 2050 etwa **1,5 Mrd. t TM**.

Modellannahme für Szenario „2050 – BAU“:

Der genutzte Anteil an Erntenebenprodukten wird von 25 % im Jahr 2011 auf 40 % im Jahr 2050 gesteigert. Dadurch beträgt das genutzte Aufkommen an Erntenebenprodukten in diesem Szenario im Jahr 2050 etwa **3,2 Mrd. t TM**.

Modellannahme für Szenario „2050 – Hoch“:

Der genutzte Anteil an Erntenebenprodukten wird von 25 % im Jahr 2011 auf 50 % im Jahr 2050 gesteigert. Dadurch beträgt das genutzte Aufkommen an Erntenebenprodukten in diesem Szenario im Jahr 2050 etwa **5,0 Mrd. t TM**.

6.1.1.4 Weidebiomasse

Für die Abschätzung des Aufkommens an Weidebiomasse im Jahr 2050 haben wir vereinfachend angenommen, dass sich das Biomasseangebot je Hektar auf diesen Flächen nicht wesentlich verändern wird. Wie in Abschnitt 6.1.1.1 erläutert, wird im BAU-Szenario angenommen, dass die Weidefläche bis 2050 von etwa 3,36 Mrd. ha um 218 Mio. ha auf 3,14 Mrd. ha sinken würde.

Dementsprechend würde, bei gleichem Biomassertrag von 1,1 t TM/ha, im Jahr 2050 ein Aufkommen an Weidebiomasse von etwa 3,1 Mrd. t TM erreicht werden. Dies würde in diesem Szenario jedoch nicht die tierische Produktion und damit auch nicht den weltweiten Futterbedarf verringern. Vielmehr müsste durch den relativen Rückgang des Weidefutterangebotes ein höherer Futteranteil von Ackerflächen bereitgestellt werden. Der Rückgang der Weideflächen hätte damit direkt eine Intensivierung der tierischen Produktion mit höheren Kraftfutteranteilen zur Folge und damit auch einen geringeren Landbedarf je erzeugter Einheit tierischen Produktes.

Für das Niedrig- und das Hoch-Szenario nehmen wir ebenfalls einen konstanten Weidebiomassertrag von 1,1 t/ha TM an. Da im Niedrig-Szenario kein Rückgang der Weideflächen angenommen wurde werden in diesem Szenario wie im Jahr 2011 etwa 3,7 Mrd. t TM Weidebiomasse von Tieren aufgenommen. Im Hoch-Szenario werden dagegen durch einen Rückgang des Weidelandes um 380 Mio. ha nur knapp 3 Mrd. t TM aufgenommen.

Modellannahme für „2050 – Niedrig“:

Die Aufnahme von Weidebiomasse beträgt wie im Basisjahr 1,1 t/ha TM. Da das Weideland konstant bleibt, beträgt die gesamte Weidebiomasse ebenfalls wie im Basisjahr etwa **3,7 Mrd. t TM**.

Modellannahme für „2050 – BAU“:

Die Aufnahme von Weidebiomasse beträgt wie im Basisjahr 1,1 t/ha TM. Da das Weideland um 218 Mio. ha zurückgeht, beträgt die gesamte Weidebiomasse jedoch nur noch etwa **3,1 Mrd. t TM**.

Modellannahme für „2050 – Hoch“:

Die Aufnahme von Weidebiomasse beträgt wie im Basisjahr 1,1 t/ha TM. Da das Weideland um 380 Mio. ha zurückgeht, beträgt die gesamte Weidebiomasse jedoch nur noch knapp **3,0 Mrd. t TM**.

6.1.1.5 Holz

Tabelle 43 zeigt zunächst eine Zusammenfassung der Basisdaten und Modellannahmen zum Holzaufkommen.

Tabelle 43: Zusammenfassung aller Basisdaten und Modellannahmen für 2011 und 2050 (Quelle: eigene Darstellung)

| | Einheit | 2011 | 2050 - Niedrig | 2050 - BAU | 2050 - Hoch |
|---|----------------------|-------------|-------------------|---------------|----------------|
| Holzaufkommen: | Mrd. t TM | 2,06 | 2,05 | 5,52 | 9,37 |
| Waldfläche: | | 4,03 | 4,03 | 3,90 | 3,90 |
| davon naturnaher Wirtschaftswald | Mrd. ha | 2,29 | 2,29 | 2,20 | 2,00 |
| davon Primärwald | Mrd. ha | 1,45 | 1,45 | 1,21 | 1,21 |
| davon Plantagenwald | Mrd. ha | 0,29 | 0,29 | 0,49 | 0,68 |
| Holzerträge: | | | | | |
| Holzertrag im Primärwald und naturnahen Wirtschaftswald | m ³ /ha*a | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Holzertrag im Primärwald naturnahen Wirtschaftswald (inkl. Rinde) | t TM/ha | 1,76 | 1,76 | 1,76 | 1,76 |
| Ausnutzung dieses Potenzials | % | 10,00 | 10,00 | 25,00 | 25,00 |
| Holzertrag im Plantagenwald | m ³ /ha*a | 8,50 | 8,50 | 14,00 | 20,00 |
| Holzertrag im Plantagenwald (inkl. Rinde) | t TM/ha | 5,0 | 5,0 | 8,2 | 11,7 |
| Effektives Holzangebot: | | | | | |
| Aus naturnahem Wirtschaftswald | Mrd. t TM | 0,60 | 0,60 | 1,54 | 1,41 |
| Aus Plantagenwald | Mrd. t TM | 1,44 | 1,44 | 3,97 | 7,96 |

Für das BAU-Szenario nehmen wir an, dass das Angebot an Holz sich bis 2050 zum einen aufgrund des angenommen bis 2030 linear fortgesetzten Waldverlusts und einer konstanten Waldfläche von 2030 bis 2050 und zum anderen aufgrund der Zusammensetzung des Waldes verändert.

Für die Herleitung des Holzaufkommens im Jahr 2011 (Abschnitt 5.1.1.5) wurde angenommen, dass ein Ertrag von 3 m³/ha*Jahr effektiv nur auf 10 % des naturnahen Wirtschaftswaldes erzielt wird. Für 2050 nehmen wir an, dass dieser Anteil im BAU- und Hoch-Szenario auf 25 % steigen würde während er im Niedrig-Szenario bei 10 % bleiben würde. Dadurch würde im naturnahen Wirtschaftswald trotz des Flächenrückgangs das Holzaufkommen von 1,0 Mrd. m³ auf 2,6 Mrd. m³ (circa 1,5 Mrd. t TM) anwachsen.

Für den Plantagenwald nehmen wir an, dass der jährliche Ertrag von 8,5 m³/ha*Jahr auf 14 m³/ha*Jahr (etwa 8,2 t TM/ha, jeweils mit Rinde) steigen würde. Durch diese Ertragssteigerung und die zusätzliche Fläche von 195 Mio. ha würde sich damit 2050 ein Holzangebot aus dem Plantagenwald von etwa 6,8 Mrd. m³ (circa 3,97 Mrd. t TM) ergeben. Dadurch ergibt sich für das BAU-Szenario insgesamt ein Holzangebot von etwa 5,5 Mrd. t TM im Jahr 2050.

Für das Niedrig-Szenario nehmen wir an, dass neben der Flächenverteilung auch die Erträge konstant gegenüber dem Basisjahr 2011 bleiben. Für das Hochszenario nehmen wir dagegen an, dass der Ertrag aus dem Plantagenwald auf 20 m³/ha*Jahr zu steigern wäre (etwa 11,7 t/ha TM). Hierdurch, und durch die Ausdehnung des Plantagenwaldes um 390 Mio. ha würde das Holzangebot in diesem Szenario 1,4 Mrd. t TM aus naturnahem Wirtschaftswald und knapp 8,0 Mrd. t TM aus Plantagenwald betragen, d. h. insgesamt knapp 9,4 Mrd. t TM.

Modellannahme für „2050 – Niedrig“:

Das weltweite Holzaufkommen bleibt konstant auf dem Niveau von 2011 (etwa **2,1 Mrd. t TM**).

Modellannahme für „2050 – BAU“:

Das weltweite Holzaufkommen erhöht sich von 2,1 Mrd. t TM im Jahr 2011 auf **5,5 Mrd. t TM** im Jahr 2050. Dies ergibt sich aus der Steigerung der effektiven Nutzung des naturnahen Wirtschaftswaldes von 15 % auf 40 %, einer Steigerung der Erträge aus Plantagen von 8,5 m³/ha*Jahr auf 14 m³/ha*Jahr sowie einer Ausdehnung des Plantagewaldes um 195 Mio. ha.

Modellannahme für „2050 – Hoch“:

Das weltweite Holzaufkommen erhöht sich von 2,1 Mrd. t TM im Jahr 2011 auf **9,4 Mrd. t TM im Jahr 2050**. Dies ergibt sich aus der Steigerung der effektiven Nutzung des naturnahen Wirtschaftswaldes von 15 % auf 40 %, einer Steigerung der Erträge aus Plantagen von 8,5 m³/ha*Jahr auf 20 m³/ha*Jahr sowie einer Ausdehnung des Plantagewaldes um 390 Mio. ha.

6.1.1.6 Zusammenfassung

Die folgende Tabelle 44 gibt einen Gesamtüberblick über alle für das weltweite Biomasseangebot in 2011 und 2050 verwendeten Basisdaten und Modellannahmen.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit der Flächenverschiebungen sei noch einmal auf die Abbildung 56 am Ende von Abschnitt 6.1.1.1 verwiesen.

Tabelle 44: Zusammenfassung aller Basisdaten und Modellannahmen für 2011 und 2050 (Welt) (Quelle: eigene Darstellung)

| | Einheit | 2011 | 2050 Niedrig | 2050 BAU | 2050 Hoch |
|---|----------------------|---|--|---|---|
| Globale Landfläche: | Mrd. ha | 13,02 | 13,02 | 13,02 | 13,02 |
| Agrarfläche | Mrd. ha | 4,91 | 4,81 | 4,83 | 4,89 |
| davon Ackerfläche | Mrd. ha | 1,40 | 1,31 | 1,52 | 1,73 |
| davon Dauerkulturen | Mrd. ha | 0,15 | 0,14 | 0,16 | 0,18 |
| davon Dauergrünland und Wiesen | Mrd. ha | 3,36 | 3,36 | 3,14 | 2,98 |
| <i>Zusätzliches Land</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | +435 | +760 |
| <i>Weideland</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | -218 | -380 |
| <i>Degradation</i> | <i>Mio. ha</i> | - | -100 | -400 | -500 |
| Waldfläche | Mrd. ha | 4,03 | 4,03 | 3,90 | 3,90 |
| davon naturnaher Wirtschaftswald | Mrd. ha | 2,29 | 2,29 | 2,20 | 2,00 |
| davon Primärwald | Mrd. ha | 1,45 | 1,45 | 1,21 | 1,21 |
| davon Plantagenwald | Mrd. ha | 0,29 | 0,29 | 0,49 | 0,68 |
| <i>Waldfläche</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | -133 | -133 |
| <i>Primärwald</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | -236 | -236 |
| <i>Naturnaher Wirtschaftswald</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | -92 | -287 |
| <i>Plantagenwald</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | +195 | +390 |
| Sonstige Fläche | Mrd. ha | 4,08 | 4,18 | 4,30 | 4,23 |
| davon Wüsten und Ödland | Mrd. ha | 2,75 | 2,85 | 2,98 | 2,91 |
| davon Eis- und Kaltwüsten | Mrd. ha | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 0,78 |
| davon Küstenstreifen | Mrd. ha | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0,43 |
| Feuchtgebiete | Mrd. ha | 0,09 | 0,09 | 0,05 | 0,05 |
| <i>Umwandlung in Ackerland</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | -40 | -40 |
| Bebautes Land | Mrd. ha | 0,03 | 0,03 | 0,06 | 0,06 |
| <i>Zunahme durch Abholzung</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/-0 | + 30 | + 30 |
| Geerntete Agrarbiomasse: | Mrd. t TM | 4,8 | 5,0 | 7,4 | 9,4 |
| Beerntete Fläche: | Mrd. ha | 1,55 | 1,45 | 1,68 | 1,91 |
| <i>Flächenbelegung</i> | | <i>Wie in 2011; nur Baumwollfläche konstant</i> | | | |
| Hektarerträge: | t TM/ha | | <i>Alexandratos und Bruinsma/ gewichtet (50 %)</i> | <i>Alexandratos und Bruinsma/ gewichtet</i> | <i>Alexandratos und Bruinsma/ gewichtet (125 %)</i> |
| MCI: | | 0,87 | 0,91 | 0,96 | 1,01 |
| Erntenebenprodukte: | Mrd. t TM | 1,4 | 2,0 | 4,2 | 6,5 |
| Gesamtmenge | Mrd. t TM | 5,6 | 8,0 | 10,0 | 13,0 |
| Genutzter Anteil | % | 25 | 25 | 40 | 50 |
| Weidebiomasse: | Mrd. t TM | 3,4 | 3,4 | 3,1 | 3,0 |
| Biomasseertrag | t TM/ha | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Holz: | Mrd. t TM | 2,1 | 2,1 | 5,6 | 9,4 |
| Holzertrag im Primärwald und naturnahen Wirtschaftswald | m ³ /ha*a | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Ausnutzung dieses Potenzials | % | 10 | 10 | 25 | 25 |
| Holzertrag im Plantagenwald | m ³ /ha*a | 8,5 | 8,5 | 14,0 | 20,0 |
| Gesamtes Biomasseangebot | Mrd. t TM | 11,7 | 12,4 | 20,3 | 28,3 |

6.1.2 EU-27

Die Integration des internationalen Handels erfordert für die EU-27 und Deutschland eine grundlegend andere Darstellungsweise für die Ableitung nachhaltiger Biomassepotenziale. Während das inländische Biomasseaufkommen analog zur Darstellung für die Welt modelliert werden kann, sind die zukünftigen Im- und Exportströme Variablen die ein viel komplexeres ökonomisches Modell erfordern würden. Klar ist, dass ein nachhaltiges Potenzial zur Nutzung inländischer Biomasse für Biokraftstoffe nicht dadurch entstehen kann, dass auf der anderen Seite die Biomasseimporte erhöht werden um die Nachfrage nach anderen Nutzungen (Lebens- und Futtermittel, stoffliche Nutzung und Bioenergie) im Inland zu befriedigen. Wir betrachten in den Szenarien daher den hypothetischen Fall, dass nur das inländische Biomasseangebot für die Befriedigung der Nachfrage zur Verfügung steht.

Auf der anderen Seite erscheint es plausibel, dass die EU-27 bzw. Deutschland auch in Zukunft bestrebt sein werden, ihre Exportsituation auf dem Weltmarkt mindestens zu halten. Wir nehmen daher an, dass die Exportmengen der EU-27 und Deutschlands an pflanzlichen Agrarrohstoffen und -produkten konstant auf dem Niveau von 2011 bleiben werden. Im Fall der inländischen tierischen Produktion nehmen wir an, dass diese von ihrer Struktur her ebenfalls konstant bleiben wird. Dies hat zur Folge, dass Produktionsmengen die nicht für den inländischen Konsum benötigt werden für den Export bereit stehen.

Falls sich in den Szenarien für 2050 eine positive Differenz zwischen Inlands- und Exportnachfrage auf der einen und inländischem Biomasseangebot auf der anderen Seite ergibt, könnte im strengen Sinne von einem nachhaltigen Potenzial für Biokraftstoffe gesprochen werden. Falls dies nicht der Fall sein sollte, kann letztlich nur ausgesagt werden, dass bereits ohne eine Nachfrage nach Biokraftstoffen Biomasse importiert werden müsste um einen Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage zu erzielen. Um ein Potenzial für Biokraftstoffe zu generieren, müsste darüberhinaus Biomasse importiert werden.

Analog zu Abbildung 53 zeigt die folgende Abbildung 60 zusammenfassend für die EU-27 die Ergebnisse für das erwartete Biomasseangebot im Jahr 2050 in den drei Szenarien (wie oben erklärt ohne Importe) im Vergleich zu den Basisdaten für 2011. Im Folgenden werden die Annahmen, unter denen diese Ergebnisse zustande gekommen sind hergeleitet.

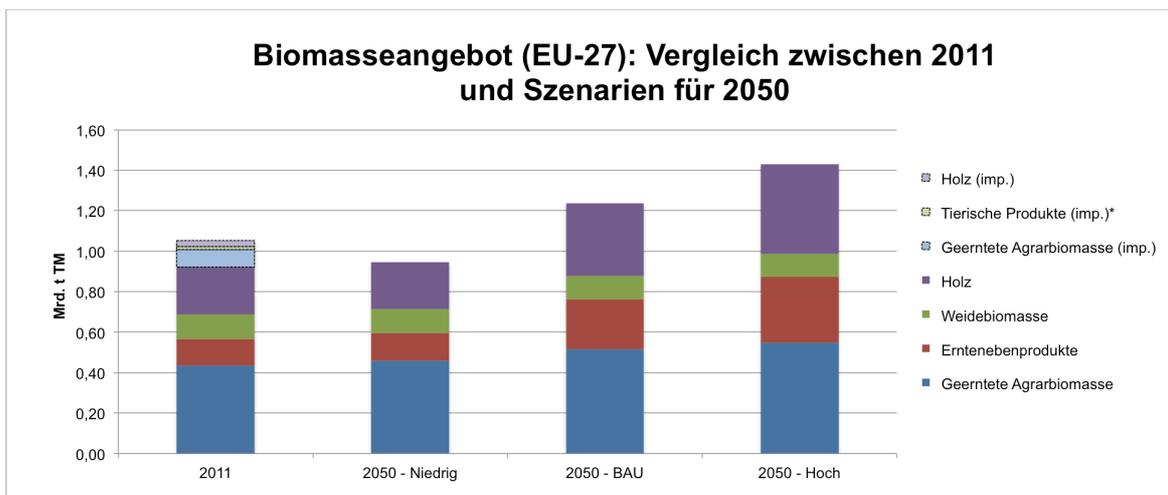


Abbildung 60: Biomasseangebot (EU-27): Vergleich zwischen 2011 und Szenarien für 2050 (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen), *in Futtermitteläquivalenten

6.1.2.1 Flächenverschiebungen

Tabelle 45 gibt zunächst einen Gesamtüberblick über die Basisdaten und Modellannahmen zur Flächenbelegung in der EU-27. Diese Ergebnisse werden in den folgenden Unterkapiteln erläutert.

Tabelle 45: Landflächen der EU-27 in den Szenarien für 2050 gegenüber 2011 (Quelle: eigene Darstellung)

| | Einheit | 2011 | 2050 - Niedrig | 2050 - BAU | 2050 - Hoch |
|--|----------------|---------------|-------------------|---------------|----------------|
| Landfläche: | Mio. ha | 423,76 | 423,76 | 423,76 | 423,76 |
| Agrarfläche | | 187,88 | 182,69 | 184,43 | 185,57 |
| davon Ackerfläche | Mio. ha | 108,35 | 105,36 | 108,51 | 110,56 |
| davon Dauerkulturen | Mio. ha | 11,95 | 11,62 | 11,97 | 12,19 |
| davon Dauergrünland und Wiesen | Mio. ha | 67,58 | 65,71 | 63,96 | 62,82 |
| <i>Erklärung Flächenveränderungen:</i> | | | | | |
| + Zusätzliches Land | Mio. ha | - | +/- 0 | + 3,50 | + 5,78 |
| - Weideland | Mio. ha | - | +/- 0 | - 1,75 | - 2,89 |
| - Flächenversiegelung | Mio. ha | - | - 5,20 | - 5,20 | - 5,20 |
| Waldfläche | | 159,29 | 159,29 | 159,29 | 159,29 |
| davon naturnaher Wirtschaftswald | Mio. ha | 112,38 | 112,38 | 112,38 | 112,38 |
| davon Primärwald | Mio. ha | 4,74 | 4,74 | 4,74 | 4,74 |
| davon Plantagenwald | Mio. ha | 42,17 | 42,17 | 42,17 | 42,17 |
| Sonstige Fläche | | 76,59 | 81,78 | 80,04 | 78,90 |
| davon Ödland | Mio. ha | 15,68 | 15,68 | 14,11 | 13,08 |
| Feuchtgebiete | Mio. ha | 14,18 | 14,18 | 14,00 | 13,89 |
| Bebautes Land | Mio. ha | 46,73 | 51,93 | 51,93 | 51,93 |
| <i>Erklärung Flächenveränderungen:</i> | | | | | |
| + Zunahme für Flächenversiegelung | Mio. ha | - | + 5,20 | + 5,20 | + 5,20 |

Flächenausweitungen

In der Datenbank *Global Agroecological Zones* (Fischer et al. 2012) werden ebenfalls Flächenpotenziale für einzelne Länder und landwirtschaftliche Kulturen abgebildet. Allerdings kann der Berechnungsweg mit dem Alexandratos und Bruinsma 2012 die weltweiten Flächenpotenziale für eine Gruppe von Kulturen (vgl. Tabelle 38) abgeleitet haben nicht vollständig nachvollzogen werden. Da es bezüglich der Ertragspotenziale jedoch große Überschneidungen bei den meisten Kulturen gibt, dürfte der Fehler nicht allzu groß sein, wenn aus der Datenbank nur die Flächenpotenziale einzelner Kulturen betrachtet werden. Wir beschränken uns daher auf die Ableitung des Nettopotenzials für Regenfeldanbau von Weizen in der EU-27. Dieses beläuft sich (wenn man wiederum nur die drei besten Eignungsklassen berücksichtigt) auf knapp 18 Mio. ha (Tabelle 46).

Tabelle 46: Land mit Potenzial für Regenfeldanbau (Weizen, EU-27) (Quelle: Fischer et al. 2012)

| Mio. ha: | Total | Potenzial | VS* | S | MS | mS | vmS | NS |
|---|--------|-----------|-------------|-------------|-------|-------|--------|-------|
| Gesamt | 424,92 | 132,75 | 41,75 | 33,92 | 57,09 | 85,52 | 112,86 | 93,79 |
| Davon: landwirtschaftlich genutzt | 126,20 | 83,67 | 30,45 | 24,14 | 29,08 | 28,46 | 13,07 | 0,99 |
| Davon: im Regenfeldanbau | 108,37 | 69,93 | 25,71 | 18,37 | 25,84 | 25,61 | 11,93 | 0,91 |
| Davon: bewässert | 17,82 | 13,75 | 4,74 | 5,77 | 3,24 | 2,85 | 1,14 | 0,09 |
| Bruttobilanz: Land mit Potenzial für Regenfeldanbau | | 49,08 | 11,30 | 9,77 | 28,00 | 57,05 | 99,80 | 92,80 |
| Waldfläche | 149,07 | 19,19 | 3,54 | 3,33 | 12,32 | 26,51 | 55,67 | 47,70 |
| Streng geschütztes Land | 12,50 | 3,41 | 0,83 | 0,93 | 1,66 | 2,82 | 4,51 | 1,75 |
| Bebaute Fläche | 14,36 | 8,65 | 3,29 | 2,32 | 3,04 | 3,61 | 1,09 | 1,01 |
| Nettobilanz: Land mit Potenzial für Regenfeldanbau | | 17,83 | 3,65 | 3,19 | 10,99 | 24,11 | 38,53 | 42,33 |

* Eignungsklassen des Landes für Regenfeldanbau; Klassifizierung aufgrund des zu erzielenden Ertrages relativ zum maximal erzielbaren Ertrages; VS (*Very Suitable*): 80-100 %, S (*Suitable*): 60-80 %, MS (*Moderately Suitable*): 40-60 %, mS (*marginally Suitable*): 20-40 %, vmS (*very marginally Suitable*): 5-20 %, NS (*Not Suitable*): <5 %.

Wie im weltweiten Szenario nehmen wir für das BAU-Szenario an, dass 2/3 dieses Landes mit sehr hohem Potenzial (VS, *very suitable*) und 1/3 dieses Landes mit hohem Potenzial (S, *suitable*) in Land für Regenfeldanbau umgewandelt wird. Dies entspricht einer Zunahme um 3,5 Mio. ha. Für das Niedrig-Szenario nehmen wir keine Flächenausdehnungen an. Für das Hoch-Szenario nehmen wir an, dass 100 % des Landes mit sehr guter Eignung und 2/3 des Landes mit guter Eignung in Land für Acker- und Dauerkulturen umgewandelt wird (was einer Zunahme um 5,8 Mio. ha entspricht).

Modellannahme für das Szenario „2050 – Niedrig“:

Es kann keine zusätzliche Agrarfläche in Nutzung genommen werden.

Modellannahme für das Szenario „2050 – BAU“:

Das Land für Acker- und Dauerkulturen kann um **3,50 Mio. ha** ausgedehnt werden.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Hoch“:

Das Land für Acker- und Dauerkulturen kann um **5,78 Mio. ha** ausgedehnt werden.

Flächenversiegelung/Degradation

Bezüglich des Rückgangs an Agrarfläche durch Versiegelung und Degradation (wobei in der EU-27 Verluste durch Versiegelung eine größere Rolle spielen dürften) treffen wir die gleichen Modellannahmen für alle drei Szenarien.

Modellannahme für 2050 – Alle Szenarien:

5,2 Mio. ha Agrarfläche gehen durch Flächenversiegelung verloren. Diese Annahme beruht auf dem Nachhaltigkeitsziel der Bundesregierung nach dem die Flächenversiegelung in Deutschland auf 30 ha pro Tag begrenzt werden soll. Dies entspricht etwa 0,0001 % der Landfläche Deutschlands. Die Annahme von 5,2 Mio. ha Flächenverlust bis 2050 entspricht dem gleichen Flächenanteil der EU-27.

Land für Acker- und Dauerkulturen sowie das Grünland sind gleichermaßen entsprechend ihres Flächenanteils im Jahr 2011 von der Flächenversiegelung betroffen.

Rückgang der Weideflächen und der sonstigen Flächen

Wie in den weltweiten Szenarien dürfte das zusätzliche Potenzial für Acker- und Dauerkulturen überwiegend aus bisherigem Grünland stammen. Bezüglich des Umbruchs des Weidelandes und der sonstigen Flächen treffen wir daher die gleichen Annahmen wie für die weltweiten Szenarien.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Niedrig“:

Es erfolgt keine Ausdehnung der Ackerflächen. Dadurch sinken die Weideflächen nur durch die anteilige Degradation um etwa **1,87 Mio. ha**.

Modellannahme für das Szenario „2050 – BAU“:

Die zusätzlichen 3,50 Mio. ha Fläche für Acker- und Dauerkulturen stammen zu jeweils 50 % aus Weideland und sonstigen Flächen. Dadurch sinkt das Weideland zusätzlich zur anteiligen Degradation um **1,75 Mio. ha**, das Ödland um **1,57 Mio. ha** und die Feuchtgebiete um **0,17 Mio. ha**.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Hoch“:

Die zusätzlichen 5,78 Mio. ha Fläche für Acker- und Dauerkulturen stammen zu jeweils 50 % aus Weideland und sonstigen Flächen. Dadurch sinkt das Weideland zusätzlich zur anteiligen Degradation um **2,89 Mio. ha**, das Ödland um **2,60 Mio. ha** und die Feuchtgebiete um **0,29 Mio. ha**.

Waldflächen

Für die EU-27 nehmen wir für alle Szenarien für 2050 an, dass die Waldfläche insgesamt konstant auf dem Niveau von 2011 bleibt. Auch die Verteilung der Waldflächen nach der FAO-Kategorisierung lassen wir.

Modellannahme für 2050 – Alle Szenarien:

Die gesamte Waldfläche und die Verteilung der Waldflächen in Primärwald, naturnahen Wirtschaftswald und Plantagenwald bleibt gegenüber 2011 konstant.

Zunahme der bebauten Fläche

Vereinfachend nehmen wir für alle Szenarien an, dass die Agrarfläche, die durch Degradation bzw. Flächenversiegelung verloren geht (5,2 Mio. ha) vollständig der Kategorie der bebauten Fläche zugeschlagen werden sollte, da in Deutschland im Gegenteil zur Welt keine relevante Änderungen an der Waldfläche zu erwarten sind.

Modellannahme für 2050 – Alle Szenarien:

Die bebauten Fläche steigt um die von Degradation und Flächenversiegelung betroffene Fläche (5,2 Mio. ha) auf **51,93 Mio. ha**.

Zusammenfassung und Diskussion

Zur besseren Veranschaulichung zeigt die Abbildung 61 wie im BAU-Szenario die einzelnen Effekte auf die gesamte Verschiebung der Flächenverteilung in der EU-27 wirken.

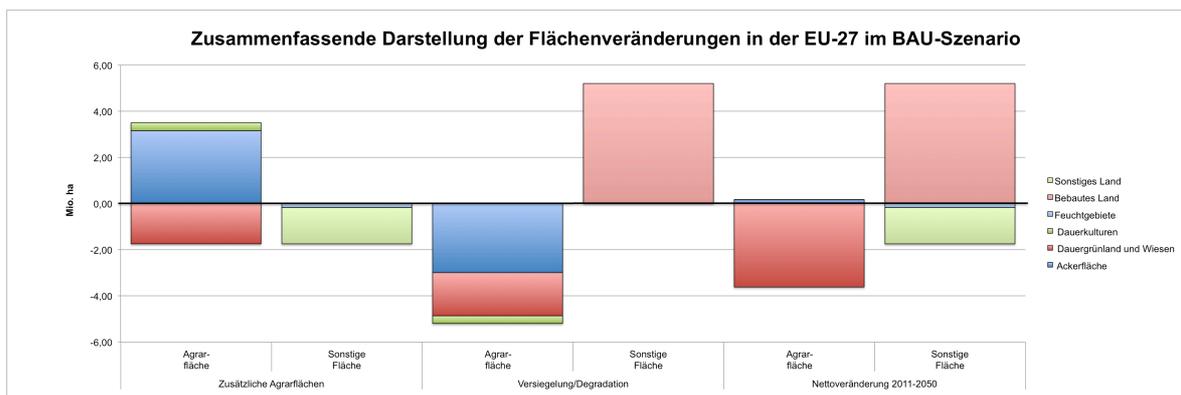


Abbildung 61: Zusammenfassung der Flächenveränderungen in der EU-27 im Szenario „2050 – BAU“ (Quelle: eigene Darstellung)

6.1.2.2 Geerntete Agrarbiomasse

Im Folgenden wird hergeleitet, welches Angebot an geernteter Agrarbiomasse wir im Rahmen der Modellannahmen und auf Grundlage des heutigen Biomasseangebotes für das Jahr 2050 für die EU-27 herleiten.

Wie bei der Darstellung der Szenarien für das weltweite Angebot an geernteter Agrarbiomasse betrachten wir im Folgenden die erwarteten Entwicklungen bezüglich Ertragssteigerungen und Ernten pro Jahr (MCI). Bezüglich der Flächenverteilung der Agrarkulturen treffen wir die gleichen Annahmen wie für die weltweiten Szenarien (konstante Baumwollflächen und proportionale Ausdehnung der Anbauflächen der anderen Pflanzen).

Entwicklung der Hektarerträge

Bezüglich der Entwicklung der Hektarerträge treffen wir die Annahme, dass die kulturspezifischen Verhältnisse zwischen weltweiten Durchschnittserträgen und Erträgen in der EU-27 in allen Szenarien konstant bleiben. Beispiel: Der durchschnittliche Weizenertrag in der EU-27 beträgt 166 % des weltweiten Durchschnitts. In den Niedrig-, BAU- und Hoch-Szenarien für 2050 bleibt der Weizenertrag in der EU-27 konstant bei 166 % des weltweiten Durchschnitts, unter Berücksichtigung der jeweiligen Annahmen in den weltweiten Szenarien.

Entwicklung des Multi-Cropping-Index (MCI)

Im Gegensatz zur weltweiten Entwicklung (s. Abbildung 59) ist eine relevante Steigerung des MCI in der EU-27 in den letzten 20 Jahren nicht zu erkennen. Vor dem Zusammenbruch der Ostblock-Länder befand sich dieser zwar auch kurzzeitig bei etwa 0,85, liegt seitdem aber etwa bei 0,80 ohne nennenswerte Schwankungen. Den für 2011 errechneten Wert von 0,81 nehmen wir daher auch in allen Szenarien für das Jahr 2050 an.

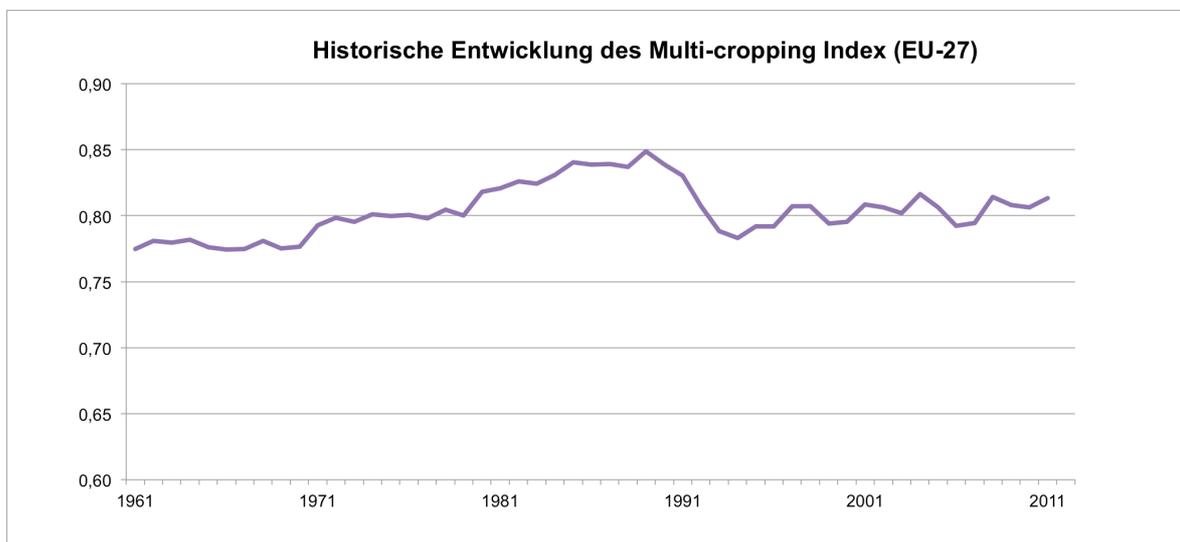


Abbildung 62: Historische Entwicklung des Multi-Cropping-Index (EU-27) (Quelle: eigene Darstellung auf der Basis von FAOSTAT 2013a)

Die folgende Tabelle 47 fasst die Ergebnisse zur geernteten Agrarbiomasse für das BAU-Szenario zusammen.

Tabelle 47: Ergebnisse zur geernteten Agrarbiomasse in der EU-27 im Jahr 2050 auf Basis der Modellannahmen im BAU-Szenario (Quelle: eigene Darstellung)

| | Beerntete Fläche (Mio. ha) | Durchschnittserträge (t TM/ha) | Gesamtproduktion (Mio. t TM) |
|--|----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Getreide (Weizen, Körnermais,...) | 56,4 | 5,3 | 298,3 |
| Futterpflanzen (Futterrüben, Silomais...) | 8,2 | 12,8 | 104,8 |
| Zuckerpflanzen (Zuckerrohr, -rüben,...) | 1,6 | 18,7 | 30,3 |
| Ölpflanzen (Soja, Raps,...) | 16,6 | 2,6 | 43,7 |
| Knollenfrüchte (Kartoffeln, Cassava,...) | 1,9 | 8,4 | 16,1 |
| Früchte (Bananen, Orangen,...) | 6,0 | 2,0 | 12,2 |
| Faserpflanzen (Baumwolle, Jute,...) | 0,5 | 0,3 | 0,1 |
| Hülsenfrüchte (Erbsen, Bohnen,...) | 1,5 | 2,5 | 3,8 |
| Gemüse (Tomaten, Gurken,...) | 2,2 | 2,0 | 4,5 |
| Gewürze und Genussmittel (Tee, Kaffee,...) | 0,3 | 1,4 | 0,4 |
| Nüsse (Walnüsse, Cashewnüsse) | 0,9 | 1,0 | 0,9 |
| Gesamt | 96,1 | - | 515,2 |

Modellannahme für Szenario „2050 – Niedrig“:

Die geerntete Agrarbiomasse beträgt im Jahr 2050 etwa **458,3 Mio. t TM**. Dieses Ergebnis kommt unter folgenden Annahmen zustande: 1) Nettorückgang der Fläche für Acker- und Dauerkulturen um 3,33 Mio. ha auf 116,98 Mio. ha, 2) die kulturspezifischen Verhältnisse zwischen weltweiten Durchschnittserträgen und Erträgen in der EU-27 bleiben konstant, 3) der MCI beträgt weiterhin 0,81.

Modellannahme für Szenario „2050 – BAU“:

Die geerntete Agrarbiomasse beträgt im Jahr 2050 etwa **515,2 Mio. t TM**. Dieses Ergebnis kommt unter folgenden Annahmen zustande: 1) Nettozunahme der Fläche für Acker- und Dauerkulturen um 0,17 Mio. ha auf 120,47 Mio. ha, 2) die kulturspezifischen Verhältnisse zwischen weltweiten Durchschnittserträgen und Erträgen in der EU-27 bleiben konstant, 3) der MCI beträgt weiterhin 0,81.

Modellannahme für Szenario „2050 – Hoch“:

Die geerntete Agrarbiomasse beträgt im Jahr 2050 etwa **547,0 Mio. t TM**. Dieses Ergebnis kommt unter folgenden Annahmen zustande: 1) Nettozunahme der Fläche für Acker- und Dauerkulturen um 2,45 Mio. ha auf 122,75 Mio. ha, 2) die kulturspezifischen Verhältnisse zwischen weltweiten Durchschnittserträgen und Erträgen in der EU-27 bleiben konstant, 3) der MCI beträgt weiterhin 0,81.

6.1.2.3 Erntenebenprodukte

Bezüglich der Möglichkeiten zur Steigerung des genutzten Anteils an Erntenebenprodukten treffen wir die gleichen Annahmen wie für die weltweiten Szenarien:

Modellannahme für Szenario „2050 – Niedrig“:

Der genutzte Anteil an Erntenebenprodukten bleibt wie im Jahr 2011 bei 25 %. Dadurch beträgt das genutzte Aufkommen an Erntenebenprodukten in diesem Szenario im Jahr 2050 etwa **138 Mio. t TM**.

Modellannahme für Szenario „2050 – BAU“:

Der genutzte Anteil an Erntenebenprodukten wird von 25 % im Jahr 2011 auf 40 % im Jahr 2050 gesteigert. Dadurch beträgt das genutzte Aufkommen an Erntenebenprodukten in diesem Szenario im Jahr 2050 etwa **246 Mio. t TM**.

Modellannahme für Szenario „2050 – Hoch“:

Der genutzte Anteil an Erntenebenprodukten wird von 25 % im Jahr 2011 auf 50 % im Jahr 2050 gesteigert. Dadurch beträgt das genutzte Aufkommen an Erntenebenprodukten in diesem Szenario im Jahr 2050 etwa **323 Mio. t TM**.

6.1.2.4 Weidebiomasse

Wie für die weltweiten Szenarien nehmen wir an, dass sich die je Hektar von Nutztieren aufgenommene Menge an Weidebiomasse zwischen 2011 und 2050 nicht verändert, d. h. konstant bei 1,8 t TM/ha liegt. Durch den Rückgang der Weideflächen verändert sich in den Szenarien das absolute Angebot an Weidebiomasse dadurch gemäß der folgenden drei Modellannahmen:

Modellannahme für „2050 – Niedrig“:

Die Aufnahme von Weidebiomasse beträgt wie im Basisjahr 1,8 t/ha TM. Da das Weideland um 1,87 Mio. ha zurückgeht, die gesamte Weidebiomasse im Jahr 2050 jedoch nur noch etwa **118 Mio. t TM**.

Modellannahme für „2050 – BAU“:

Die Aufnahme von Weidebiomasse beträgt wie im Basisjahr 1,8 t/ha TM. Da das Weideland um 3,62 Mio. ha zurückgeht, beträgt die gesamte Weidebiomasse im Jahr 2050 jedoch nur noch etwa **115 Mio. TM**.

Modellannahme für „2050 – Hoch“:

Die Aufnahme von Weidebiomasse beträgt wie im Basisjahr 1,8 t/ha TM. Da das Weideland um 4,76 Mio. ha zurückgeht, beträgt die gesamte Weidebiomasse im Jahr 2050 jedoch nur noch etwa **113 Mio. TM**.

6.1.2.5 Holz

Nach IEEP 2013 (S. 79) betrug das realisierbare Potenzial an Holz aus dem Wald in der EU-27 im Jahr 20101 etwa 719 Mio. m³ und das Potenzial im Jahr 2030 unter Annahme einer hohen Biomassemobilisierung etwa 880 Mio. m³. Diese Werte rechnen wir mit dem Faktor 0,5 in Trockenmasse um und nehmen diese Mengen (**360 Mio. t TM** und **440 Mio. t TM**) für das BAU- und das Hoch-Szenario an. Für das Niedrig-Szenario nehmen wir dagegen an, dass das Holzaufkommen wie im Jahr 2011 auf dem Niveau von **232 Mio. t TM** verbleibt.

6.1.2.6 Zusammenfassung

Die folgende Tabelle 48 gibt einen Gesamtüberblick über alle für das Biomasseangebot in der EU-27 in 2011 und 2050 verwendeten Basisdaten und Modellannahmen.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit der Flächenverschiebungen sei noch einmal auf die Abbildung 61 am Ende von Abschnitt 6.1.2.1 verwiesen.

Tabelle 48: Zusammenfassung aller Basisdaten und Modellannahmen für 2011 und 2050 (EU-27) (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Einheit | 2011 | 2050 Niedrig | 2050 BAU | 2050 Hoch |
|--|------------------|---|--|---------------|---------------|
| Landfläche der EU-27: | Mio. ha | 423,76 | 423,76 | 423,76 | 423,76 |
| Agrarfläche | Mio. ha | 187,88 | 182,69 | 184,43 | 185,57 |
| davon Ackerfläche | Mio. ha | 108,35 | 105,36 | 108,51 | 110,56 |
| davon Dauerkulturen | Mio. ha | 11,95 | 11,62 | 11,97 | 12,19 |
| davon Dauergrünland und Wiesen | Mio. ha | 67,58 | 65,71 | 63,96 | 62,82 |
| Zusätzliches Land | Mio. ha | - | +/- 0 | + 3,50 | + 5,78 |
| Weideland | Mio. ha | - | +/- 0 | - 1,75 | - 2,89 |
| Degradation/Flächenversiegelung | Mio. ha | - | - 5,20 | - 5,20 | - 5,20 |
| Waldfläche | Mio. ha | 159,29 | 159,29 | 159,29 | 159,29 |
| davon naturnaher Wirtschaftswald | Mio. ha | 112,38 | 112,38 | 112,38 | 112,38 |
| davon Primärwald | Mio. ha | 4,74 | 4,74 | 4,74 | 4,74 |
| davon Plantagenwald | Mio. ha | 42,17 | 42,17 | 42,17 | 42,17 |
| Sonstige Fläche | Mio. ha | 76,59 | 81,78 | 80,04 | 78,90 |
| davon Wüsten und Ödland | Mio. ha | 15,68 | 15,68 | 14,11 | 13,08 |
| Feuchtgebiete | Mio. ha | 14,18 | 14,18 | 14,00 | 13,89 |
| <i>Umwandlung in Ackerland</i> | <i>Mio. ha</i> | | | | |
| Bebautes Land | Mio. ha | 46,73 | 51,93 | 51,93 | 51,93 |
| Geerntete Agrarbiomasse: | Mrd. t TM | 0,44 | 0,46 | 0,52 | 0,55 |
| Beerntete Fläche: | Mio. ha | 120,3 | 116,98 | 120,48 | 122,75 |
| <i>Flächenbelegung</i> | | <i>Wie in 2011; nur Baumwollfläche konstant</i> | | | |
| Hektarerträge: | t TM/ha | - | <i>Gleiches Verhältnis zwischen Erträgen in der EU-27 und weltweiten Durchschnittserträgen wie in 2011</i> | | |
| MCI: | - | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| Erntenebenprodukte: | Mrd. t TM | 0,13 | 0,14 | 0,25 | 0,33 |
| Gesamtmenge | Mrd. t TM | 0,52 | 0,56 | 0,63 | 0,66 |
| Genutzter Anteil | % | 25 | 25 | 40 | 50 |
| Weidebiomasse: | Mrd. t TM | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,11 |
| Biomasseertrag | t TM/ha | 1,80 | 1,80 | 1,80 | 1,80 |
| Holz: | Mrd. t TM | 0,23 | 0,23 | 0,36 | 0,44 |
| Gesamtes Biomasseangebot (ohne Importe) | Mrd. t TM | 0,92 | 0,95 | 1,24 | 1,43 |

6.1.3 Deutschland

Die folgende Abbildung 63 zeigt zusammenfassend die Ergebnisse für das erwartete Biomasseangebot für Deutschland im Jahr 2050 in den drei Szenarien im Vergleich zu den Basisdaten für 2011. Im Folgenden werden die Annahmen, unter denen diese Ergebnisse zustande gekommen sind hergeleitet.

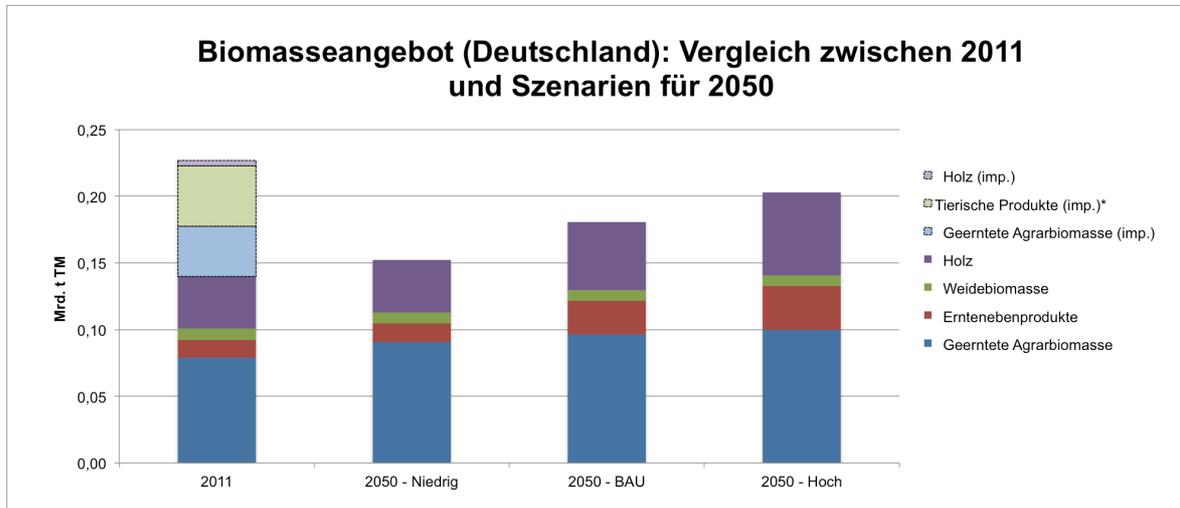


Abbildung 63: Biomasseangebot (Deutschland): Vergleich zwischen 2011 und Szenarien für 2050 (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen)

6.1.3.1 Flächenverschiebungen

Tabelle 49 gibt zunächst einen Gesamtüberblick über die Basisdaten und Modellannahmen zur Flächenbelegung in Deutschland. Diese Ergebnisse werden in den folgenden Unterkapiteln erläutert.

Tabelle 49: Landflächen Deutschlands in den Szenarien für 2050 gegenüber 2011 (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Einheit | 2011 | 2050 - Niedrig | 2050 - BAU | 2050 - Hoch |
|--|----------------|--------------|-------------------|---------------|----------------|
| Landfläche: | Mio. ha | 34,85 | 34,85 | 34,85 | 34,85 |
| Agrarfläche | | 16,72 | 16,29 | 16,36 | 16,41 |
| davon Ackerfläche | Mio. ha | 11,88 | 11,57 | 11,71 | 11,80 |
| davon Dauerkulturen | Mio. ha | 0,20 | 0,19 | 0,20 | 0,20 |
| davon Dauergrünland und Wiesen | Mio. ha | 4,64 | 4,53 | 4,46 | 4,41 |
| <i>Erklärung Flächenveränderungen:</i> | | | | | |
| + Zusätzliches Land | Mio. ha | - | +/- 0 | + 0,14 | + 0,23 |
| - Weideland | Mio. ha | - | +/- 0 | - 0,12 | - 0,12 |
| - Flächenversiegelung | Mio. ha | - | - 0,43 | - 0,43 | - 0,43 |
| Waldfläche | | 11,08 | 11,08 | 11,08 | 11,08 |
| davon naturnaher Wirtschaftswald | Mio. ha | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 |
| davon Primärwald | Mio. ha | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| davon Plantagenwald | Mio. ha | 5,28 | 5,28 | 5,28 | 5,28 |
| Sonstige Fläche | | 7,06 | 7,49 | 7,42 | 7,37 |
| davon Ödland | Mio. ha | 0,62 | 0,62 | 0,56 | 0,52 |
| Feuchtgebiete | Mio. ha | 0,34 | 0,34 | 0,33 | 0,33 |
| Bebautes Land | Mio. ha | 6,10 | 6,52 | 6,52 | 6,52 |
| <i>Erklärung Flächenveränderungen:</i> | | | | | |
| + Zunahme für Flächenversiegelung | Mio. ha | - | + 0,43 | + 0,43 | + 0,43 |

Flächenausweitungen

Nach Fischer et al. 2011 beläuft sich für Deutschland das Nettopotenzial für Regenfeldanbau von Weizen auf etwa 1,37 Mio. ha wenn man wiederum nur die drei besten Eignungsklassen berücksichtigt (Tabelle 50). Wie in den Szenarien für die Welt und die EU-27 nehmen wir für das BAU-Szenario an, dass 2/3 dieses Landes mit sehr hohem Potenzial (VS, *very suitable*) und 1/3 dieses Landes mit hohem Potenzial (S, *suitable*) in Land für Regenfeldanbau umgewandelt wird (+ 140.000 ha). Für das Niedrig-Szenario nehmen wir keine Flächenausdehnungen an. Für das Hoch-Szenario nehmen wir an, dass 100 % des Landes mit sehr guter Eignung und 2/3 des Landes mit guter Eignung in Ackerland umgewandelt wird (+ 230.000 ha).

Tabelle 50: Land mit Potenzial für Regenfeldanbau (Weizen, Deutschland) (Quelle: GAEZ v.3.0)

| Mio. ha: | Total | Potenzial | VS* | S | MS | mS | vmS | NS |
|---|-------|-----------|-------------|-------------|------|-------|------|------|
| Gesamt | 35,53 | 12,71 | 3,34 | 2,07 | 7,29 | 13,59 | 6,67 | 2,56 |
| Davon: landwirtschaftlich genutzt | 11,99 | 7,85 | 2,45 | 1,47 | 3,93 | 3,97 | 0,15 | 0,03 |
| Davon: im Regenfeldanbau | 11,49 | 7,40 | 2,27 | 1,40 | 3,73 | 3,91 | 0,15 | 0,03 |
| Davon: bewässert | 0,51 | 0,45 | 0,18 | 0,07 | 0,21 | 0,06 | 0,00 | 0,00 |
| Bruttobilanz: Land mit Potenzial für Regenfeldanbau | | 4,85 | 0,89 | 0,60 | 3,36 | 9,62 | 6,52 | 2,54 |
| Waldfläche | 11,01 | 1,75 | 0,14 | 0,20 | 1,41 | 4,64 | 3,46 | 1,16 |
| Streng geschütztes Land | 0,97 | 0,19 | 0,03 | 0,01 | 0,15 | 0,38 | 0,31 | 0,09 |
| Bebaute Fläche | 2,68 | 1,55 | 0,58 | 0,27 | 0,71 | 0,87 | 0,05 | 0,21 |
| Nettobilanz: Land mit Potenzial für Regenfeldanbau | | 1,37 | 0,15 | 0,12 | 1,10 | 3,73 | 2,70 | 1,08 |

* Eignungsklassen des Landes für Regenfeldanbau; Klassifizierung aufgrund des zu erzielenden Ertrages relativ zum maximal erzielbaren Ertrages; VS (*Very Suitable*): 80-100 %, S (*Suitable*): 60-80 %, MS (*Moderately Suitable*): 40-60 %, mS (*marginally Suitable*): 20-40 %, vmS (*very marginally Suitable*): 5-20 %, NS (*Not Suitable*): <5 %.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Niedrig“:

Es kann kein zusätzliches Land für Acker- und Dauerkulturen in Nutzung genommen werden.

Modellannahme für das Szenario „2050 – BAU“:

Das Land für Acker- und Dauerkulturen kann um **140.000 ha** ausgedehnt werden.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Hoch“:

Das Land für Acker- und Dauerkulturen kann um **230.000 Mio. ha** ausgedehnt werden.

Flächenversiegelung/Degradation

Die Situation bezüglich Flächenversiegelung und Degradation dürfte in Deutschland nicht wesentlich anders sein als in anderen Mitgliedstaaten der EU-27. Daher treffen wir für Deutschland die gleichen Annahmen wie für die EU-27.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Alle Szenarien“:

Wir nehmen an, dass das Nachhaltigkeitsziel der Bundesregierung zur Umwidmung von Böden in versiegelte Flächen von 30 ha pro Tag erreicht wird. Dies entspricht bis 2050 einer Fläche von etwa **427.000 ha**.

Wir nehmen wie für die EU-27 an, dass das Land für Acker- und Dauerkulturen sowie das Grünland sind gleichermaßen entsprechend ihres Flächenanteils im Jahr 2011 von der Flächenversiegelung betroffen.

Rückgang der Weideflächen und der sonstigen Flächen

Auch die Annahmen zum Rückgang der Weideflächen und der sonstigen Flächen durch Degradation/Flächenversiegelung sowie Ausweitung der Flächen für Acker- und Dauerkulturen treffen wir analog zur Darstellung für die EU-27.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Niedrig“:

Es erfolgt keine Ausdehnung der Ackerflächen. Dadurch sinken die Weideflächen nur durch die anteilige Degradation um etwa **120.000 ha**.

Modellannahme für das Szenario „2050 – BAU“:

Die zusätzlichen 140.000 ha Fläche für Acker- und Dauerkulturen stammen zu jeweils 50 % aus Weideland und sonstigen Flächen. Dadurch sinkt das Weideland zusätzlich zur anteiligen Degradation um **70.000 ha**, das Ödland um **63.000 ha** und die Feuchtgebiete um **7.000 ha**.

Modellannahme für das Szenario „2050 – Hoch“:

Die zusätzlichen 230.000 ha Fläche für Acker- und Dauerkulturen stammen zu jeweils 50 % aus Weideland und sonstigen Flächen. Dadurch sinkt das Weideland zusätzlich zur anteiligen Degradation um **115.000 ha**, das Ödland um **103.500 ha** und die Feuchtgebiete um **11.500 ha**.

Waldflächen

Auch bezüglich der Waldflächen gehen wir analog zur EU-27 vor. Wir nehmen daher für alle Szenarien für 2050 an, dass die Waldfläche insgesamt konstant auf dem Niveau von 2011 bleibt. Auch die Verteilung der Waldflächen nach der FAO-Kategorisierung lassen wir konstant.

Modellannahme für 2050 – Alle Szenarien:

Die gesamte Waldfläche und die Verteilung der Waldflächen in Primärwald, naturnahen Wirtschaftswald und Plantagenwald bleibt gegenüber 2011 konstant.

Zunahme der bebauten Fläche

Auch bezüglich der Zunahme der bebauten Fläche gehen wir analog zu den Überlegungen für die EU-27 vor. Vereinfachend nehmen wir für alle Szenarien an, dass die Agrarfläche, die durch Degradation bzw. Flächenversiegelung verloren geht (427.000 ha) vollständig der Kategorie der bebauten Fläche zugeschlagen werden kann.

Modellannahme für 2050 – Alle Szenarien:

Die bebauten Fläche steigt um die von Degradation und Flächenversiegelung betroffene Fläche (427.000. ha) auf **6,52 Mio. ha**.

Zusammenfassung und Diskussion

Zur besseren Veranschaulichung zeigt die Abbildung 64 wie im BAU-Szenario die einzelnen Effekte auf die gesamte Verschiebung der Flächenverteilung in Deutschland wirken.

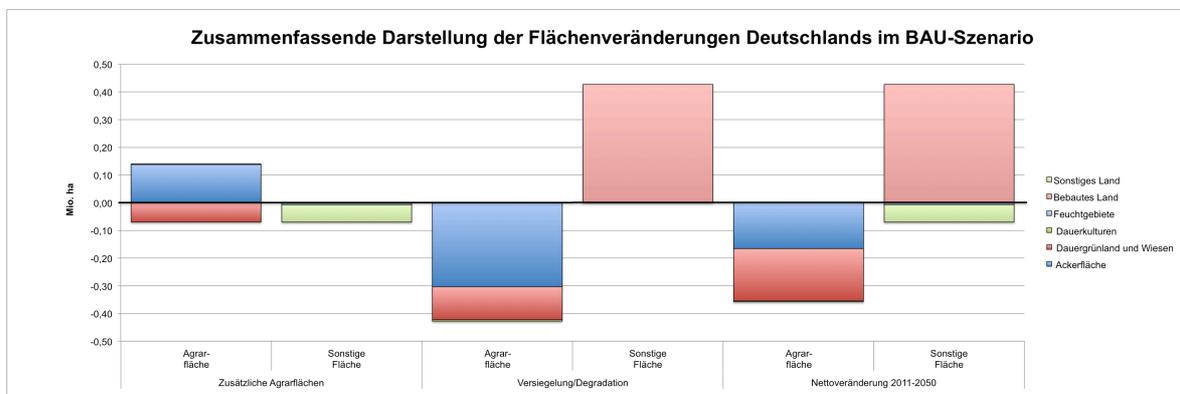


Abbildung 64: Zusammenfassung der Flächenveränderungen in Deutschland im Szenario „2050 – BAU“ (Quelle: eigene Berechnungen)

6.1.3.2 Geerntete Agrarbiomasse

Im Folgenden wird hergeleitet, welches Angebot an geernteter Agrarbiomasse wir im Rahmen der Modellannahmen und auf Grundlage des heutigen Biomasseangebotes für das Jahr 2050 für Deutschland herleiten. Wie für die EU-27 betrachten wir nur die inländische Biomasseproduktion und betrachten im Folgenden die erwarteten Entwicklungen bezüglich Ertragssteigerungen und Ernten pro Jahr (MCI). Bezüglich der

Flächenverteilung der Agrarkulturen treffen wir die gleichen Annahmen wie für die weltweiten Szenarien.

Wie für die EU-27 betrachten wir im Folgenden die erwarteten Entwicklungen der beiden Einflussgrößen Hektarerträge und Ernten pro Jahr (MCI).

Entwicklung der Hektarerträge

Bezüglich der Entwicklung der Hektarerträge treffen wir die Annahme, dass die kulturspezifischen Verhältnisse zwischen weltweiten Durchschnittserträgen und Erträgen in Deutschland in allen Szenarien konstant bleiben. Beispiel: Im Jahr 2011 beträgt der durchschnittliche Weizenenertrag in Deutschland 221 % des weltweiten Durchschnitts. In den Niedrig-, BAU- und Hoch-Szenarien für 2050 steigt der weltweite Weizenenertrag und gemäß unserer Annahme steigt der Weizenenertrag in Deutschland soweit, bis dieser wiederum 221 % des weltweiten Durchschnitts beträgt.

Entwicklung des Multi-Cropping-Index (MCI)

Wie für die EU-27 (s. Abbildung 62) ist auch in Deutschland eine relevante Steigerung des MCI nicht zu erkennen. In den Jahren nach der Wende von 1989 ist der MCI auch in Deutschland merklich eingebrochen und hat sich mittlerweile wieder auf dem Niveau der frühen 1980er Jahre stabilisiert. Den für 2011 errechneten Wert von 0,91 nehmen wir daher auch in allen Szenarien für das Jahr 2050 an.

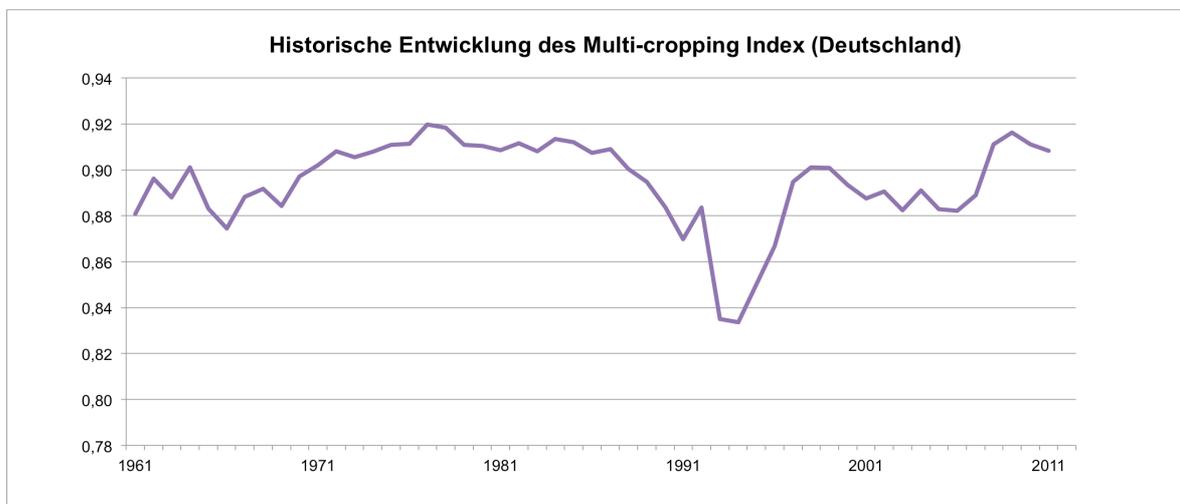


Abbildung 65: Historische Entwicklung des Multi-Cropping-Index (Deutschland) (Quelle: eigene Berechnungen auf der Basis von FAOSTAT 2013a)

Die folgende Tabelle 52 fasst die Ergebnisse zur geernteten Agrarbiomasse für das BAU-Szenario zusammen.

Tabelle 51: Ergebnisse zur geernteten Agrarbiomasse in Deutschland im Jahr 2050 auf Basis der Modellannahmen im BAU-Szenario (Quelle: eigene Darstellung)

| | Beerntete Fläche (Mio. ha) | Durchschnittserträge (t TM/ha) | Gesamtproduktion (Mio. t TM) |
|--|----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Getreide (Weizen, Körnermais,...) | 6,401 | 6,6 | 42,5 |
| Futterpflanzen (Futterrüben, Silomais...) | 2,004 | 18,6 | 37,3 |
| Zuckerpflanzen (Zuckerrohr, -rüben,...) | 0,393 | 18,3 | 7,2 |
| Ölpflanzen (Soja, Raps,...) | 1,355 | 3,9 | 5,2 |
| Knollenfrüchte (Kartoffeln, Cassava,...) | 0,255 | 11,9 | 3,0 |
| Früchte (Bananen, Orangen,...) | 0,176 | 3,5 | 0,6 |
| Faserpflanzen (Baumwolle, Jute,...) | 0,001 | 0,0 | 0,0 |
| Hülsenfrüchte (Erbsen, Bohnen,...) | 0,097 | 2,8 | 0,3 |
| Gemüse (Tomaten, Gurken,...) | 0,107 | 2,3 | 0,2 |
| Gewürze und Genussmittel (Tee, Kaffee,...) | 0,020 | 1,2 | 0,0 |
| Nüsse (Walnüsse, Cashewnüsse) | 0,006 | 2,9 | 0,0 |
| Gesamt | 10,8 | - | 96,4 |

Modellannahme für Szenario „2050 – Niedrig“:

Die geerntete Agrarbiomasse beträgt im Jahr 2050 etwa **90,4 Mio. t TM**. Dieses Ergebnis kommt unter folgenden Annahmen zustande: 1) Nettorückgang der Fläche für Acker- und Dauerkulturen um 308.000 ha auf 11,77 Mio. ha, 2) die kulturspezifischen Verhältnisse zwischen weltweiten Durchschnittserträgen und Erträgen in Deutschland bleiben konstant, 3) der MCI beträgt weiterhin 0,91.

Modellannahme für Szenario „2050 – BAU“:

Die geerntete Agrarbiomasse beträgt im Jahr 2050 etwa **96,4 Mio. t TM**. Dieses Ergebnis kommt unter folgenden Annahmen zustande: 1) Nettorückgang der Fläche für Acker- und Dauerkulturen um 168.000 ha auf 11,91 Mio. ha, 2) die kulturspezifischen Verhältnisse zwischen weltweiten Durchschnittserträgen und Erträgen in Deutschland bleiben konstant, 3) der MCI beträgt weiterhin 0,91.

Modellannahme für Szenario „2050 – Hoch“:

Die geerntete Agrarbiomasse beträgt im Jahr 2050 etwa **99,6 Mio. t TM**. Dieses Ergebnis kommt unter folgenden Annahmen zustande: 1) Nettorückgang der Fläche für Acker- und Dauerkulturen um 78.000 ha auf 12,00 Mio. ha, 2) die kulturspezifischen Verhältnisse zwischen weltweiten Durchschnittserträgen und Erträgen in Deutschland bleiben konstant, 3) der MCI beträgt weiterhin 0,91.

6.1.3.3 Erntenebenprodukte

Bezüglich der Möglichkeiten zur Steigerung des genutzten Anteils an Erntenebenprodukten treffen wir die gleichen Annahmen wie für die weltweiten Szenarien und die Szenarien für die EU-27:

Modellannahme für Szenario „2050 – Niedrig“:

Der genutzte Anteil an Erntenebenprodukten bleibt wie im Jahr 2011 bei 25 %. Dadurch beträgt das genutzte Aufkommen an Erntenebenprodukten in diesem Szenario im Jahr 2050 etwa **14 Mio. t TM**.

Modellannahme für Szenario „2050 – BAU“:

Der genutzte Anteil an Erntenebenprodukten wird von 25 % im Jahr 2011 auf 40 % im Jahr 2050 gesteigert. Dadurch beträgt das genutzte Aufkommen an Erntenebenprodukten in diesem Szenario im Jahr 2050 etwa **25 Mio. t TM**.

Modellannahme für Szenario „2050 – Hoch“:

Der genutzte Anteil an Erntenebenprodukten wird von 25 % im Jahr 2011 auf 50 % im Jahr 2050 gesteigert. Dadurch beträgt das genutzte Aufkommen an Erntenebenprodukten in diesem Szenario im Jahr 2050 etwa **33 Mio. t TM**.

6.1.3.4 Weidebiomasse

Wie für die weltweiten Szenarien nehmen wir an, dass sich die je Hektar von Nutztieren aufgenommene Menge an Weidebiomasse zwischen 2011 und 2050 nicht verändert, d. h. konstant bei 1,8 t TM/ha liegt. Durch den Rückgang der Weideflächen verändert sich in den Szenarien das absolute Angebot an Weidebiomasse dadurch gemäß der folgenden drei Modellannahmen:

Modellannahme für „2050 – Niedrig“:

Die Aufnahme von Weidebiomasse beträgt wie im Basisjahr 1,8 t/ha TM. Da das Weideland um 119.000 ha zurückgeht, beträgt die gesamte Weidebiomasse jedoch im Jahr 2050 nur noch etwa **8,1 Mio. t TM**.

Modellannahme für „2050 – BAU“:

Die Aufnahme von Weidebiomasse beträgt wie im Basisjahr 1,8 t/ha TM. Da das Weideland um 189.000 ha zurückgeht, beträgt die gesamte Weidebiomasse jedoch im Jahr 2050 nur noch etwa **8,0 Mio. TM**.

Modellannahme für „2050 – Hoch“:

Die Aufnahme von Weidebiomasse beträgt wie im Basisjahr 1,8 t/ha TM. Da das Weideland um 234.000 ha zurückgeht, beträgt die gesamte Weidebiomasse jedoch im Jahr 2050 nur noch etwa **7,9 Mio. TM**.

6.1.3.5 Holz

Nach IEEP 2013 (S. 80) betrug das realisierbare Potenzial an Holz aus dem Wald in Deutschland im Jahr 2010 etwa 102 Mio. m³ (etwa **51 Mio. t TM**). Dieses nehmen wir für das BAU-Szenario an während wir für das Niedrig-Szenario weiterhin von einem Aufkommen von **39 Mio. t TM** ausgehen wie im Jahr 2011. In der Studie von IEEP 2013 wird keine Angabe gemacht zum Holzpotenzial, dass sich unter einem hohen Mobilisierungsszenario ergeben könnte, ähnlich wie für die EU-27 (s. Abschnitt 6.1.2.5). Wir nehmen daher an, dass Holzpotenzial aus dem Wald bei hoher Mobilisierung ebenso wie in der EU-27 rund 22 % über dem in 2010 realisierbaren Potenzial liegen könnte (etwa **62 Mio. t TM**).

6.1.3.6 Zusammenfassung

Die folgende Tabelle 52 gibt einen Gesamtüberblick über alle für das Biomasseangebot in Deutschland in 2011 und 2050 verwendeten Basisdaten und Modellannahmen.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit der Flächenverschiebungen sei noch einmal auf die Abbildung 64 am Ende von Abschnitt 6.1.3.1 verwiesen.

Tabelle 52: Zusammenfassung aller Basisdaten und Modellannahmen für 2011 und 2050 (Deutschland) (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Einheit | 2011 | 2050 Niedrig | 2050 BAU | 2050 Hoch |
|--|------------------|--------------------|--|--------------|--------------|
| Landfläche Deutschlands | Mio. ha | 34,85 | 34,85 | 34,85 | 34,85 |
| Agrarfläche | Mio. ha | 16,72 | 16,29 | 16,43 | 16,52 |
| davon Ackerfläche | Mio. ha | 11,88 | 11,46 | 11,71 | 11,80 |
| davon Dauerkulturen | Mio. ha | 0,20 | 0,19 | 0,19 | 0,19 |
| davon Dauergrünland und Wiesen | Mio. ha | 4,64 | 4,64 | 4,53 | 4,53 |
| <i>Zusätzliches Land</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/- 0 | + 0,14 | + 0,23 |
| <i>Weideland</i> | <i>Mio. ha</i> | - | +/- 0 | - 0,12 | - 0,12 |
| <i>Degradation</i> | <i>Mio. ha</i> | - | - 0,43 | - 0,43 | - 0,43 |
| Waldfläche | Mio. ha | 11,08 | 11,08 | 11,08 | 11,08 |
| davon naturnaher Wirtschaftswald | Mio. ha | 5,79 | 5,79 | 5,79 | 5,79 |
| davon Primärwald | Mrd. ha | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| davon Plantagenwald | Mrd. ha | 5,28 | 5,28 | 5,28 | 5,28 |
| Sonstige Fläche | Mio. ha | 7,06 | 7,49 | 7,35 | 7,26 |
| davon Ödland | Mio. ha | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| Feuchtgebiete | Mio. ha | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 |
| Bebautes Land | Mio. ha | 6,10 | 6,52 | 6,38 | 6,29 |
| <i>Zunahme durch Flächenversiegelung</i> | <i>Mio. ha</i> | - | + 0,43 | + 0,43 | + 0,43 |
| Geerntete Agrarbiomasse: | Mrd. t TM | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,10 |
| Beerntete Fläche: | Mio. ha | 12,08 | 11,65 | 11,9 | 11,99 |
| <i>Flächenbelegung</i> | | <i>Wie in 2011</i> | | | |
| Hektarerträge: | t TM/ha | - | <i>Gleiches Verhältnis zwischen Erträgen in Deutschland und weltweiten Durchschnittserträgen wie in 2011</i> | | |
| MCI: | | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 |
| Erntenebenprodukte: | Mrd. t TM | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,03 |
| Gesamtmenge | Mrd. t TM | 0,04 | 0,04 | 0,08 | 0,06 |
| Genutzter Anteil | % | 25 | 25 | 40 | 50 |
| Weidebiomasse: | Mrd. t TM | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Biomasseertrag | t TM/ha | 1,80 | 1,80 | 1,80 | 1,80 |
| Holz: | Mrd. t TM | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,06 |
| Gesamtes Biomasseangebot (ohne Importe) | Mrd. t TM | 0,14 | 0,15 | 0,18 | 0,20 |

6.2 Biomassenachfrage

Für die Abschätzung der Biomassenachfrage im Jahr 2050 werden drei Szenarien jeweils für die Welt, die EU-27 und Deutschland entwickelt die die folgenden möglichen Entwicklungspfade widerspiegeln sollen:

- BAU: „Business-as-usual“, im Wesentlichen eine Trendfortschreibung
- Bio-based: Wie BAU, aber mit einem stärkeren Wachstum der Biomassenachfrage für die stoffliche Nutzung
- Bio-based Hoch: Wie Bio-based, aber mit einer sehr hohen Nachfrage nach Biomasse in der Chemischen und Kunststoff-Industrie und einer höheren Nachfrage nach Holz für die stoffliche Nutzung

Für 2050 entwickeln wir keine eigenen Szenarien für die Entwicklung der Nachfrage nach Biokraftstoffen. Stattdessen interpretieren wir eine positive Lücke zwischen Angebot und übriger Nachfrage (nach Lebens- und Futtermittel, Stoffliche Nutzung und Bioenergie) als nachhaltiges Potenzial für Biokraftstoffe. Diese Potenziale, falls vorhanden, stellen wir in Abschnitt 8 den bestehenden Prognosen zum Ausbau der Biokraftstoffe gegenüber.

6.2.1 Welt

Abbildung 66 und Abbildung 67 zeigen zunächst eine Gesamtübersicht der weltweiten Biomassenachfrage nach Sektoren sowie nach Rohstoffen für das Jahr 2011 und die drei Szenarien. Die Nachfrage nach Biokraftstoffen taucht in den Szenarien für 2050 nicht auf, da sich gemäß unseres Modells das Potenzial für Biokraftstoffe erst durch den Abgleich zwischen gesamtem Biomasseangebot und der Nachfrage für alle übrigen Sektoren ergibt.

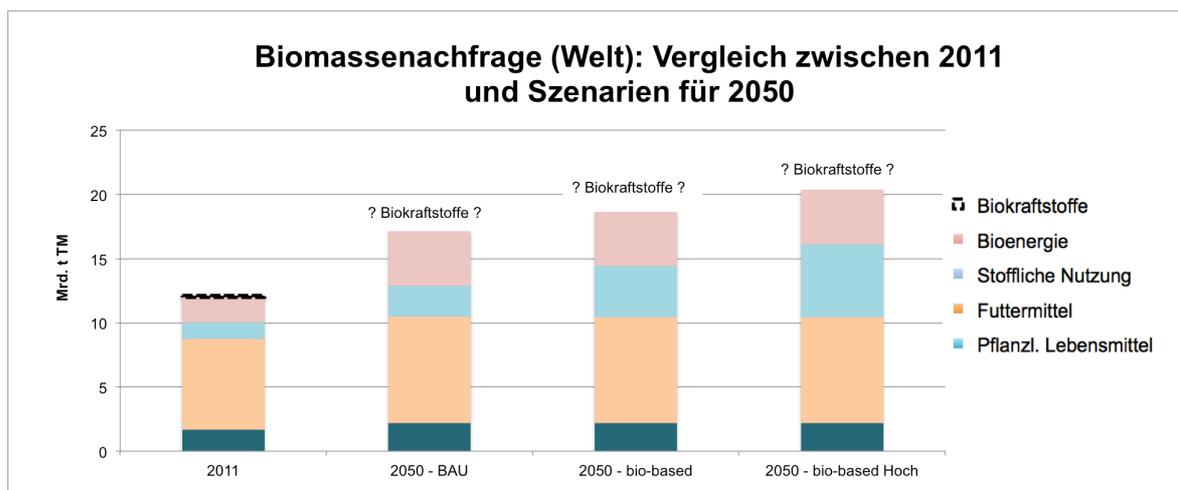


Abbildung 66: Weltweite Biomassenachfrage 2011 und in den Szenarien für 2050 (nach Sektoren) (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen)

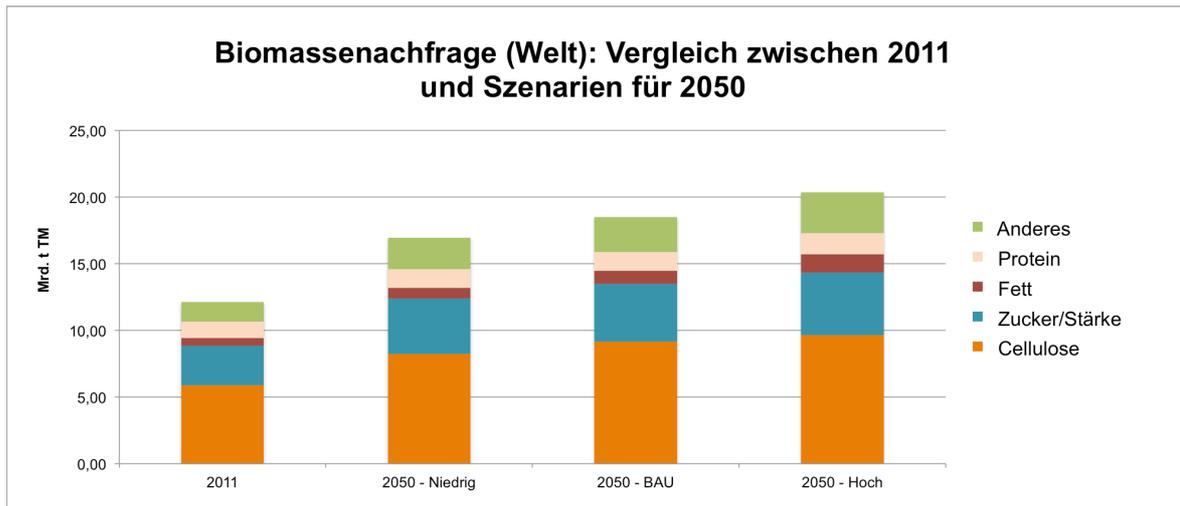


Abbildung 67: Weltweite Biomassenachfrage 2011 und in den Szenarien für 2050 (nach Rohstoffen) (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen)

6.2.1.1 Lebensmittel

Wir nehmen eine Weltbevölkerung im Jahr 2050 von 9,55 Mrd. Menschen gemäß der mittleren Prognose der UN an.

Nach Alexandratos und Bruinsma 2012 (S. 19) wird die Nachfrage nach Nährstoffen auf der Handelsebene bis zum Jahr 2050 auf 3.070 kcal/Kopf*Tag steigen aufgrund steigenden Wohlstandes (CAGR⁶: 0,17 %) Diese Prognose ist geringer als die lineare Fortsetzung des bisherigen Trends des Zuwachses bei der Kalorienversorgung. Alexandratos und Bruinsma 2012 (S. 19) begründen dies im Wesentlichen mit dem geringeren Bevölkerungswachstum (CAGR: 0,8 %). Der Hintergrund dieses Zusammenhangs ist nach Alexandratos und Bruinsma 2012, dass die Weltregionen mit schrumpfender Bevölkerung häufig diejenigen sein werden die bereits durch ein hohes Konsumniveau gekennzeichnet sind während für den Bevölkerungszuwachs das Gegenteil gilt. Außerdem würden nach Alexandratos und Bruinsma 2012 immer mehr Menschen ein Sättigungsniveau in Bezug auf die Nahrungsmittelversorgung erreichen.

Alexandratos und Bruinsma 2012 haben bei dieser Prognose jedoch eine Verringerung der Verluste und der Verschwendung nicht explizit berücksichtigt. Unter der Annahme, dass diese Verluste auch im Jahr 2050 weiterhin bei 30 % der möglichen Produktion liegen, würde die Menge an Nährstoffen, die tatsächlich konsumiert werden von 2.510 kcal/Kopf*Tag (s. Abbildung 32) auf 2.686 kcal/Kopf*Tag im Jahr 2050 steigen (s. Abbildung 68).

⁶ CAGR = Compounded Annual Growth Rate, d. h. durchschnittliche jährliche Wachstumsrate

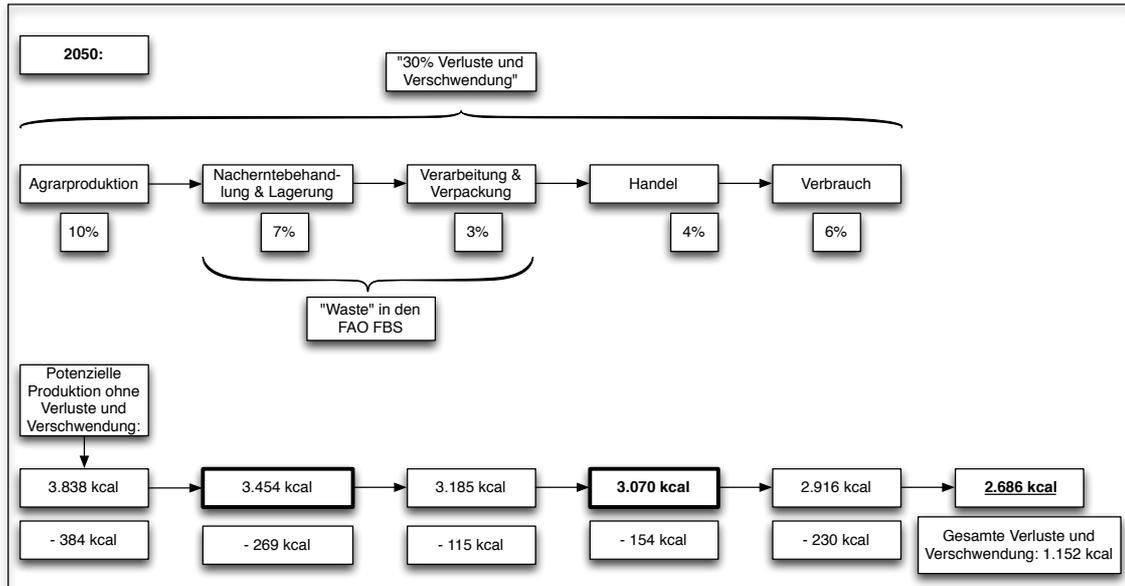


Abbildung 68: Weltweite Verluste entlang der Wertschöpfungskette der Agrarproduktion (2050) (Quelle: eigene Darstellung)

Wir nehmen nun jedoch an, dass Verluste und Verschwendung bis zum Jahr 2050 von 30 % auf 20 % reduziert werden. Dadurch würde der Bedarf auf Ebene der von der FAO statistisch erfassten Produktion von 3.454 kcal/Kopf*Tag (s. Abbildung 68) auf 3.134 kcal/Kopf*Tag sinken um dieses Konsumniveau zu gewährleisten (s. Abbildung 69).

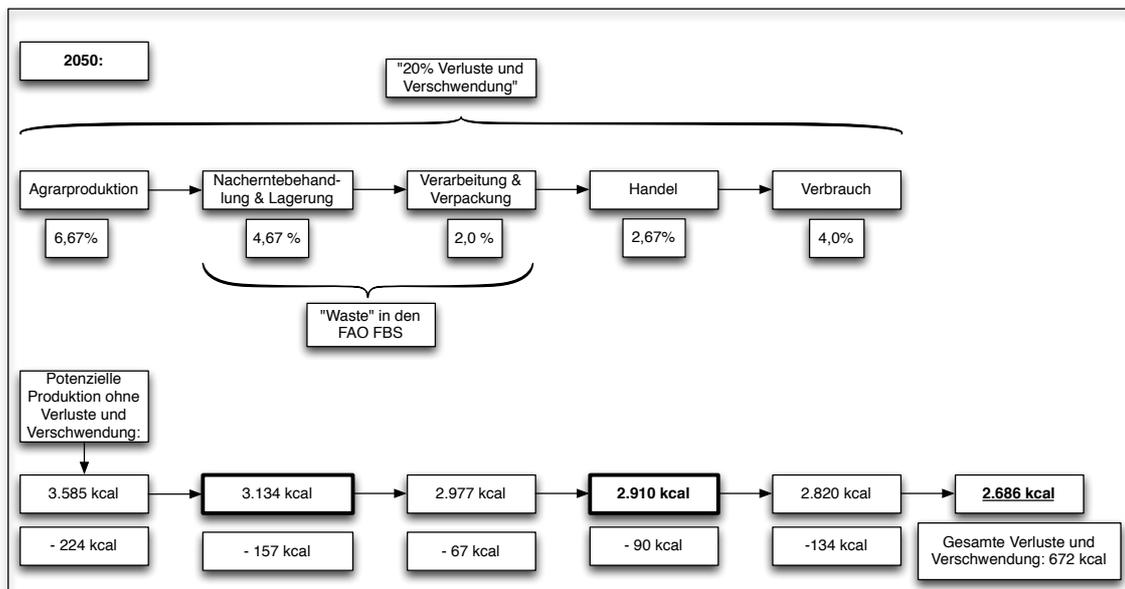


Abbildung 69: Weltweite Verluste entlang der Wertschöpfungskette der Agrarproduktion (2050) (Quelle: eigene Darstellung)

Schließlich ist noch ein weiterer Effekt zu berücksichtigen und zwar die Verschiebung des Verhältnisses zwischen tierischen und pflanzlichen Nährstoffen im Gesamtkonsum. Dieses Verhältnis ist in Abbildung 70 auf Grundlage der FAO *Food Balance Sheets* berechnet. Der Anteil tierischer Kalorien an der durchschnittlichen Pro-Kopf-Kalorienversorgung der Welt betrug nach dieser Darstellung etwa 18 % im Jahr 2011. Aus Abbildung 70 ist insbesondere in den vergangenen 20 Jahren ein stark ansteigender Trend zu erkennen. Setzt man diesen Trend linear bis 2050 fort, so ergibt sich im Jahr 2050 ein Anteil tierischer Kalorien von etwa 20 %. Diesen Effekt berücksichtigen wir in allen Szenarien für 2050.

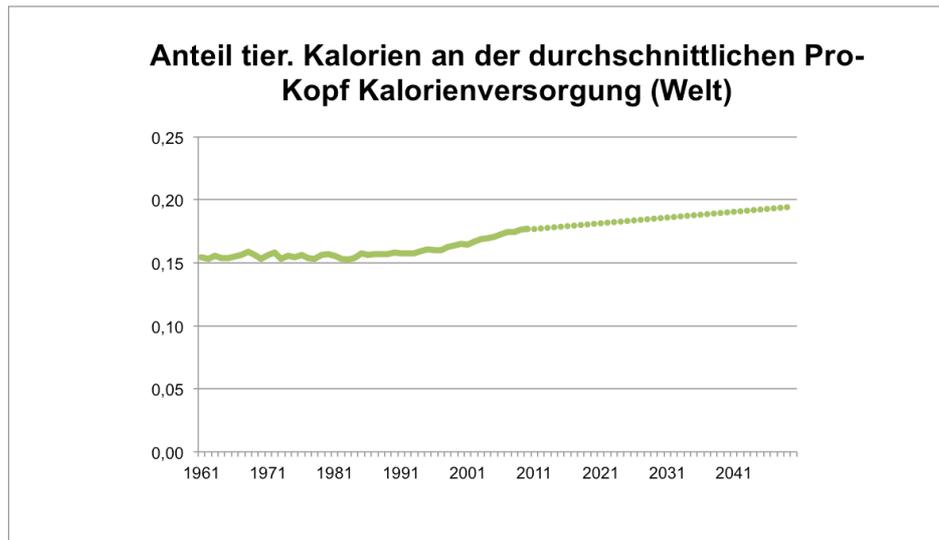


Abbildung 70: Anteil tierischer Kalorien an der durchschnittlichen Pro-Kopf Kalorienversorgung (Welt) (Quelle: FAO 2014, eigene Darstellung)

Modellannahme für 2050 – Alle Szenarien:

Durch die Effekte Bevölkerungswachstum, Verschiebung hin zu tier. Nahrungsmitteln und Verringerung von Verlusten und Verschwendung steigt die Nachfrage nach geernteter Agrarbiomasse für die Herstellung von pflanzl. Lebensmitteln von 1,7 Mrd. t TM im Jahr 2011 auf **2,2 Mrd. t TM** im Jahr 2050 und die Herstellung tier. Lebensmittel von 262 Mio. t auf **390 Mio. t TM**.

6.2.1.2 Futtermittel

Wir nehmen an, dass die Steigerung der Futtereffizienz für den Zeitraum 2011 bis 2050 schneller verläuft als in der Vergangenheit verläuft und zwar 0,6 % p.a. statt 0,4 % p.a. Grundlage dieser Annahme ist zum einen der stetig ansteigende Anteil an (effizienterem) Geflügel an der tierischen Nährstoffversorgung und zum anderen weitere sehr effiziente aber bisher ungenutzte Potenziale zur Versorgung mit tierischen Nährstoffen (z. B. synthetisches Fleisch, Insekten etc.).

Wir verwenden dann die berechneten Umsetzungsraten um ausgehend von den 2050 benötigten tierischen Nährstoffen für die menschliche Ernährung die erforderlichen Futternährstoffe zu berechnen.

Außerdem nehmen wir an, dass der Anteil des Aufkommens an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung (s. Abbildung 69) der als Futtermittel genutzt wird von 10 % auf 15 % steigt. Wie im Jahr 2011 reduziert dies die Nachfrage nach Biomasse für Futtermittel entsprechend.

Im Ergebnis steigt die Nachfrage nach Biomasse als Futtermittel von knapp 7,1 Mrd. t TM im Jahr 2011 auf knapp 8,3 Mrd. t TM im Jahr 2050. Dieses nehmen wir für alle drei Szenarien für 2050 an. Die folgende Abbildung 71 zeigt die Auswirkungen der einzelnen Annahmen auf dieses Ergebnis. Diese Darstellung ist so zu verstehen, dass sich die einzelnen Effekte (1-5) aufaddieren, d. h. dass die höhere Pro-Kopf-Versorgung (2) bereits auf die höhere Weltbevölkerung (1) bezogen ist und der höhere Anteil tier. Nährstoffe (3) bereits die höhere Weltbevölkerung und die höhere Pro-Kopf-Versorgung berücksichtigt usw.

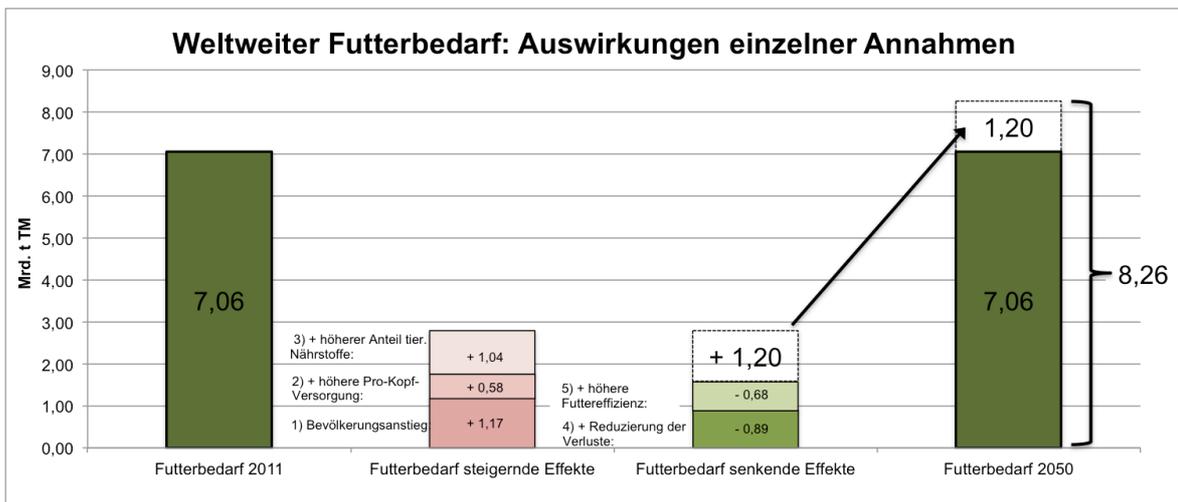


Abbildung 71: Weltweiter Futterbedarf 2050: Auswirkungen einzelner Annahmen (Quelle: eigene Darstellung)

Modellannahme für 2050 – Alle Szenarien:

Die Nachfrage nach Biomasse als Futtermittel steigt von knapp 7,1 Mrd. t TM im Jahr 2011 auf knapp **8,3 Mrd. t TM** im Jahr 2050.

6.2.1.3 Stoffliche Nutzung

Weltweit wachsende Nachfrage nach Chemikalien und Kunststoffen

Um den Bedarf nach chemischen und Kunststoffprodukten (petro- und bio-basiert) im Jahr 2050 weltweit und in Europa abschätzen zu können, wurden zahlreiche sektorspezifische Marktstudien ausgewertet und die dort ermittelten jährlichen Wachstumsraten (CAGR) in

einer Überblickstabelle zusammen gestellt. In den späteren Unterkapiteln werden die erfassten Studien in ihren Kernaussagen zitiert.

Die Tabelle 53 zeigt die Wachstumsraten im Bereich der Chemie und vergleichend im Energiebereich:

Tabelle 53: Jährliche Wachstumsraten für die Chemieproduktion für verschiedene Zeitspannen und Regionen (Quelle: eigene Darstellung)

| Chemikalien | CAGR in %/Jahr | Zeitraumen | Region und Quelle |
|---|-------------------------------|-------------------|--|
| Erdölbedarf für Ethan und Naphtha im Referenzfall (ohne Erdgas, Schiefergas und Biomasse) | 1,1 | 2010-2035 | weltweit OPEC 2013 |
| Erdölbedarf im petrochemischen Sektor im Referenzfall (ohne Erdgas, Schiefergas und Biomasse) | 1,0 | 2010-2035 | weltweit OPEC 2013 |
| Naphtha & Gasöl/Heizöl, Ethan, Butan, Propan (BAU Szenario) | 4,1 | 2010-2050 | weltweit Cayuela 2013 |
| Petrochemikalien | 4,5 / 0,4 | 2011-2030 | weltweit/Deutschland VCI-Prognos 2013 |
| Organische Zwischenprodukte | 4,4 / 2,0 | 2011-2030 | weltweit/Deutschland VCI-Prognos 2013 |
| Standard-Polymere | 4,0 / -0,1 | 2011-2030 | weltweit/Deutschland VCI-Prognos 2013 |
| Basischemie insgesamt | 4,2 / 1,3 | 2011-2030 | weltweit/Deutschland VCI-Prognos 2013 |
| Primärenergieverbrauch | 2,7 | 2002-2012 | weltweit BP 2013 |
| Produktion fossiler Kohlenstoffträger (Rohöl, Erdgas, Kohle) | 1,8 | 2010-2030 | weltweit BP 2011 |
| Weltweites Angebot an Primärenergie im Referenzfall | 1,7 | 2010-2035 | weltweit OPEC 2013 |
| Benzin/Flugbenzin/Diesel/andere Kraftstoffe aus Rohöl (ohne Erdgas, Schiefergas und Biomasse) | 0,9 | 2010-2035 | weltweit OPEC 2013 |
| Weltweiter Energieverbrauch | 1,0 | 2010-2035 | weltweit Randers 2012 |

Modellannahmen nova-Institut:

Die Produktion von Chemikalien wächst weltweit zwischen 2010/11 und 2050 um 3,5 % pro Jahr. Bis 2030 kann man sogar von einem jährlichen Wachstum von über 4 % ausgehen. Da es für den Zeitraum nach 2030 nur sehr wenige Studien gibt und gleichzeitig Effizienz und Recyclingraten weiter steigen werden, gehen wir für den Gesamtzeitraum von einem etwas schwächeren, durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 3,5 % aus.

In Europa (Deutschland) werden insbesondere für Basischemikalien sehr viel kleinere Wachstumsraten als weltweit erwartet – dafür relativ höhere in Spezialchemikalien und -polymeren. Insgesamt nehmen wir an, dass die jährlichen Wachstumsraten für den Gesamtsektor Chemie **in Europa etwa halb so groß sind wie die weltweiten** (d. h. CAGR = 1,75 % zwischen 2010/2011 und 2050).

Vergleich zum Wachstum des Energiebedarfs

Gegenüber des weltweiten CAGR von 3,5 % im Chemiebereich wächst die Nachfrage im Energiebereich und insbesondere die nach fossilen Energieträgern mit circa 1-2 % pro Jahr deutlich geringer. Der Nachholbedarf der Entwicklungs- und Schwellenländer im stofflichen Konsum (Autos, IT/Elektronik, Kleidung, Heimtextilien, Verpackung, und mit steigender Wohnraumgröße auch Baumaterialien und Innenausstattung wie Möbel, Teppiche etc.) ist höher als ihr steigender Energiebedarf – zumal dieser immer effizienter gedeckt werden kann. Gerade der rasch wachsende Konsum der Mittelschicht in den Entwicklungs- und Schwellenländer treibt die Nachfrage nach Produkten aller Art. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Entwicklung in Indien:

„Die indische Mittelschicht ist jung, konsumfreudig und wächst schnell. Über 500 Millionen Inder sollen laut der Wirtschaftsberatung McKinsey zwischen 2005 und 2025 den Aufstieg in die Mittelschicht schaffen. ...

Bis 2025 soll die Mittelschicht um den Faktor zehn auf 583 Mio. Personen wachsen. Gleichzeitig soll die Gesamtbevölkerung nur um knapp 30% zulegen. Das rasante Wachstum der Mittelschicht schafft für viele Unternehmen eine attraktive Basis. ... Die Konsumausgaben in Indien sollen sich in den nächsten zehn Jahren mehr als verdreifachen. ... Angetrieben wird der Konsum nicht nur von den steigenden Einkommen, sondern auch von einem größeren, vielfältigeren Angebot an Produkten zu erschwinglichen Preisen. Die Mittelschicht gilt als besonders konsumfreudig. ... Indien hat das Potenzial, in den nächsten Jahren einer der größten Konsumgütermärkte weltweit zu werden. Allein schon die schiere Bevölkerungsmasse macht das Land als Absatzmarkt interessant. Dazu kommen ein vergleichsweise hohes Wirtschaftswachstum, steigende Einkommen, eine junge Bevölkerung und ein gutes Konsumklima. Die Mittelschicht wächst schnell und ist kauffreudig. Gleichzeitig ist der Markt noch längst nicht gesättigt, der Nachholbedarf ist groß und bietet auch deutschen Anbietern Geschäftschancen.“

(<http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/maerkte,did=968520.html> vom 2015-01-05)

Das bedeutet, dass sowohl bei der Nutzung fossiler Rohstoffe wie auch bei Biomasse der Anteil der stofflichen Nutzung erheblich steigen wird, so z. B. bei Erdöl von heute circa 10 % auf circa 20 % im Jahr 2050.

Die folgende Tabelle 54 fasst die Ergebnisse der Auswertungen der Marktstudien für Kunststoffe, Textilien und weitere Produkte zusammen, bevor die Wachstumsraten für verschiedene Materialien und Anwendungen näher betrachtet werden. Dort finden sich auch Zitate und Quellen in derselben Reihenfolge wie die Zeilen in der Tabelle.

Tabelle 54: Jährliche Wachstumsraten für die Produktion von Kunststoffen und ähnlichen Materialien für verschiedene Sektoren, Zeitspannen und Regionen (Quelle: eigene Darstellung)

| Kunststoff / Material | CAGR %/Jahr | in Zeitrahmen | Region und Quelle |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| PE/PP-Polymerisation | 3,1 | 2011-2021 | weltweit Ceresana 2014 |
| Kunststoff für Verpackungen | 3,7 | 2010-2020 | weltweit Ceresana 2013 |
| Kunststoffproduktion | 3,1 | 2010-2050 | weltweit De Wildeman 2014 |
| Kunststoffproduktion | 1,8 | 2010-2100 | weltweit Philp 2014 |
| PP-Kapazitäten | 5,2 | 2003-2013 | weltweit Globaldata 2014 |
| PP-Kapazitäten | 5,8 | 2013-2018 | weltweit Globaldata 2014 |
| PP-Produktion | 5,8 | 2011-2021 | weltweit Ceresana 2014 |
| PVC-Produktion | 3,2 | 2011-2021 | weltweit Ceresana 2014 |
| PVC- Weichmacherproduktion | 3 | 2010-2020 | weltweit Evonik 2014 |
| Kunststoffproduktion | 20 | 2013-2015 | Indien Assocham 2013 |
| Kunststoffproduktion | 14 | nach 2015 | Indien Assocham 2013 |

| | | | |
|--|-----------------------------|-----------|--------------------------------------|
| PA-Faserproduktion | 1,6 | 2010-2020 | weltweit TT 2013 |
| TPE Produktion | 5,5 | 2012-2017 | weltweit Freedonia 2013 |
| Elastomerproduktion | 2-7,7 (sektorspezifisch) | 2010-2020 | weltweit Ceresana 2013 |
| Hochleistungskunststoffproduktion | 5,7 | 2014-2019 | weltweit Smithers Rapra 2014 |
| TPE - Umsatzwachstum | 4,7 | 2015-2022 | weltweit Ceresana 2015 |
| Kunststoff – Nachfrage | 4,7 | 2009-2015 | weltweit PlasticsEurope 2011 |
| Kunststoff in der Automobilindustrie – Nachfrage | 5,4 | 2010-2050 | weltweit nova 2015 |
| Bodenbeläge und Teppich – Nachfrage | 4,9 | 2011-2016 | weltweit Freedonia 2014 |
| Teppich – Nachfrage | 5 | 2011-2016 | weltweit Desso 2013 |
| Cellulosefaserproduktion | 8,1 | 2013-2020 | weltweit SpecialChem 2014 |
| Vliesstoffe – Nachfrage | 5,4 | 2012-2017 | weltweit Freedonia 2014 |
| Vliesstoffe – Nachfrage | 7,2 | 2012-2017 | Entwicklungsländer Freedonia 2014 |
| Vliesstoffe – Nachfrage | 5,7 | 2011-2016 | weltweit Freedonia 2013 |
| Textilfasern (Kunst- und Naturfasern) – Nachfrage | 3 | 2011-2050 | weltweit nova 2015 |

| | | | |
|---|------|-----------|--|
| Natürliche und organische Inhaltsstoffe – Nachfrage | 5 | 2012-2017 | weltweit CHEManager 2014 |
| Bio-basierte building-blocks - Kapazitäten | 11,6 | 2013-2020 | weltweit nova 2015 (Aeschelmann et al. 2015) |
| Bio-basierte Polymere – Kapazitäten | 18,5 | 2013-2020 | weltweit nova 2015 (Aeschelmann et al. 2015) |

Modellannahmen:

Die Produktion von Kunststoffen wächst weltweit zwischen 2010/11 und 2050 um 3,5 % pro Jahr. Bis 2030 kann man sogar von einem jährlichen Wachstum von über 4 % ausgehen. Da es für den Zeitraum nach 2030 nur sehr wenige Studien gibt und gleichzeitig Effizienz und Recyclingraten weiter steigen werden, gehen wir für den Gesamtzeitraum von einem etwas schwächeren, durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 3,5 % aus.

Auch der **Pro-Kopf-Verbrauch an Kunststoffen** wächst kontinuierlich an. Lag er 1980 noch bei 11 kg pro Kopf und Jahr, so wurden 2005 schon 30 kg pro Kopf und Jahr erreicht und für 2015 werden 45 kg erwartet. Dies entspricht einem CAGR von 4,1 %. (Schnieders 2011)

In Europa (Deutschland) werden insbesondere für Standardpolymere sehr viel kleinere Wachstumsraten als weltweit erwartet – dafür relativ höhere in speziellen und Hochleistungspolymeren. Insgesamt nehmen wir an, dass die jährlichen Wachstumsraten für den Gesamtsektor Kunststoffproduktion **in Europa bei etwa der Hälfte liegen wie weltweit** (d.h. CAGR = 1,75 % zwischen 2010/2011 und 2050).

Massenkunststoffe

„Mehr als 80% aller Erzeugnisse der chemischen Industrie mit katalytischen Prozessen hergestellt und der Weltmarkt für Katalysatoren wächst kräftig. Bei der Polymerisation erwartet Ceresana mit **3,1%** pro Jahr die höchste durchschnittliche Wachstumsrate bis 2021, wobei die Synthese von Polyethylen und Polypropylen – aus Erdöl, Erdgas und nachwachsenden Rohstoffen – den Großteil ausmacht.“ (Quelle: K-Zeitung, 2014-06-06)

„Bis zum Jahr 2020 erwartet Ceresana im Verpackungsbereich einen jährlichen Zuwachs von durchschnittlich **3,7%**.“ (K-Zeitung online, 2013-08-04)

„By 2050 ... Plastics forecasted to triple production volume (300 MT -> 900 MT)“ (De Wildeman 2014) – CAGR = **3.1%** (2014 -2050)

„One source has predicted that overall demand for plastics could increase 4- to 5-fold by the end of this century. ... currently around 5% of oil production is used for making plastics. By the end of this century, 20-25% of current oil production would be required.“ (Philp 2014) – CAGR = **1.8%** (2014 – 2100)

Zwischen 2003 und 2013 ist laut "des Beratungsunternehmens Globaldata die globale Polypropylenkapazität" mit "einer jährlichen Wachstumsrate von **5,2%**" auf 65 Mio. t in 2013 angestiegen. "Für das Jahr 2018 wird eine Kapazität von 86 Mio. t prognostiziert, was einer jährlichen Wachstumsrate von **5,8%** entspricht." (K-Zeitung, Jhrg. 45, Ausgabe 15, 2014-08-08 "Globale PP-Kapazitäten wachsen rasant")

Dezember 2014: Oliver Kutsch, der Geschäftsführer des Marktforschungsinstituts Ceresana: „Wir erwarten bis 2021 ein weltweites Umsatzwachstum von durchschnittlich **5,8 %** pro Jahr.“ ... Über die Hälfte des weltweit verbrauchten Polypropylens wird zur Herstellung von Verpackungen eingesetzt. Das größte Anwendungsgebiet sind flexible Verpackungen aus PP-Folien. Danach folgen starre Verpackungen, zum Beispiel Behälter und Verschlüsse. Fasern und Konsumprodukte aus Polypropylen erreichen einen Anteil von jeweils rund 12%. Die größte Wachstumsrate wird in den kommenden Jahren voraussichtlich der Einsatz in der Fahrzeugindustrie verzeichnen. Die Bauindustrie sowie der Bereich Elektro und Elektronik erhöhen ihren Polypropylen-Verbrauch im Schnitt um rund 4% pro Jahr. (http://www.chemie.de/news/150853/wachstumspotential-ceresana-sieht-chancen-fuer-polypropylen.html?WT.mc_id=ca0065)

Weich-PVC und Weichmacher wachsen laut Evonik zwischen 2010 und 2020 jährlich um **3 %**. (K-Zeitung, Jhrg. 45, Ausgabe 15, 2014-08-08 "Weich-PVC braucht Weichmacher")

"Global demand for PVC is set to increase by **3.2** percent a year until 2021, according to a new report" from Ceresana, launched in September 2014. (<http://www.plasticsnews.com/article/20140904/NEWS/140909970/report-predicts-rising-global-demand-for-pvc#>)

Kunststoffe – Wachstum in Schwellenländern

In Indien wird sich der Verbrauch an Kunststoffprodukten von heute 10 Mio. t bis 2015 auf 20 Mio. t verdoppeln und dann auch weiterhin stark wachsen. „Auch die inländische Verarbeitung von Kunststoffen wird ... erheblich zulegen und jährlich um **20 %** wachsen. Nach 2015 wird ein jährliches Wachstum von etwa **14 %** geschätzt“. „Die Ursache für den Anstieg des Konsums an Kunststoffen in Indien liegt offensichtlich in der **rasch wachsenden Mittelschicht, vor allem in den urbanisierten Ballungszentren und dem unmittelbaren Umland**. Beobachter sprechen von 150 bis 200 Mio. Menschen, deren Konsumbedürfnisse kontinuierlich steigen.“ Das starke Wachstum wird „besonders vom steigenden Bedarf an Verpackungsmaterialien befeuert.“ (Associated Chambers of Commerce and Industry of India (Assocham), in: K-Zeitung, 2013-09-13, S. 1)

Spezial- und Hochleistungskunststoffe

Der Polyamid-Faserverbrauch wird von 3,5 Mio. t in 2010 auf 4,1 Mio. t in 2020 anwachsen, das sind pro Jahr **1,6 %**. PA-Fasern im Teppichbereich werden stagnieren, dafür im industriellen Bereich (vor allem Reifencord und Airbags) stärker wachsen (2,3 % pro Jahr). Der dritte wichtige Sektor in der Bekleidungsbereich, der vor allem in China wächst (1,9% pro Jahr). (Technische Textilien 2/2013, S. 52)

Der weltweite Bedarf für thermoplastische Elastomere (TPE) soll laut Freedonia Group (USA) jährlich um rund **5,5 %** bis 2017 auf 5,8 Mio. t steigen. Wichtiger Markt: Kraftfahrzeuge. (K-Zeitung, 2013-09-13, S. 2)

Ceresana prognostiziert für den Elastomermarkt: „... bis zum Jahr 2020 sollen die einzelnen Produkttypen Zuwachsraten von **2,0 % bis 7,7 %** pro Jahr erzielen.“ (K-Zeitung online, 2013-06-24)

"Der Weltmarkt für Hochleistungskunststoffe soll bis zum Jahr 2019 einen jährlichen Zuwachs von **5,7 %** auf eine Gesamtmenge von 987.000 t verbuchen. Dies ist eine der Kernaussagen einer aktuellen Studie von Smithers Rapra. Laut der Studie "The Future of High Performance Plastics to 2019" der US-amerikanischen Marktforschungsgesellschaft beziffern die Marktexperten für das Jahr 2014 die weltweit verbrauchte Menge auf 749.000 t. ... Der Bedarf in der Medizintechnik soll mit einer jährlichen Rate von **6,9 %** bis 2019 am schnellsten wachsen. Dahinter folgen die Luftfahrt mit **6,4 %** und Elektro und Elektronik (E+E) mit **6,3 %**" (K-Zeitung ONLINE, 14-10-01, "Fast eine Mio. t Hochleistungskunststoffe")

„Die Marktforscher prognostizieren bis 2022 ein weiteres Umsatzwachstum von durchschnittlich **4,7 % pro Jahr**. Interessant sind TPE auch, weil sie aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden können.“ ... „Der größte Absatzmarkt für thermoplastische Elastomere ist die Fahrzeugindustrie: Sie verarbeitet derzeit und 40% der gesamten Produktion.“ (chemie.de, 15-01-16: „Innovative Werkstoffe: Ceresana analysiert den Weltmarkt für thermoplastische Elastomere“, http://www.chemie.de/news/151228/innovative-werkstoffe-ceresana-analysiert-den-weltmarkt-fuer-thermoplastische-elastomere.html?WT.mc_id=ca0065)

Die folgende Tabelle 55 ist zwar schon etwas älter, gibt aber eine gute Übersicht über die unterschiedlichen Wachstumsraten unterschiedlicher Polymere bis zum Jahr 2015. Neuere Daten (s.o.) sehen zukünftig für PP/PE ein stärkeres und für PVC ein geringeres Wachstum.

Tabelle 55: Wachstumsraten unterschiedlicher Polymere bis 2015 (Quelle: PlasticsEurope 2011)

| Welt Kunststoff-Werkstoffe 1990 – 2015e | | PlasticsEurope Der Verband der Kunststoffhersteller | | | |
|---|-------------------|--|--------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Verbrauch in Mio. t 1990 – 2015e | 1990 in Mio. t | 2009 in Mio. t | 2010e in Mio. t | 2015e in Mio. t | Wachstum p. a. 2009 – 2015e |
| PE-LD, PE-LLD | 18,8 | 39,0 | 40,3 | 47,9 | 3,5% |
| PE-HD | 11,9 | 31,0 | 32,2 | 40,4 | 4,5% |
| PP | 12,9 | 46,0 | 48,1 | 61,6 | 5,0% |
| PVC | 17,7 | 32,5 | 34,8 | 43,6 | 5,0% |
| PS | 7,2 | 10,0 | 10,8 | 12,7 | 4,0% |
| EPS | 1,7 | 4,8 | 5,2 | 6,4 | 5,0% |
| ABS, ASA, SAN | 2,8 | 7,9 | 8,5 | 11,2 | 6,0% |
| PA | 1,0 | 2,3 | 2,6 | 3,3 | 6,0% |
| PC | 0,5 | 3,0 | 3,5 | 4,5 | 7,0% |
| PET | 1,7 | 14,8 | 15,5 | 19,8 | 5,0% |
| PUR | 4,6 | 11,3 | 11,9 | 15,1 | 5,0% |
| Sonst. Thermoplaste | 2,8 | 7,4 | 8,3 | 10,5 | 6,0% |
| Total | 83,6 | 210 | ~222 | ~277 | 4,7% |

Fachpresstag 2011 Quelle: PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) / Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH e = estimation 12

Wachstum der weltweiten Kunststoffnachfrage in der Automobilindustrie

Im Rahmen der vorliegenden Gesamtstudie wurde eine eigene kleine Studie zum Thema „Wachstum der weltweiten Kunststoffnachfrage in der Automobilindustrie“ durchgeführt, die im Anhang zu finden ist.

In der folgenden Tabelle sind alle Annahmen zur Abschätzung der Kunststoffnachfrage für den Automobilssektor zusammengestellt, die sich aus den Ergebnissen der Studie ableiten lassen. Multipliziert man die Anzahl der weltweit hergestellten PKW mit deren durchschnittlichen Gewicht sowie dem durchschnittlichen Kunststoffanteil, so erhält man die Kunststoffmenge, die im jeweiligen Jahr in Automobilen eingesetzt wurde. Vernachlässigt man die Verluste an Kunststoffen, die in der Produktion und Entwicklung anfallen, kann man diesen Wert mit der Nachfrage der Automobilindustrie nach Kunststoffen gleichsetzen.

Bei einem gleich bleibenden Gewicht wächst die Zahl der PKW weltweit jährlich um etwa 3 %, während der Anteil an Kunststoffen gleichzeitig mit 2 % pro Jahr wächst.

Tabelle 56: Abschätzung der Kunststoffnachfrage in der Automobilindustrie im Jahr 2011 und 2050 (Quelle: eigene Darstellung)

| Annahmen | 2011 | 2050 | Wachstumsrate im Zeitraum 2011-2050 |
|--|---------------------------|----------------------------|--|
| PKW-Produktion weltweit | 60 Millionen Einheiten | 221 Millionen Einheiten | 3 % |
| Durchschnittliches Leergewicht der PKW | 1,3 Tonnen | 1,3 Tonnen | 0 % |
| Durchschnittlicher Kunststoffanteil im PKW | 12 % | 25 % | 2 % |
| Nachfrage nach Kunststoffen in der Automobilindustrie | 9,4 Millionen Tonnen | 71,8 Millionen Tonnen | 5,4 % |

Die Autoren kommen aufgrund dieser Annahmen zu dem Schluss, dass die Kunststoffnachfrage der Automobilindustrie von 9,36 Millionen Tonnen im Jahr 2011 auf 71,8 Millionen Tonnen im Jahr 2050 steigen wird, was einer jährlichen Wachstumsrate von 5,4 % entspricht. Damit wird sich die absolute Kunststoffnachfrage zwischen 2011 und 2050 verachtfachen.

Innenausstattung: Bodenbeläge und Teppiche

“Global demand for flooring and carpeting is expected to rise to **4.9%/year** to 18.6 billion m² in 2016” (Freedonia Group, USA 2014).

“In developing countries, an increase in construction and rising incomes will allow households to afford more expensive floorcoverings. ... The Asia/Pacific region is forecast to see the fastest gains in floorcovering demand, driven by rapid industrialization in many countries. ... Increased automotive production will also boost demand for floorcovering.” (Melliand International 2/2013, p. 62)

“Current trends show worldwide demand for carpet **rising 5% annually**, with production projected to reach 18.6 billion square metres per year by 2016. Good environmental performance and sustainability are now the key priorities in this burgeoning industry.” (Desso 2013)

Fasern, Gewebe und Vliesstoffe (non-wovens)

"The global demand for cellulose fibers was 5,400.1 kilo tons in 2013 and is expected to reach 9,202.8 kilo tons by 2020, growing at a CAGR of **8.1%** from 2014 to 2020. Cellulose fiber demand for spun yarn applications segment is expected to grow at an estimated CAGR of **9.9%** from 2014 to 2020, in terms of revenue." (SpecialChem - 4 November 2014 (<http://www.specialchem4bio.com/news/2014/11/04/global-cellulose-fibers-market-to-reach-usd-29-611-1-mn-by-2020--grand-view-research>))

Global demand for nonwovens is forecast by Freedonia “to **rise 5.4% annually** to 9.1 million tons in 2017”.- USA, Japan and Western Europe: 2.4%/year.- **Developing areas of the world 7.2%/year through 2017.**Main applications: mattresses, motor vehicles, geotextiles as well consumer goods such as wipes and personal hygiene products. (Chemical Fibres International 1/2014)

Laut Freedonia ist in den **USA** der „Total nonwovens demand“ zwischen 2006 und 2011 um jährlich 3,0% gewachsen und für 2011 bis 2016 werden **5,7%/Jahr** erwartet. (Technical Textiles 3/2013, p. E83)

Die weltweite Produktion von **Bautextilien** ist zwischen 2000 und 2010 (Menge: 2,6 Mio. t) durchschnittlich mit **5%** pro Jahr gewachsen, die von **Geotextilien** sogar um **16%**. (Böttcher, P. 2014: Geo- und Bautextilien mit Produkt- und Anwendungsinnovationen. In: avr – Allgemeiner Vliesstoff-Report, 01/2014)

Jährliches Wachstum von Faser- und Textilverbrauch – 2011 bis 2050

Im vorherigen Teilkapitel wurden die jüngsten Marktstudien aus dem Faser- und Textilbereich zitiert. Im Rahmen der vorliegenden Gesamtstudie wurde eine eigene kleine Studie zum Thema „Jährliches Wachstum von Faser- und Textilverbrauch – 2011 bis 2050“ durchgeführt, die in Anhang I zu finden ist. Hier wurden weitere 9 Marktstudien ausgewertet und die Ergebnisse und Modellannahmen wie folgt beschrieben:

Die vorhergesagten Wachstumsraten unterscheiden sich stark von Studie zu Studie und liegen zwischen 3 % und 20 %, auch abhängig vom spezifischen Marktsegment und dem regionalen Fokus. Insbesondere für Vliesstoffe, technische Textilien und Luxusprodukte

wird ein sehr starkes Wachstum erwartet, und das besonders für die aufstrebenden wirtschaftlichen Giganten Indien und China. Da die anderen Marktsektoren deutlich schwächer wachsen werden und da diese Marktvorhersagen maximal bis 2020 gehen, **nehmen wir für unsere Zwecke eine konservative Wachstumsrate von 3 % Gesamtwachstum für den Faser- und Textilsektor zwischen 2011 und 2050 an.** Während Cellulosefasern und Vliesstoffe deutlich stärker wachsen werden, wird die Entwicklung bei Baumwolle und traditionellen Textilien signifikant langsamer sein.

Mit einer jährlichen Wachstumsrate von 3 % wird der Gesamtkonsum an Fasern im Jahr 2050 bei **270 Millionen Tonnen liegen.** Die Verteilung dieser 270 Millionen Tonnen auf die unterschiedlichen Faserarten in den zwei Szenarien basiert auf den folgenden **Annahmen:**

- Die Anbaufläche für Baumwolle wird weltweit nicht mehr ausgeweitet, durch Ertragssteigerungen wird sich die absolute Produktionsmenge leicht erhöhen. Andere Naturfasern werden sowohl ihre Fläche als auch ihre Ertrageffizienz steigern.
- Bio-basierte Polymerfasern werden momentan entwickelt; zur Zeit sind sie noch nicht signifikant auf dem Markt vertreten, aber für 2050 wird dies erwartet.
- Dem bio-basierten Szenario liegt vor allem die Annahme zugrunde, dass Umweltfaktoren, und insbesondere die Verschmutzung durch Mikropartikel, die Nutzung von bio-basierten Polymeren und Cellulosefasern für Textilien begünstigt.

Diese Annahmen führen zur folgenden Verteilung der verschiedenen Faserarten über den Gesamttextilkonsum 2050:

Tabelle 57: Faserkonsum nach Faserart 2050, BAU und bio-basiertes Szenario (Quelle: eigene Darstellung)

| Fasern | 2011 (Mio t) | 2013 (Mio t) | 2050 (BAU, Mio t) | 2050 (bio- basiert, Mio t) |
|--|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|---|
| Wolle | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Baumwolle | 24 | 24 | 28 | 30 |
| Naturfasern (excl. Wolle & Baumwolle) | 5 | 5 | 10 | 20 |
| Cellulosefasern | 5 | 6 | 36 | 84 |
| Fossil-basierte Polymere | 48 | 54 | 180 | 105 |
| Bio-basierte Polymere | 0 | 0 | 15 | 30 |
| Total | 83 | 90 | 270 | 270 |

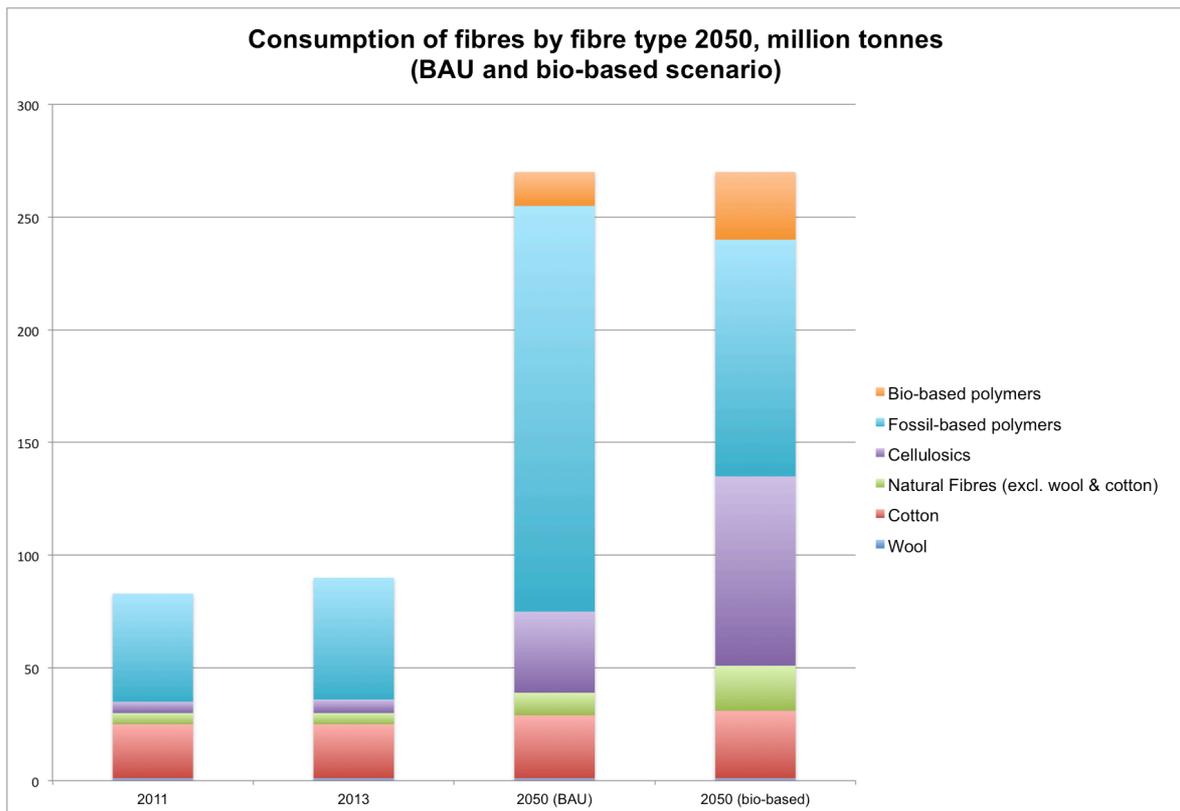


Abbildung 72: Faserkonsum nach Faserart 2050, BAU und bio-basiertes Szenario (Quelle: eigene Darstellung)

Jüngste Zahlen vom weltweiten Wachstum im Zeitraum 2012/2013 unterstützen unsere Modellannahmen:

„Laut der weltweiten Umfrage des Fiber Organon erhöhte sich die globale Produktion von Chemiefasern im Jahr 2013 abermals um 3,5 Mill. t bzw. **5,8 %** auf 63,8 Mill. t. Die Produktion von Textilfasern stieg dabei um 2,4 Mill. t bzw. **2,7 %** auf 90,9 Mill. t. an. Die Naturfaserproduktion (Baumwolle, Wolle, Leinen, Seide) verringerte sich insgesamt um 1,1 Mill. t auf 27,1 Mill. t (-3,9%). ... wurden ... 4,8 Mill. t (+12,2%) Cellulosefasern (ausgenommen Acetat-Zigarettenfilter) hergestellt.“ (Technische Textilien, 4/2014, S. 126)

Pflege- und Reinigungsprodukte

"The natural and organic ingredients market is poised for good growth in the home-care and personal-care market, at a CAGR of **5.0%** between 2012 and 2017." (CHEManager International 9/2014, p 12)

Tabelle 63 zeigt eine Übersicht der Annahmen zur Entwicklung der Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in den Szenarien für das Jahr 2050. Wie bereits erwähnt, haben wir die Nachfrage nach Stroh als Einstreu an den Futterbedarf gekoppelt, sodass in keine separate Ausweisung der Nachfrage nach Stroh in Tabelle 63 erfolgt.

6.2.1.4 Steigender Anteil von Biomasse in der Chemie- und Kunststoffindustrie

Im Bereich der bio-basierten Chemikalien und Kunststoffe werden höhere jährliche Wachstumsquoten erwartet als im Gesamtmarkt, der zwischen 2010 und 2050 mit durchschnittlich 3,5 % (CAGR) pro Jahr wächst (siehe Kapitel 6.1.1.6).

Während die Biomasse im Jahr 2010 nur 10 % der Chemierohstoffe ausmacht, sollen in der Studie folgende Szenarien betrachtet werden:

- Der Anteil steigt bis 2050 auf 20 % (dies entspräche einem CAGR von 5,4 %)
- Der Anteil steigt bis 2050 auf 40 % (dies entspräche einem CAGR von 7,3 %)
- Der Anteil steigt bis 2050 auf 95 % (dies entspräche einem CAGR von 9,7 %)

Die ersten beiden Fälle scheinen durchaus realistisch zu sein, eine wachsende bio-basierte Ökonomie kann diese Zielmarken sicherlich erreichen. Der 95 %-Fall wurde nur mit aufgenommen, um die Auswirkungen dieser sehr starken Nachfrage aus dem Chemiebereich auf die Gesamtszenarien anzusehen.

Eine aktuelle Marktstudie des nova-Instituts (Aeschelmann et al. 2015) zeigt für den Zeitraum von 2013 bis 2020 sogar noch größere jährliche Wachstumsraten: Für bio-basierte Kunststoffe wurde weltweit ein CAGR von 18,5 % und für neue bio-basierte Building-blocks 11,6 % gefunden. Die Zahlen stammen von den produzierenden Unternehmen selbst in Bezug auf Ausbaupläne ihrer Kapazitäten.

Viele Experten gehen von einem steigenden bio-basierten Anteil in der Rohstoffbasis der Chemieindustrie aus, wie auch eine Umfrage im Jahr 2013 zeigt (s. Tabelle 58). Knapp die Hälfte der Befragten erwarten eine Steigerung (circa 5 % sogar eine deutliche Steigerung), die andere Hälfte eine Stagnation. Unter den Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitern erwarten 52 % eine Steigerung und zusätzliche 4 % sogar eine deutliche Steigerung.

Tabelle 58: Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in der Chemie
(Quelle: CHEManager 2013)

| Nutzung alternativer Rohstoffe | | | | |
|--|-------------------------|----------------|----------------------------|-----------------|
| <i>„Wie wird sich die Rohstoffbasis Ihres Unternehmens in den nächsten 5 Jahren entwickeln?“</i> | | | | |
| Die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen als Ausgangsstoff wird... | | | | |
| (Quelle: CheManager 2013) | | | | |
| | deutlich steigen | steigen | unverändert bleiben | abnehmen |
| < 500 Mitarbeiter | 6 % | 42 % | 42 % | 10 % |
| > 500 Mitarbeiter | 4 % | 52 % | 43 % | 0 % |

Noch viel stärkere Wachstumsraten für bio-basierte Chemikalien prognostiziert eine aktuelle Studie von Nexant im Auftrag des US-Agrarministeriums (USDA). Im Zeitraum von 2012 bis 2022 hält die Studie durchschnittliche jährliche Wachstumsraten von 35 % für möglich! Die Produktion von bio-basierten Chemikalien soll von 165.000 t auf über 3 Mio. t steigen (Nexant 2014).

Tabelle 59: US-Marktpotenzial bio-basierter Chemikalien (Quelle: Nexant 2014)

| U.S. Renewable Chemicals/Materials Market Potential | | | | |
|--|-------------|-------------|--------------|--------------------------------|
| <i>(Thousand metric tons)</i> | | | | |
| | 2012 | 2017 | 2022 | Growth 2012 to 2022 |
| C ₂ | 0 | 0 | 1.000 | 1.000 |
| C ₃ | 40 | 100 | 300 | 260 |
| C ₄ | 100 | 150 | 400 | 300 |
| Aromatics | <10 | 100 | 500 | 495 |
| Speicalty Oils | 20 | 400 | 1.000 | 980 |
| Total | 165 | 750 | 3.200 | 3.035 |

Auch Lux Research sieht ein deutlich stärkeres Wachstum der bio-basierten Materialien und Chemikalien:

„Led by growth in the U.S. and Brazil, the global capacity to produce bio-based materials and chemicals (BBMC) from emerging technologies will rise to over 7.4 million metric tons in 2018, more than tripling from 2008 levels, according to Lux Research.“ (Lux Research: Biobased materials, chemicals capacity to increase, in Biomass Magazine, 15-01-22, <http://www.biomassmagazine.com/articles/11459/lux-research-biobased-materials-chemicals-capacity-to-increase>)

Für schnell biologisch abbaubare Kunststoffe könnte das wachsende Mikroplastik-Problem ein zusätzlicher Treiber für bio-basierte Lösungen darstellen. Es soll an dieser Stelle genügen eine Quelle zu zitieren:

„Das Problem mit Mikroplastik in den Weltmeeren: Damit wird eine Forderung besonders interessant, die der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) nun erstmals formuliert: „Die Freisetzung von Plastikabfall soll bis 2050 weltweit gestoppt werden.“ Das steht in dem Papier „Zivilisatorischer Fortschritt innerhalb planetarischer Leitplanken“, das der WBGU der Bundesregierung am Mittwoch.

Es ist ein Vorschlag, wie es mit den 2015 auslaufenden UN-Millenniumszielen weitergehen kann. Im September 2015 soll der UN-Millenniumsgipfel in New York den Katalog verabschieden, der die internationale Entwicklungszusammenarbeit bestimmen wird.“ (taz 2014-06-10)

Substitutionspotenzial

Grundsätzlich können so gut wie alle auf petrochemischem Wege hergestellten Chemikalien auch bio-basiert produziert werden. Im Polymerbereich können laut Shen et al. 2010 technisch gesehen 90 % alle Polymere schon heute auf bio-basierten Prozessketten realisiert werden: „The technical substitution potential of biobased plastics replacing petrochemical plastics is estimated at 90 %, demonstrating the enormous potential of biobased plastics.“

Die Substitution von fossilem Kohlenstoff durch Biomasse kann grundsätzlich über zwei Wege erfolgen, zum einen als Drop-in-Strategie, wo die Biomasse so früh wie möglich in eine existierende petrochemische Prozesskette eingespeist wird und dort eine petrochemische Basis-Chemikalie ersetzt. Der andere Weg wird als „Dedizierte Strategie“ oder „emerging strategy“ bezeichnet, bei der neue Building-blocks bzw. Intermediates produziert und neue Prozesswege wie vor allem die Industrielle Biotechnologie beschritten werden.

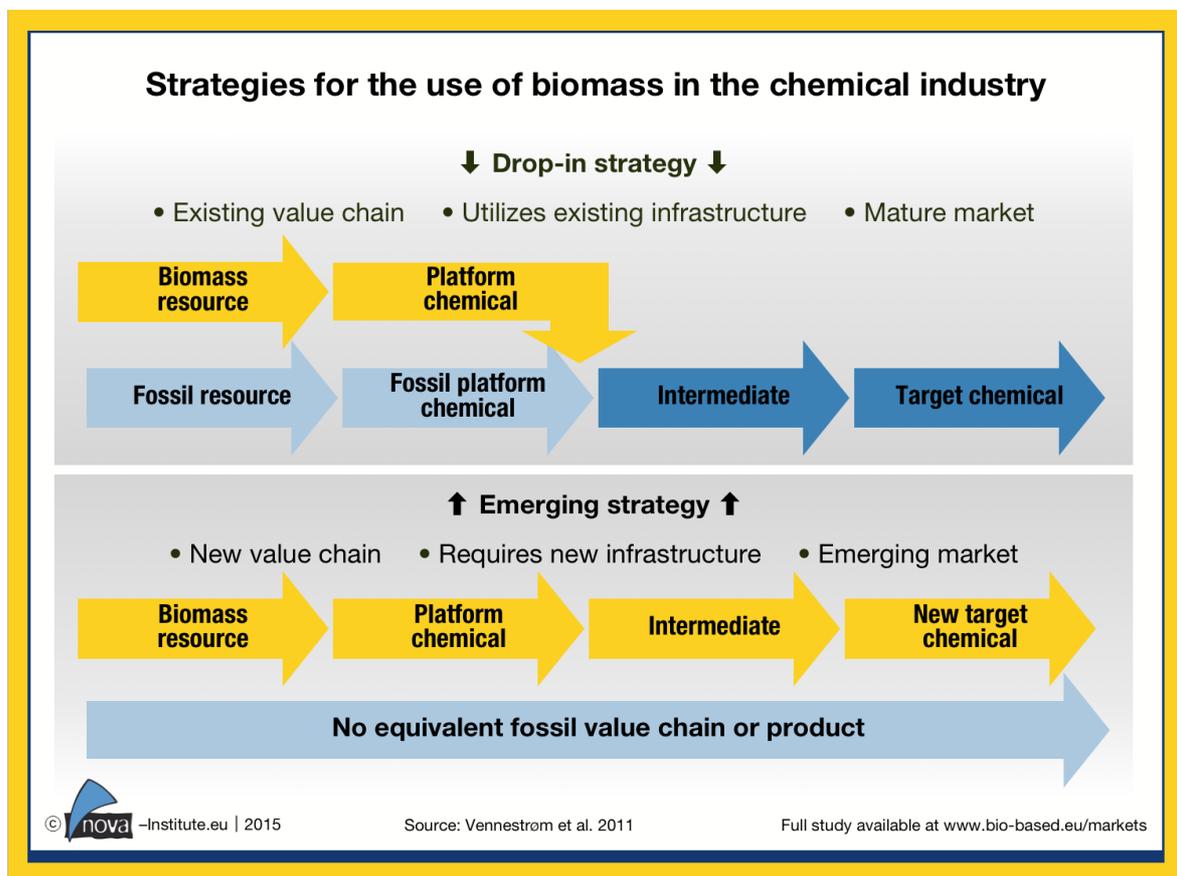


Abbildung 73: Zwei unterschiedliche Wertschöpfungsketten zur Nutzung von Biomasse in der Chemie (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Vennestrøm et al. 2011)

Beide Strategien haben ihre Vor- und Nachteile, wie die folgende Übersicht zeigt. Es ist zu erwarten, dass in den nächsten 10-20 Jahren die Drop-In-Wege dominieren werden, sich danach aber die dedizierten Prozesse aufgrund ihrer höheren Effizienz durchsetzen werden.

Tabelle 60: Grundsätzliche Unterschiede von Drop-In- und dedizierten Strategien für die stärkere Einführung von Biomasse in die Chemie (Quelle: eigene Darstellung)

| Kriterien | Drop-in Strategie | Deziierte Strategie |
|-------------------------------------|--|--|
| Wertschöpfungskette + Infrastruktur | Nutzt bestehende Wertschöpfungsketten und Infrastruktur der petrochemischen Industrie | Neue Wertschöpfungsketten und teilweise neue Infrastruktur erforderlich (industrielle Biotechnologie) |
| Implementierung | Schnell, geringe Investitionen nötig | Langsam, hohe Investitionskosten |
| Märkte | Bestehende Märkte | Entwickelnde Märkte |
| Biomasse-Effizienz | Gering: 20-50 % (only Kohlenstoff der Biomasse wird genutzt) | Hoch: 50-100 % (funktionelle Gruppen der Biomasse und auch O,H,N-Atome werden genutzt) |
| Produkte | Entsprechen den petrochemischen Standardpolymeren | Neue Bausteine und Polymere mit neuen Eigenschaften |
| Preis | Meistens teurer als petrochemische Äquivalente (es sei denn sehr billige Biomasse kann verwendet werden) | Oft, teurer als petrochemische Alternativen. In spezifischen Anwendungen konkurrenzfähig durch bessere und/oder neue Eigenschaften |
| Forschungspolitik | Nicht speziell gefördert | Speziell gefördert |

Abbildung 74 zeigt abschließend wichtige bio-basierte Rohstoffe und ihre Prozesswege über verschiedene Zwischenprodukte hin zu Energieträgern, Chemikalien, Polymeren, aber auch Lebens- und Futtermitteln.

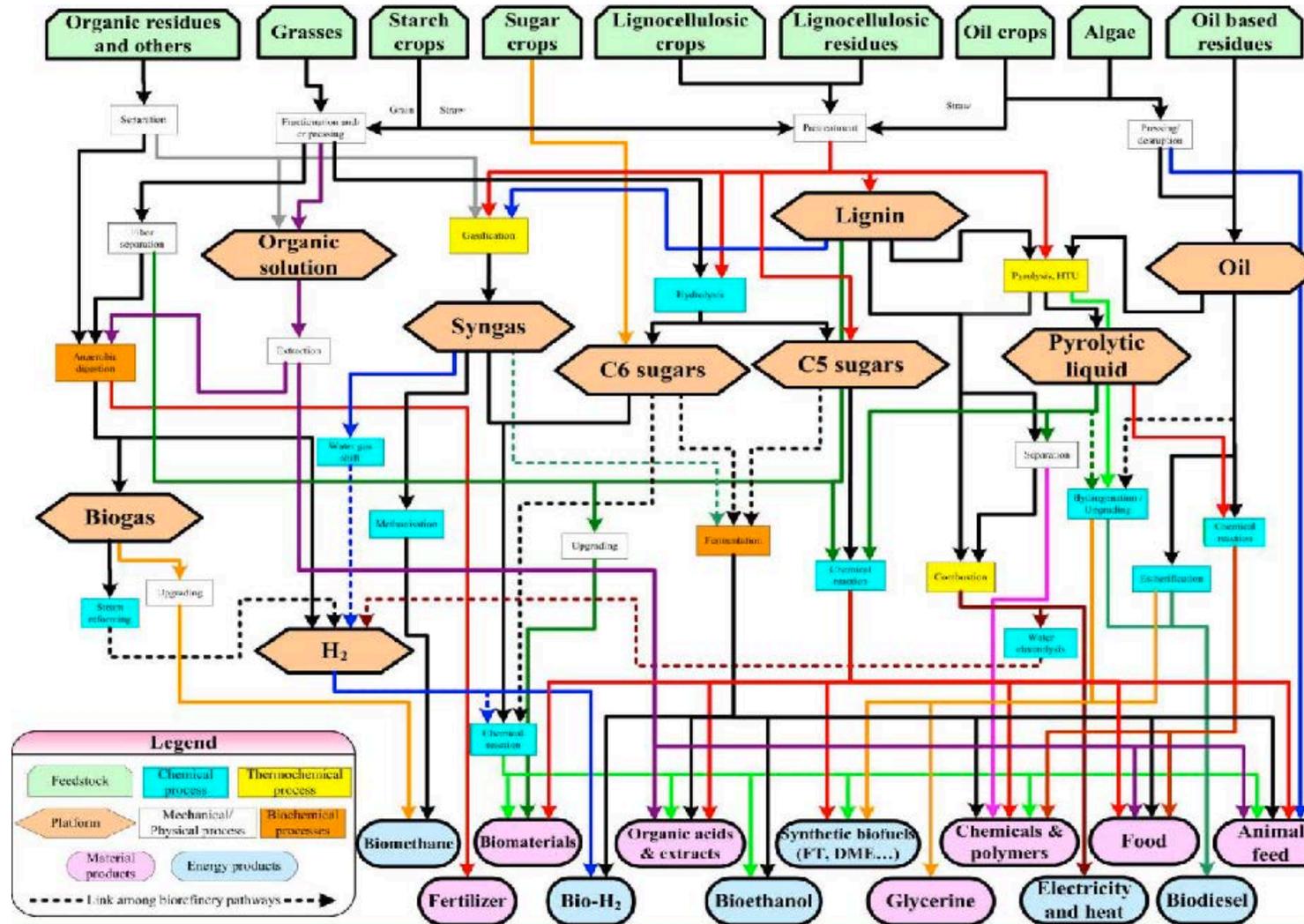


Abbildung 74: Biogene Rohstoffarten, Konversionswege und Produkte basierend auf der Klassifizierung von Biorefinerien nach IEA Bioenergy Task42 2012 (Quelle: IEA 2012).

Biomassebedarf der Chemie- und Kunststoffindustrie im Jahr 2050

Basierend auf den Ergebnissen der vorherigen Kapitel ist es nun möglich, den Gesamtbedarf an Biomasse für die Chemie- und Kunststoffindustrie zu berechnen:

Basisdaten 2010 (Welt):

59 Mio. t Biomasse werden weltweit für die Produktion von Chemikalien und Kunststoffen eingesetzt. Dies sind 10 % des Gesamtrohstoffbedarfs von 590 Mio. t.

Annahmen für den Zeitraum 2010 bis 2050 für die gesamte Chemie- und Kunststoffindustrie

Durchschnittliche jährliche Wachstumsraten (CAGR) des Rohstoffeinsatzes für die gesamte chemische Industrie: 3,5 % (Europa und Deutschland: 1,75 %)

Durchschnittliche jährliche Wachstumsraten (CAGR) des Rohstoffeinsatzes für die gesamte Kunststoffindustrie: 3,5 % (Europa und Deutschland: 1,75 %)

Annahmen für drei Szenarien des bio-basierten Rohstoffeinsatzes

Der Anteil von bio-basierten Rohstoffen in der Chemie- und Kunststoffindustrie steigt bis 2050 auf 20 %; dies entspricht zusammen mit dem Wachstum der Chemie- und Kunststoffindustrie insgesamt einem CAGR von 5,4 %.

Der Anteil von bio-basierten Rohstoffen in der Chemie- und Kunststoffindustrie steigt bis 2050 auf 40%; dies entspricht zusammen mit dem Wachstum der Chemie- und Kunststoffindustrie insgesamt einem CAGR von 7,3 %.

Der Anteil von bio-basierten Rohstoffen in der Chemie- und Kunststoffindustrie steigt bis 2050 auf 95 %; dies entspricht zusammen mit dem Wachstum der Chemie- und Kunststoffindustrie insgesamt einem CAGR von 9,7 %.

6.2.1.5 Entwicklung der Biomassenachfrage aus der Chemie bis 2050

Abbildung 75 zeigt die Biomassenachfrage in den verschiedenen Szenarien. Für das Wachstum des Gesamtrohstoffbedarfs ist hier ein CAGR von 3 % sowie 4 % (statt nur für 3,5 %) angenommen, um den Einfluss des durchschnittlichen, jährlichen Wachstums auf die Ergebnisse sichtbar zu machen.

Bei einem CAGR von 4 % für die gesamte Chemische Industrie und einem bio-basierten Anteil von 40 % im Jahr 2050 wächst die Nachfrage nach Biomasse von 59 Mio. t in 2010 auf circa 1.100 Mio. t in 2050.

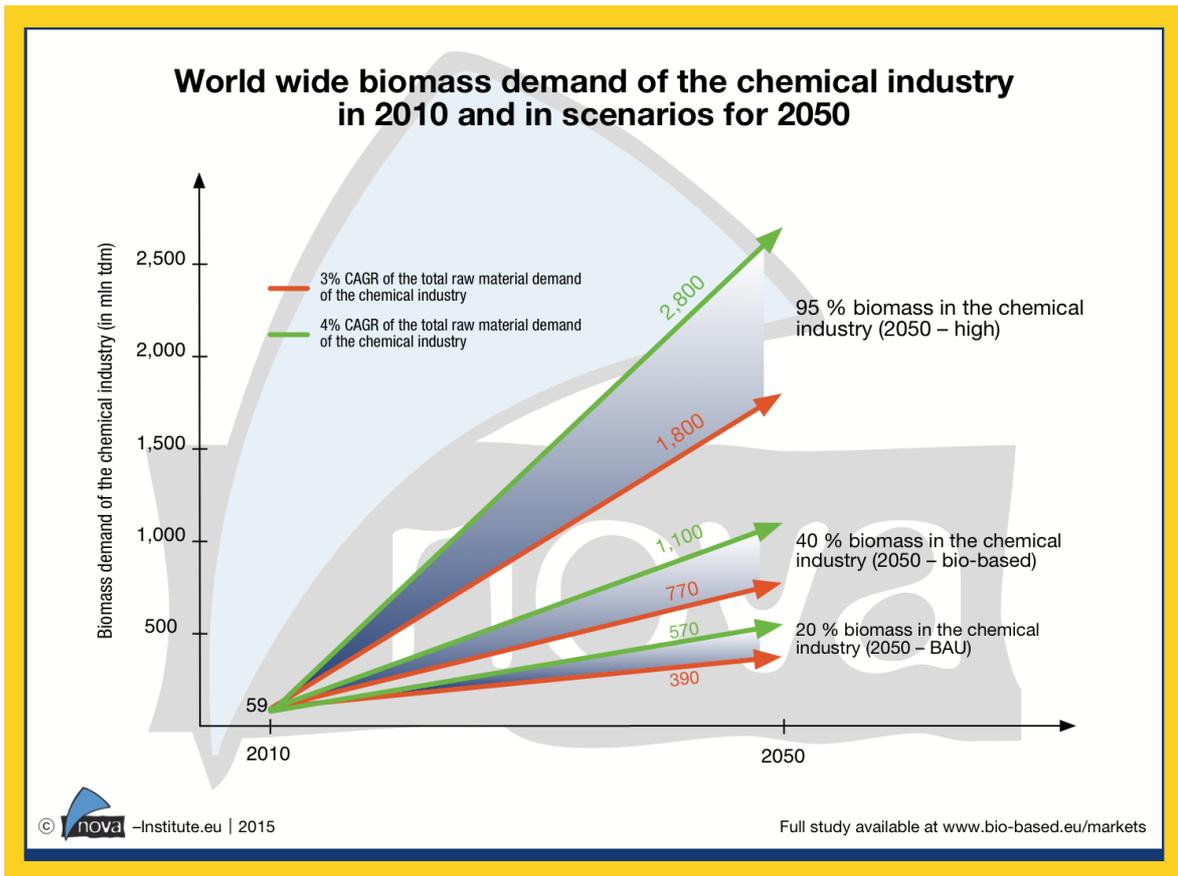


Abbildung 75: Weltweite Biomasse-Nachfrage der Chemischen Industrie in 2010 und verschiedenen Szenarien für 2050 (Quelle: eigene Darstellung)

Die nächste Abbildung 76 verdeutlicht in einem Bild sowohl die verwendete Menge an organischen und anorganischen Rohstoffen für die Chemische Industrie im Jahr 2010 sowie im Jahr 2050 im BAU-Szenario (CAGR 3,5 % für den gesamten Chemiebereich und Anteil Biomasse 2050 20 %), als auch die Anteile, die für die Kunststoffproduktion genutzt werden und die jeweiligen Anteile der Biomasse an der Rohstoffversorgung.

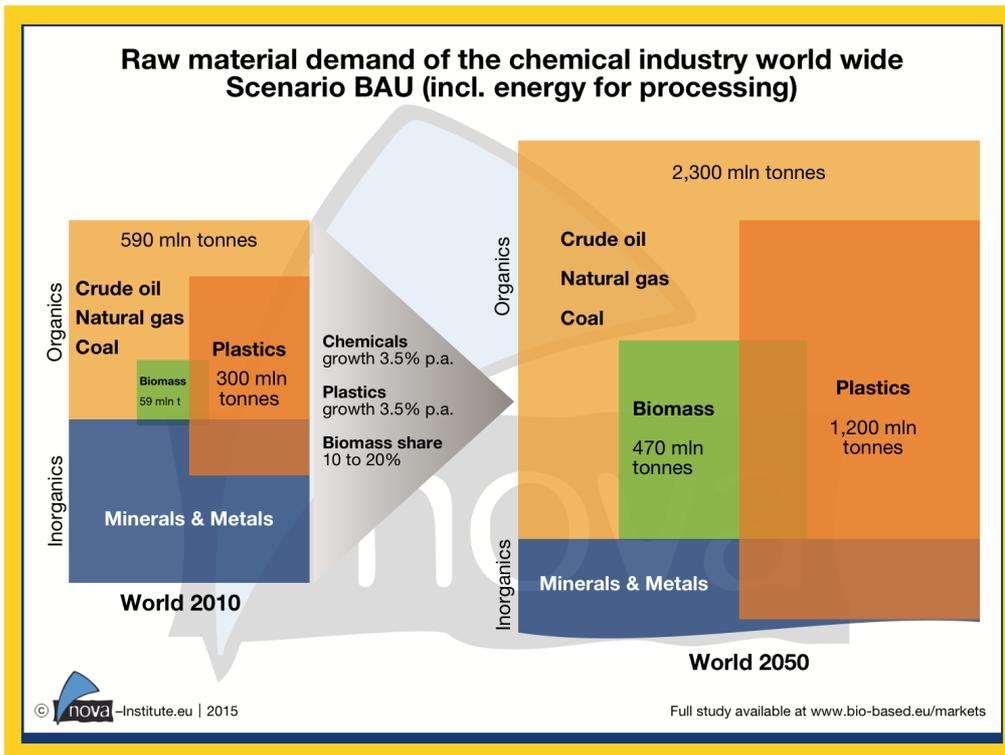


Abbildung 76: Rohstoffbedarf der Chemischen Industrie weltweit im BAU-Szenario (Quelle: eigene Darstellung)

Insgesamt ergeben sich damit die folgenden Szenarien für Biomasse in der Chemie; der Bedarf nach Stärke/Zucker wird dabei zum einen direkt über Stärke- und Zuckerpflanzen gedeckt und zum anderen über die Verzuckerung von Cellulose und Hemicellulose.

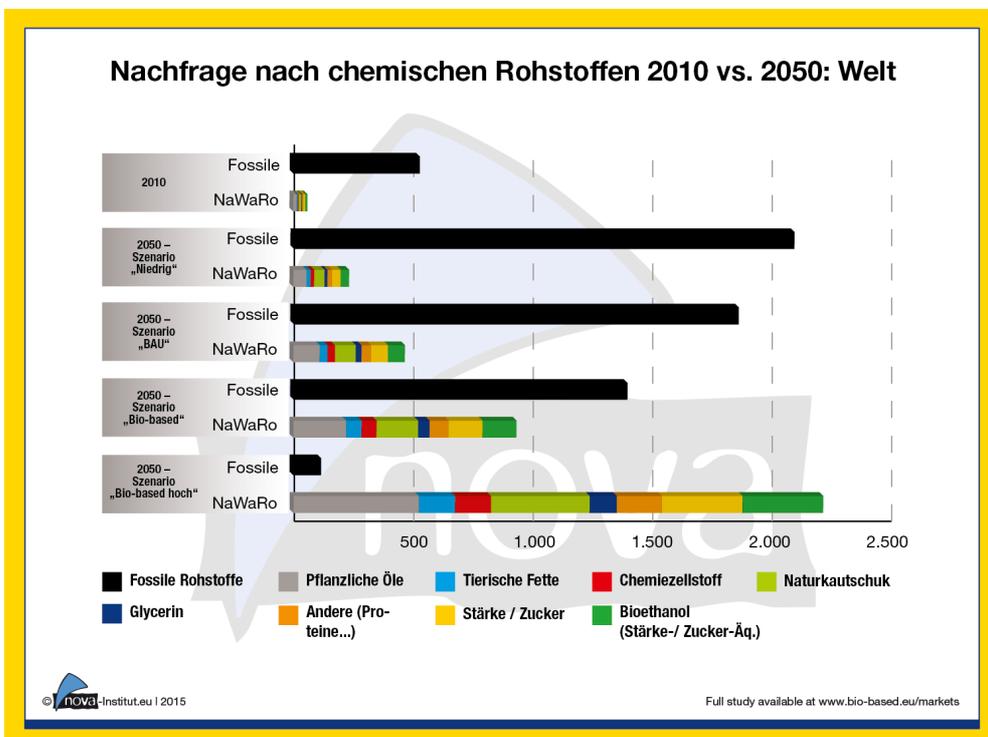


Abbildung 77: Weltweite Nachfrage nach chemischen Rohstoffen 2010 und 2050 in unterschiedlichen Szenarien (Quelle: eigene Darstellung)

Szenarien für den Energiebedarf

Die stoffliche Nutzung fossiler Kohlenstoffträger, vor allem in der petrochemischen Industrie, beruht heute noch primär auf der Nutzung von Erdöl via Crackern in Erdölraffinerien. Zukünftig wird hier Methan (Erdgas, Schiefergas) eine stärkere Rolle spielen und evtl. auch die Kohle.

Tabelle 61: Produktion fossiler Kohlenstoffträger weltweit in 2010 und 2030 (Quelle: BP 2011)

| | 2010 (in Mrd. t Öl-Äquivalenten) | 2030 (in Mrd. t Öl-Äquivalenten) |
|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Ölproduktion | 3,9 | 4,4 |
| Erdgasproduktion | 2,5 | 4,3 |
| Kohleproduktion | 2,9 | 4,5 |
| Fossile Kohlenstoffträger gesamt | 9,3 | 13,2 |

Die folgende Tabelle 62 gibt einen Gesamtüberblick über die ausgewählten Szenarien zur Entwicklung der Nachfrage nach Energie insgesamt sowie nach Bioenergie und Biokraftstoffen im Speziellen. Diese Szenarien dienen dazu, zum einen das Wachstum der stofflichen Nutzung in Relation zu setzen und zum anderen, zu beurteilen, welcher Anteil der prognostizierten Nachfrage nach Biokraftstoffen laut unseren Szenarien gedeckt werden kann.

Die Energieszenarien werden im Folgenden kurz erläutert.

Tabelle 62: Szenarien zur Entwicklung der Energienachfrage (Quelle: eigene Darstellung)

| | CAGR (2011- 2050) | Quelle |
|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Welt | | |
| Energie gesamt | 0,67% | IEA 2012 |
| Bioenergie gesamt | 3,03% | IEA 2012 |
| Bioenergie (Strom und Wärme) | 1,69% | IEA 2012 |
| Biokraftstoffe | 8,18% | IEA 2012 |
| EU-27 | | |
| Energie gesamt | -1,00% | Europäische Kommission 2012 |
| Bioenergie gesamt | 1,73% | Bentsen und Felby 2012 |
| Bioenergie (Strom und Wärme) | 1,68% | Bentsen und Felby 2012 |
| Biokraftstoffe | 1,94% | Bentsen und Felby 2012 |
| Deutschland | | |
| Energie gesamt | -1,62% | Schillings 2013 |
| Bioenergie gesamt | 1,02% | Schillings 2013 |
| Bioenergie (Strom und Wärme) | 0,92% | Schillings 2013 |
| Biokraftstoffe | 1,62% | Schillings 2013 |

Welt

Die folgende Abbildung 78 zeigt die Entwicklung des weltweiten Primärenergiebedarfs bis 2050 gemäß des IEA-Szenarios „ETP 2012 2DS“, welches eine Entwicklung des Gesamtprimärenergiebedarfs und des Ausbaus an Bioenergie beschreibt mit dem das Ziel einer Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf 2 °C erreicht werden könnte (IEA 2012a). Dieses Szenario entspricht einem CAGR des Primärenergiebedarfs von 0,67 % von 2011 bis 2050. Diese jährliche Wachstumsrate nehmen wir auch bis 2050 an.

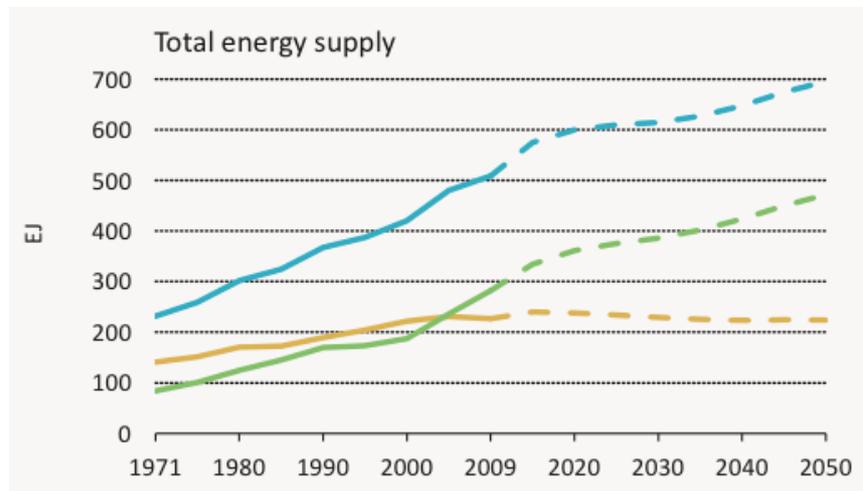


Abbildung 78: Weltweite Energienachfrage 1971 bis 2050 (Quelle: IEA 2012a)

Bezüglich des Bioenergieausbaus zur Erreichung des 2 °C Ziels erwartet die IEA 2012 eine Zunahme von etwa 54,8 EJ Primärenergie im Jahr 2011 auf 160 EJ im Jahr 2050 (CAGR: etwa 3 %). Von diesen 160 EJ würden 100 EJ auf Bioenergie für Strom und Wärme entfallen und 60 EJ auf Biokraftstoffe. Gegenüber des heutigen Primärenergiebedarfs von 52 EJ für Bioenergie für Strom und Wärme und 2,8 EJ für Biokraftstoffe entspricht dies einem CAGR von 1,7 % bzw. 8,1 %.

EU-27

Konträr zum weltweiten Wachstum der Energienachfrage könnte diese in hoch entwickelten Regionen wie der EU-27 aufgrund der bereits hohen Nachfrage, der stagnierenden Bevölkerung und Effizienzsteigerungen dagegen sogar sinken.

Die folgende Abbildung 79 zeigt den erwarteten starken Rückgang der Energienachfrage der EU im Falle eine Dekarbonisierungsszenarios (ausgedrückt in Mio. t Erdöläquivalenten). Der Rückgang von 2011 bis 2050 entspricht hier einem durchschnittlichen jährlichen Rückgang von etwa 1 %.

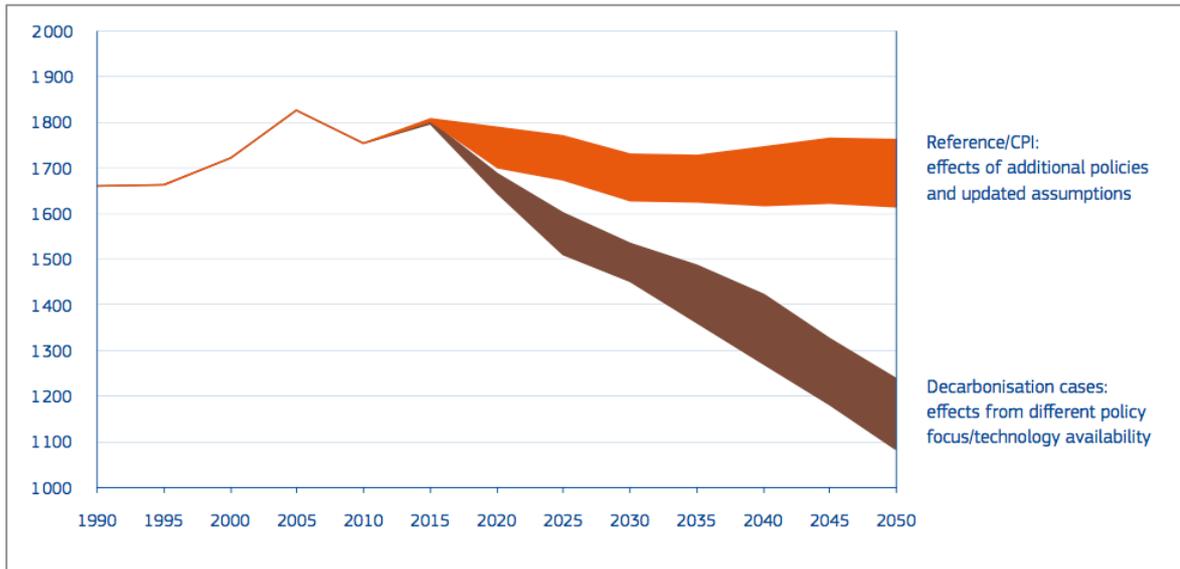


Abbildung 79: Energienachfrage der EU-27 1990 bis 2050, ausgedrückt in Mio. t Erdöläquivalenten (Quelle: Europäische Kommission 2012)

Bentsen und Felby 2012 geben auf Basis einer Auswertung der Nationalen Aktionspläne für erneuerbare Energie der Mitgliedstaaten an, dass der Biomassebedarf der EU-27 für Bioenergie bis 2020 auf etwa 10 EJ steigen wird. Ausgehend von einem Primärenergiebedarf von etwa 5,1 EJ im Jahr 2011 entspricht dies einem CAGR von etwa 1,73 %.

Von den 10 EJ im Jahr 2010 wurden nach Bentsen und Felby 2012 rund 8,2 EJ für Strom und Wärme verwendet und 1,8 EJ für Biokraftstoffe. Wir nehmen an, dass der Bedarf über 2020 hinaus nicht mehr stark steigen wird, auch aufgrund von Effizienzsteigerungen. Wir nehmen daher die 8,2 EJ auch als den Primärenergiebedarf für das Jahr 2050 an.

Nach Bentsen und Felby 2012 ergibt sich durch die Ausbaupläne der Mitgliedstaaten eine Steigerung des Biomassebedarfs für Biokraftstoffe von etwa 0,9 EJ im Jahr 2010 auf etwa 1,8 EJ im Jahr 2020. Dies entspricht einem CAGR von etwa 1,94 %. Die 1,8 EJ Primärenergie entsprechen ungefähr 90-120 Mio. t TM Biomasse.

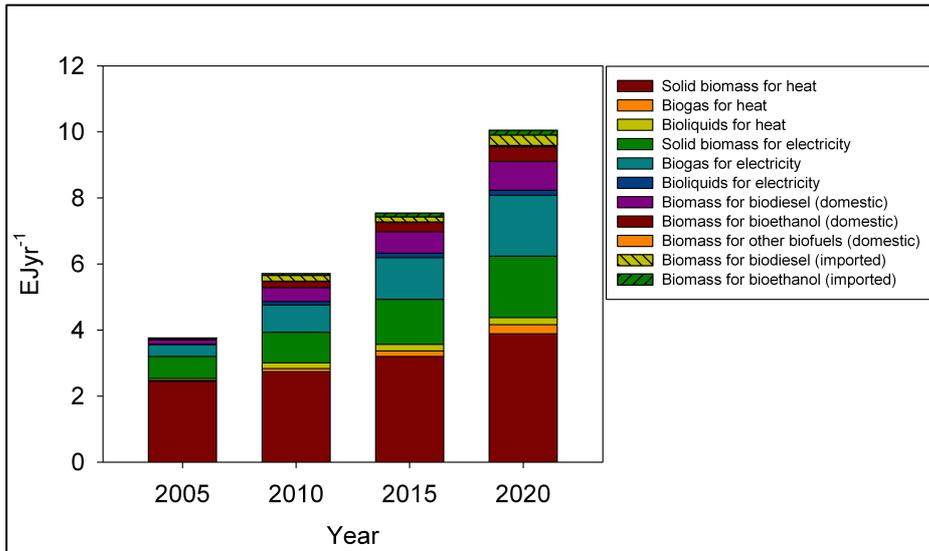


Abbildung 80: Bioenergienachfrage der EU-27 gemäß der Ausbaupläne der Mitgliedstaaten (Quelle: Bentsen und Felby 2012)

Deutschland

In Deutschland könnte die Energienachfrage sogar noch stärker zurückgehen. Nach Schillings 2013 ergibt sich z. B. für das Szenario „2050 A“ ein Rückgang der Nachfrage von 1,62 % p.a. (Rückgang von 14,044 EJ in 2010 auf 7,424 EJ in 2050). Nach Angaben von Schillings 2013 beschreibt dieses Szenario neben einem Ausbau der Elektromobilität auch einen verstärkten Einsatz von Wasserstoff im Verkehrssektor. Weitere Szenarien werden in Schillings 2013 nicht so genau beschrieben wie dieses Szenario „2050 A“, daher legen wir dieses Szenario für die weitere Analyse zugrunde.

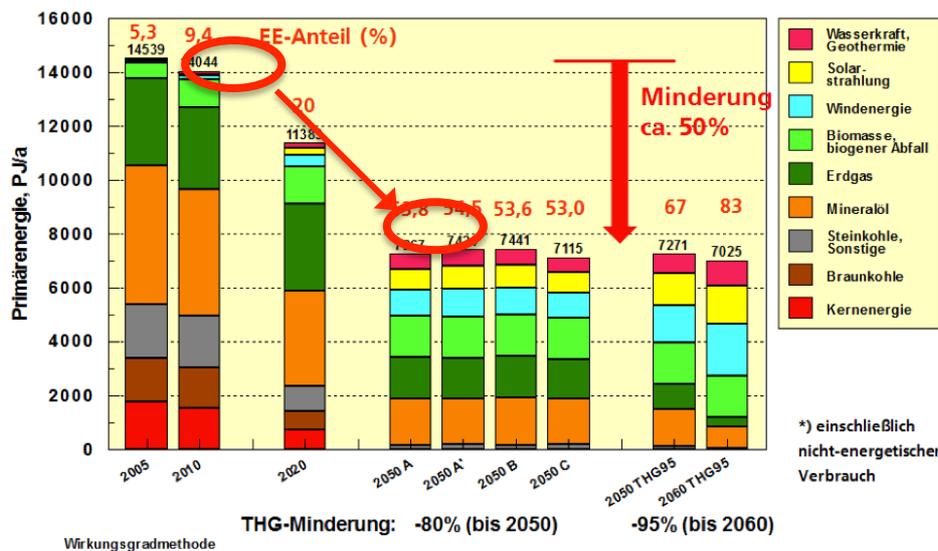


Abbildung 2: Primärenergieverbrauch (einschließlich nicht-energetischer Verbrauch) 2050 in den Leitstudien – Szenarien

Abbildung 81: Primärenergieverbrauch Deutschland 2050 in den Leitstudien-Szenarien (Quelle: BMU 2012)

Der Anteil der Bioenergie würde in diesem Szenario dagegen wachsen, und zwar von etwa 1,04 EJ auf 1,54 EJ im Jahr 2050 (CAGR: 1,02 %).

Durch eigene Umrechnungen (bei Schillings ist jeweils nur der Beitrag von Strom, Wärme und Biokraftstoffen zur Endenergie von etwa 1,14 EJ genannt) ergibt sich, dass Strom und Wärme am Primärenergiebedarf von 1,54 EJ etwa einen Anteil von 1,28 EJ haben dürften (CAGR: 0,92 %) und Biokraftstoffe einen Anteil von 0,26 EJ (CAGR: 1,62). Diese 0,26 EJ würden bei heutigen Technologien einem Rohstoffbedarf von etwa 9 Mio. t TM Biomasse entsprechen.

Stoffliche Nutzung

Tabelle 63: Annahmen zur Entwicklung der Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in den Szenarien für 2050 (Quelle: eigene Darstellung)

| | Einheit | 2011 | 2050 – BAU | 2050 – Bio-based | 2050 – Bio-based Hoch |
|--|---------|------|------------|------------------|-----------------------|
| Chemie und Kunststoffe | | | | | |
| Gesamte Rohstoffnachfrage | % p.a.* | - | +3,5 % | +3,5 % | +3,5 % |
| Anteil nachwachsender Rohstoffe | % | 10 % | 20 % | 40 % | 95 % |
| Bau und Möbel (Holz und Bambus) | | | | | |
| Papier und Zellstoff | | | | | |
| Textilien | | | | | |
| Nachfrage des Gesamtmarktes | % p.a.* | - | +3,0 % | +3,0 % | +3,0 % |
| Nachfrage nach Fasertypen: | | | | | |
| Wolle | % p.a.* | - | +0,0 % | +0,0 % | +0,0 % |
| Baumwolle | % p.a.* | - | +0,4 % | +0,6 % | +0,6 % |
| Andere Naturfasern außer Wolle und Baumwolle | % p.a.* | - | +1,8 % | +3,6 % | +3,6 % |
| Cellulosefasern | % p.a.* | - | +5,2 % | +7,5 % | +7,5 % |
| Bio-basierte Polymere | % p.a.* | - | +13,7 % | +15,7 % | +15,7 % |

* Jährliche Wachstumsrate

Die folgende Abbildung 82 zeigt die absolute Entwicklung der Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in den drei Szenarien „2050 – BAU“, „2050 – Bio-based“ und „2050 – Bio-based Hoch“.

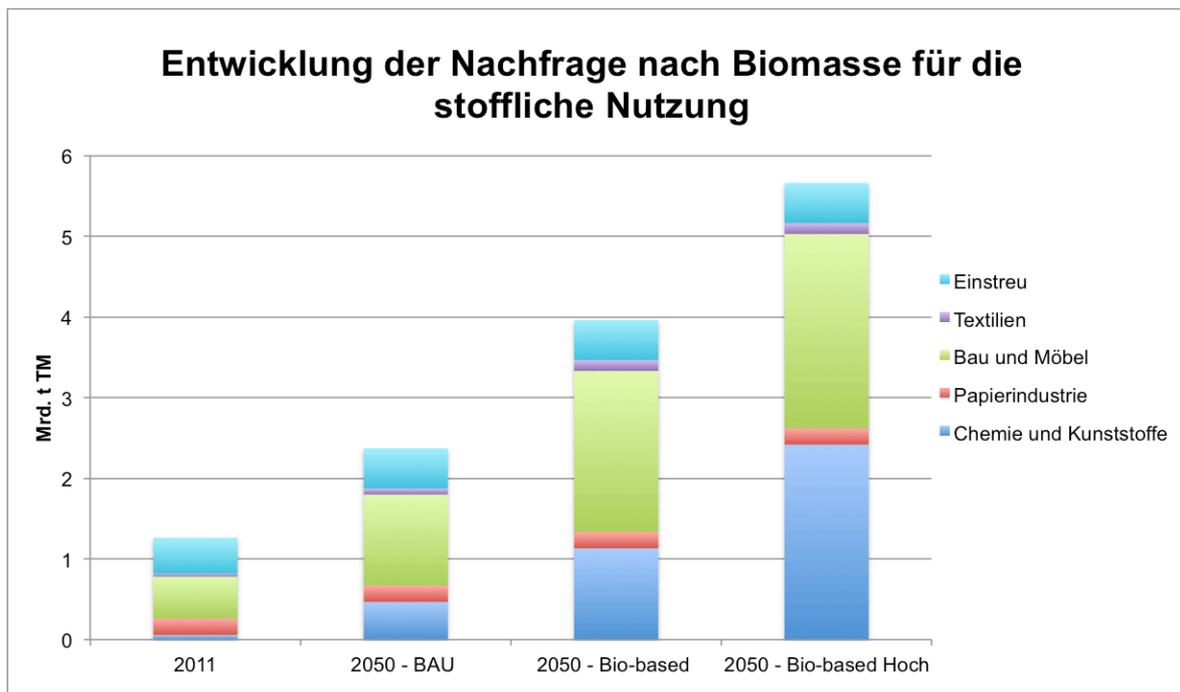


Abbildung 82: Entwicklung der weltweiten Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in den Szenarien für 2050 (Quelle: eigene Darstellung)

Modellannahme für „2050 – BAU“:

Durch die in Tabelle 63 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage nach Biomasse zur stofflichen Nutzung von etwa 1,26 Mrd. t TM im Jahr 2011 auf etwa **2,37 Mrd. t TM** im Jahr 2050.

Modellannahme für „2050 – Bio-based“:

Durch die in Tabelle 63 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage nach Biomasse zur stofflichen Nutzung von etwa 1,26 Mrd. t TM im Jahr 2011 auf etwa **3,96 Mrd. t TM** im Jahr 2050.

Modellannahme für „2050 - Bio-based Hoch“:

Durch die in Tabelle 63 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage nach Biomasse zur stofflichen Nutzung von etwa 1,26 Mrd. t TM im Jahr 2011 auf etwa **5,66 Mrd. t TM** im Jahr 2050.

6.2.1.6 Bioenergie

Die IEA 2012 gibt an, dass die Nachfrage nach Biomasse für Strom und Wärme bis zum Jahr 2050 von 52 EJ auf 100 EJ Primärenergie steigen wird. Dies würde etwa 5-7 Mrd. t TM entsprechen (IEA 2012, S. 35). Diese Steigerung entspricht einem CAGR von etwa 1,7 %.

Die IEA gibt jedoch nicht explizit an, welche Biomassequellen 2050 genutzt würden um dieses Ziel zu erreichen. Wir treffen daher Annahmen zu den jährlichen Wachstumsraten für jede der in aufgeführten Biomassearten. Wir nehmen weiterhin an, dass der Anteil des für Bioenergie genutzten Aufkommens an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung von 10 % auf 15 % steigen wird. Wir berücksichtigen wiederum nur die Biomasse die wir auch auf der Angebotsseite erfassen. Hierdurch steigt die Nachfrage nach Biomasse für Strom und Wärme von 1,98 Mrd. t TM im Jahr 2011 auf 4,26 Mrd. t TM im Jahr 2050 (Tabelle 64).

Tabelle 64: Weltweite Nutzung von Biomasse für Strom und Wärme 2050 (Szenario BAU) (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Jährliche Wachstumsrate 2011-2050 (%) | Biomasse für Strom und Wärme (Mrd. t TM) | Primärenergie (EJ) | Anteil an der Primärenergie für Strom und Wärme (%) |
|---|---------------------------------------|--|--------------------|---|
| Feuerholz (erfasst) | 0,50 | 1,194 | 23,88 | 23,9 |
| Feuerholz (informell/illegal) | 0,50 | 0,358 | 7,17 | 7,2 |
| Holzkohle | 0,50 | 0,222 | 4,45 | 4,4 |
| Holzpellets | 3,50 | 0,049 | 0,98 | 1,0 |
| Andere energetische Holznutzung | 3,50 | 0,537 | 10,74 | 10,7 |
| Schwarzlauge | 2,00 | 0,368 | 5,89 | 5,9 |
| Altholz | 1,50 | 0,268 | 5,36 | 5,4 |
| Tierische Nebenprodukte | 1,50 | 0,268 | 4,29 | 4,3 |
| Erntenebenprodukte | 3,50 | 1,081 | 18,38 | 18,4 |
| Geerntete Agrarbiomasse | 3,50 | 0,809 | 13,76 | 13,7 |
| Siedlungsabfälle und Deponiegas | 1,50 | 0,268 | 4,02 | 4,0 |
| Lebensmittelverluste und -verschwendung | | | | |
| Kohlenhydrate | 0,63 | 0,054 | 0,90 | 0,9 |
| Fett | 0,63 | 0,006 | 0,21 | 0,2 |
| Protein | 0,63 | 0,006 | 0,10 | 0,1 |
| Gesamt | - | 5,489 | 100,1 | 100,0 |
| Davon: Auf der Angebotsseite berücksichtigte Biomasse (Erläuterung siehe Text) | | 4,261 | 78,1 | 78,0 |

Der einzige Unterschied in den Szenarien 2050 – Bio-based und Bio-based Hoch im Vergleich zum Szenario 2050 – BAU besteht darin, dass wir annehmen, dass die zusätzliche Menge an Schwarzlauge im Vergleich zu 2011 nicht energetisch sondern stofflich genutzt wird.

Wir nehmen an, dass als Kompensation zur Erreichung der 100 EJ Primärenergie etwas mehr geerntete Agrarbiomasse für Strom und Wärme genutzt wird (entsprechend einer jährlichen Wachstumsrate von 4,0 % statt 3,5 %, s.

Tabelle 65). Aufgrund der etwas höheren Energiedichte der geernteten Agrarbiomasse gegenüber Schwarzlauge würde der gesamte Biomassebedarf zur Erreichung der 100 EJ Primärenergie allerdings durch diesen Effekt sogar etwas sinken.

Tabelle 65: Weltweite Nutzung von Biomasse für Strom und Wärme 2050 (Szenarien Bio-based und Bio-based Hoch) (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Jährliche Wachstumsrate 2011-2050 (%) | Biomasse für Strom und Wärme (Mrd. t TM) | Primärenergie (EJ) | Anteil an der Primärenergie für Strom und Wärme (%) |
|---|---------------------------------------|--|--------------------|---|
| Feuerholz (erfasst) | 0,50 | 1,194 | 23,88 | 23,9 |
| Feuerholz (informell/illegal) | 0,50 | 0,358 | 7,17 | 7,2 |
| Holzkohle | 0,50 | 0,222 | 4,45 | 4,5 |
| Holzpellets | 3,50 | 0,049 | 0,98 | 1,0 |
| Andere energetische Holznutzung | 3,50 | 0,537 | 10,74 | 10,8 |
| Schwarzlauge | 0,00 | 0,170 | 2,72 | 2,7 |
| Altholz | 1,50 | 0,268 | 5,36 | 5,4 |
| Tierische Nebenprodukte | 1,50 | 0,268 | 4,29 | 4,3 |
| Erntenebenprodukte | 3,50 | 1,056 | 17,95 | 18,0 |
| Geerntete Agrarbiomasse | 4,00 | 1,007 | 17,13 | 17,1 |
| Siedlungsabfälle und Deponiegas | 1,50 | 0,268 | 4,02 | 4,0 |
| Lebensmittelverluste und -verschwendung | | | | |
| Kohlenhydrate | 0,63 | 0,054 | 0,90 | 0,9 |
| Fett | 0,63 | 0,006 | 0,21 | 0,2 |
| Protein | 0,63 | 0,006 | 0,10 | 0,1 |
| Gesamt | - | 5,463 | 99,9 | 100,0 |
| Davon: Auf der Angebotsseite berücksichtigte Biomasse (Erläuterung siehe Text) | | 4,236 | 77,8 | 77,9 |

Modellannahme für „2050 – BAU“:

Durch die in Tabelle 64 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage nach Biomasse für Bioenergie die wir angebotsseitig berücksichtigen von etwa 1,98 Mrd. t TM im Jahr 2011 auf etwa **4,26 Mrd. t TM** im Jahr 2050.

Modellannahme für 2050 – „Bio-based und Bio-based Hoch“:

Durch die in Tabelle 65 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage nach Biomasse für Bioenergie die wir angebotsseitig berücksichtigen von etwa 1,98 Mrd. t TM im Jahr 2011 auf etwa **4,24 Mrd. t TM** im Jahr 2050.

6.2.1.7 Zusammenfassung Nachfrage Welt

Die folgende Tabelle 66 fasst die Annahmen bezüglich der Entwicklung der weltweiten Nachfrage nach Biomasse für Lebensmittel, Futtermittel, stoffliche Nutzung sowie für Bioenergie für Strom und Wärme zusammen (vgl. Abbildung 66 am Anfang von Abschnitt 6.2.1).

Tabelle 66: Zusammenfassung der Basisdaten und Annahmen zur weltweiten Biomassenachfrage (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Einheit | 2011 | 2050 – BAU | 2050 – Bio- based | 2050 – Bio- based Hoch |
|--|---------|------|---------------|----------------------|---------------------------|
| Lebens- und Futtermittel: | | | | | |
| Wachstum der Weltbevölkerung | % p.a.* | - | +0,8 % | +0,8 % | +0,8 % |
| Lebensmittelverluste und - verschwendung | % | 30 % | 20 % | 20 % | 20 % |
| Steigerung der Futtereffizienz | % p.a.* | - | +0,6 % | +0,6 % | +0,6 % |
| Nutzung der Lebensmittelverluste als Futtermittel | % | 10 % | 15 % | 15 % | 15 % |
| Bioenergie für Strom und Wärme: | | | | | |
| Feuerholz und Holzkohle | % p.a.* | - | +0,5 % | +0,5 % | +0,5 % |
| Schwarzlaube | % p.a.* | - | +2,0 % | +0,0 % | +0,0 % |
| Holzpellets und andere energetische Holznutzung | % p.a.* | - | +3,5 % | +3,5 % | +3,5 % |
| Geerntete Agrarbiomasse | % p.a.* | - | +3,5 % | 4,0 % | 4,0 % |
| Erntenebenprodukte | % p.a.* | - | +3,5 % | +3,5 % | +3,5 % |
| Nutzung der Lebensmittelverluste für Bioenergie | % | 10 % | 15 % | 15 % | 15 % |
| Stoffliche Nutzung: | | | | | |
| Chemie und Kunststoffe | | | | | |
| Gesamte Rohstoffnachfrage | % p.a.* | - | +3,5 % | +3,5 % | +3,5 % |
| Anteil nachwachsender Rohstoffe | % | 10 % | 20 % | 40 % | 95 % |
| Bau und Möbel (Holz und Bambus) | % p.a.* | - | +2,0 % | +3,5 % | +4,0 % |
| Papier und Zellstoff | % p.a.* | - | +0,0 % | +0,0 % | +0,0 % |
| Textilien | | | | | |
| Nachfrage des Gesamtmarktes | % p.a.* | - | +3,0 % | +3,0 % | +3,0 % |
| Nachfrage nach Fasertypen: | | | | | |
| Wolle | % p.a.* | - | +0,0 % | +0,0 % | +0,0 % |
| Baumwolle | % p.a.* | - | +0,4 % | +0,6 % | +0,6 % |
| Andere Naturfasern außer Wolle und Baumwolle | % p.a.* | - | +1,8 % | +3,6 % | +3,6 % |
| Cellulosefasern | % p.a.* | - | +5,2 % | +7,5 % | +7,5 % |
| Bio-basierte Polymere | % p.a.* | - | +13,7 % | +15,7 % | +15,7 % |

* Jährliche Wachstumsrate (Compounded Annual Growth Rate, CAGR)

6.2.2 EU-27

Abbildung 83 und Abbildung 84 zeigen zunächst eine Gesamtübersicht der Biomassenachfrage der EU-27 nach Sektoren sowie nach Rohstoffen für das Jahr 2011 und die drei Szenarien.

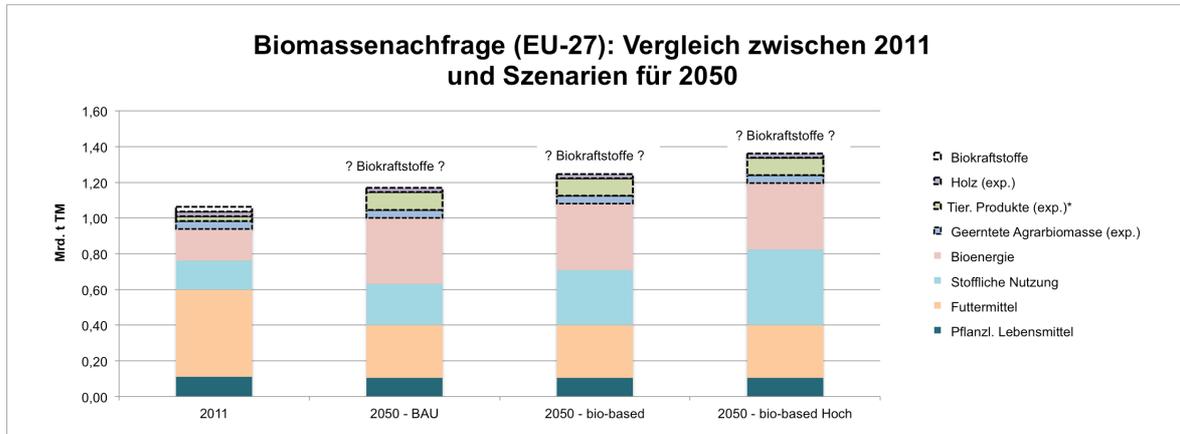


Abbildung 83: Biomassenachfrage der EU-27 2011 und in den Szenarien für 2050 (nach Sektoren) (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen), *in Futtermitteläquivalenten

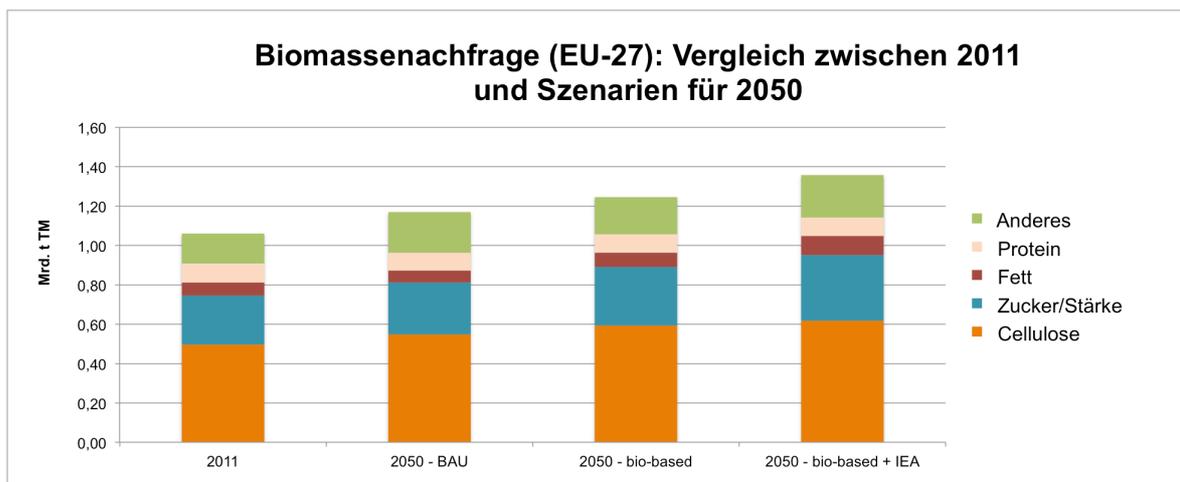


Abbildung 84: Biomassenachfrage der EU-27 2011 und in den Szenarien für 2050 (nach Rohstoffen) (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen), *in Futtermitteläquivalenten

6.2.2.1 Lebensmittel/pflanzliche Agrarprodukte

Inländische Nachfrage

Wir nehmen eine Bevölkerung in der EU-27 Jahr 2050 von knapp 512 Mio. Menschen an gemäß der mittleren Prognose der UN an. Dies entspricht einem jährlichen Wachstum von 0,02 %, ausgehend von einer Bevölkerung von 507 Mio. Menschen im Jahr 2011.

Wir nehmen an, dass die Pro-Kopf-Nachfrage nach Lebensmitteln in der EU-27 im Gegensatz zu den weltweiten Szenarien aufgrund des bereits hohen Niveaus konstant bleiben wird.

Bezüglich der Nahrungsmittelverluste und -verschwendung nehmen wir an, dass dieser Anteil von 18 % auf 9 % entlang der gesamten Wertschöpfungskette halbiert werden könnte. Dadurch würde der Bedarf auf Ebene der von der FAO statistisch erfassten Produktion von 3.549 kcal/Kopf*Tag (s. Abbildung 48) auf 3.302 kcal/Kopf*Tag sinken um dasselbe Konsumniveau zu gewährleisten (s. Abbildung 85).

Schließlich treffen wir dieselben Annahmen bezüglich der Verteilung pflanzlicher und tierischer Nährstoffe wie für 2011 und tragen die resultierenden Mengen an pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln auf der Nachfrageseite als Bedarf an Biomasse für die menschliche Ernährung im Jahr 2050 ein.

Durch diese Effekte sinkt die inländische Nachfrage pflanzlichen Lebensmitteln von 111 Mio. t TM auf 104 Mio. t TM und die nach tierischen Lebensmitteln von 33 Mio. t auf 31 Mio. t TM. Der Effekt durch die Reduzierung von Verlusten und Verschwendung kompensiert demnach den nachfrageerhöhenden Effekt durch das leichte Bevölkerungswachstum.

Modellannahme für 2050 – alle Szenarien:

Die Nachfrage der Bevölkerung der EU-27 liegt im Jahr 2050 bei **104 Mio. t TM** an pflanzlichen Lebensmitteln und **31 Mio. t TM** an tierischen Lebensmitteln.

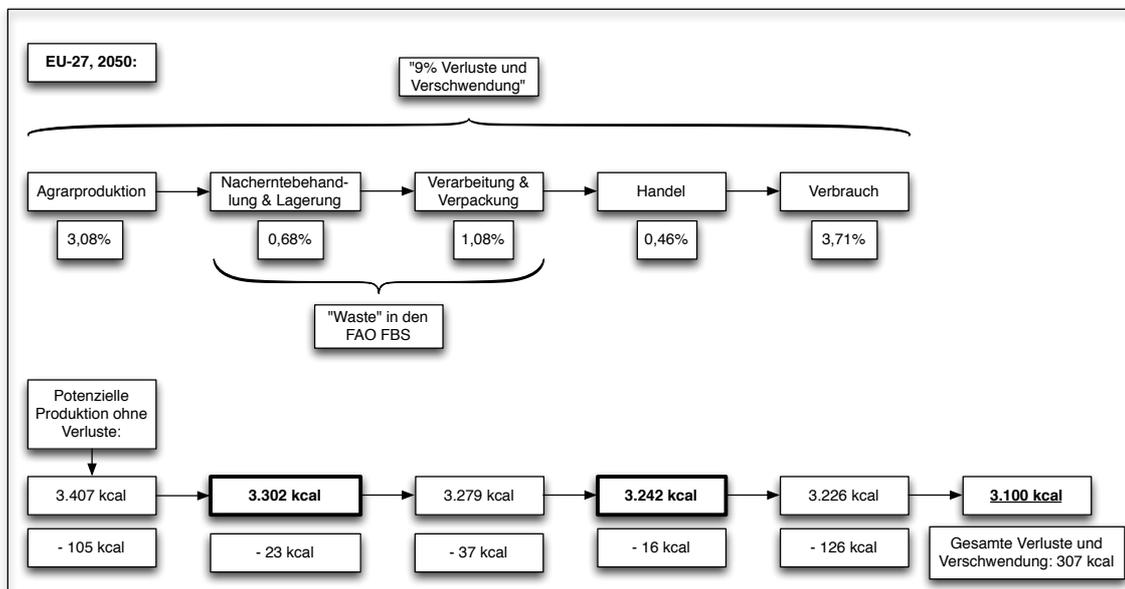


Abbildung 85: Nahrungsmittelverluste und -verschwendung entlang der Wertschöpfungskette in der EU-27 im Jahr 2050 (Quelle: eigene Darstellung)

Exportnachfrage

In erster Näherung nehmen wir an, dass die EU-27 anstreben wird, ihre Exporte pflanzlicher Agrarprodukte konstant zu halten. Diese lagen im Jahr 2011 bei 44 Mio. t TM (vgl. Abschnitt 5.2.2.1).

Modellannahme für 2050 – alle Szenarien:

Der Export pflanzlicher Agrarrohstoffe- und -produkte der EU-27 liegt im Jahr 2050 konstant auf dem Niveau von 2011 (**44 Mio. t TM**).

6.2.2.2 Futtermittel: Inländische Nachfrage und Exportnachfrage

Für das Jahr 2011 hatten wir als Futterbedarf des Nutztierbestandes der EU-27 rund 500 Mio. t TM angenommen (vgl. Abschnitt 5.2.2.2).

Da wir weiterhin annehmen, dass im Jahr 2050 sämtliche Nachfrage aus dem Inland gedeckt werden müsste (d. h. keine Importe), müsste der Futterbedarf zur Erzeugung tierischer Nahrungsmittel auch vollständig mit der (höheren) inländischen Futtereffizienz ausgerechnet werden. Da wir annehmen, dass diese Futtereffizienz ausgehend von einem Wert von 8,34 % im Jahr 2011 bis 2050 jährlich um 0,6 % steigt, würde sie im Jahr 2050 bei 10,55 % liegen.

Wir nehmen an, dass die Struktur der tierischen Produktion in der EU-27 unabhängig von der Entwicklung des inländischen Konsums in Zukunft relativ unverändert bestehen bleiben wird. Hintergrund dieser Annahme ist, dass sich die Industrie bereits heute aufgrund stagnierenden Verbrauchs in der EU-27 stärker auf Exporte hin orientiert. Daher würde der Futterbedarf des inländischen Tierbestandes nur durch die beschriebenen Effizienzsteigerungen von 500 Mio. t TM auf 395 Mio. t TM sinken.

Die inländische Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln im Jahr 2050 von rund 31 Mio. t TM (s. Abschnitt 6.2.2.1) würde bei Annahme der gleichen Umrechnung mit einer Effizienz von 10,55 % einem Futterbedarf von 296 Mio. t TM entsprechen.

Außerdem nehmen wir an, dass der Anteil des Aufkommens an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung (s. Abbildung 85) der als Futtermittel genutzt wird von 10 % auf 15 % steigt. Wie im Jahr 2011 reduziert dies die Nachfrage nach Biomasse für Futtermittel entsprechend und die als Futtermittel genutzte Menge an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung wird in erster Näherung zu gleichen Teilen auf den Futterbedarf für den inländischen Konsum und den Export tierischer Produkte angerechnet. Da der Anteil der Nahrungsmittelverluste sich jedoch gleichzeitig halbiert, hat dies nur geringe Auswirkungen auf den Futtermittelbedarf.

Die Differenz zwischen dem Bedarf zur Deckung der inländischen Nachfrage und dem gesamten Futterbedarf der inländischen Tierproduktion würde dementsprechend für den Exportmarkt genutzt werden (circa 99 Mio. t TM).

Modellannahme für 2050 – alle Szenarien:

Der Futtermittelbedarf zur Deckung der Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln in der EU-27 beträgt im Jahr 2050 etwa **296 Mio. t TM**. Hinzu kommt ein Futtermittelbedarf zur Deckung der Exportnachfrage von **99 Mio. t TM**.

6.2.2.3 Stoffliche Nutzung

Tabelle 67 zeigt eine Übersicht der Annahmen zur Entwicklung der Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in den Szenarien für das Jahr 2050. Wir nehmen an, dass die jährlichen Wachstumsraten in allen stofflichen Sektoren etwa halb so hoch ausfallen werden wie im weltweiten Durchschnitt.

Tabelle 67: Annahmen zur Entwicklung der Nachfrage der produzierenden Industrie zur Deckung der Binnen- und Exportnachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in den Szenarien für 2050 (EU-27) (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Einheit | 2011 | 2050 – BAU | 2050 – Bio-based | 2050 – Bio-based Hoch |
|--|---------|------|------------|------------------|-----------------------|
| Chemie und Kunststoffe | | | | | |
| Gesamte Rohstoffnachfrage | % p.a.* | - | 1,75 % | 1,75 % | 1,75 % |
| Anteil nachwachsender Rohstoffe | % | 10 % | 20 % | 40 % | 95 % |
| Bau und Möbel (Holz und Bambus) | | | | | |
| | | | +1,0 % | 1,75 % | 2,0 % |
| Papier und Zellstoff | | | | | |
| | | | +0,0 % | +0,0 % | +0,0 % |
| Textilien | | | | | |
| Nachfrage des Gesamtmarktes | % p.a.* | - | +1,5 % | +1,5 % | +1,5 % |
| Nachfrage nach Fasertypen: | | | | | |
| Wolle | % p.a.* | - | +0,0 % | +0,0 % | +0,0 % |
| Baumwolle | % p.a.* | - | +0,2 % | +0,3 % | +0,3 % |
| Andere Naturfasern außer Wolle und Baumwolle | % p.a.* | - | +0,9 % | +1,8 % | +1,8 % |
| Cellulosefasern | % p.a.* | | +2,6 % | +3,8 % | +3,8 % |
| Bio-basierte Polymere | % p.a.* | - | +6,9 % | +7,9 % | +7,9 % |

* Jährliche Wachstumsrate

Die folgende Abbildung 86 zeigt die absolute Entwicklung der Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in den drei Szenarien „2050 – BAU“, „2050 – Bio-based“ und „2050 – Bio-based Hoch“. Zu beachten ist, dass diese Nachfrage stets die Inlands- sowie die Exportnachfrage beinhaltet. Bezüglich der Exportquoten treffen wie die gleichen Annahmen wie für die Basisdaten 2011.

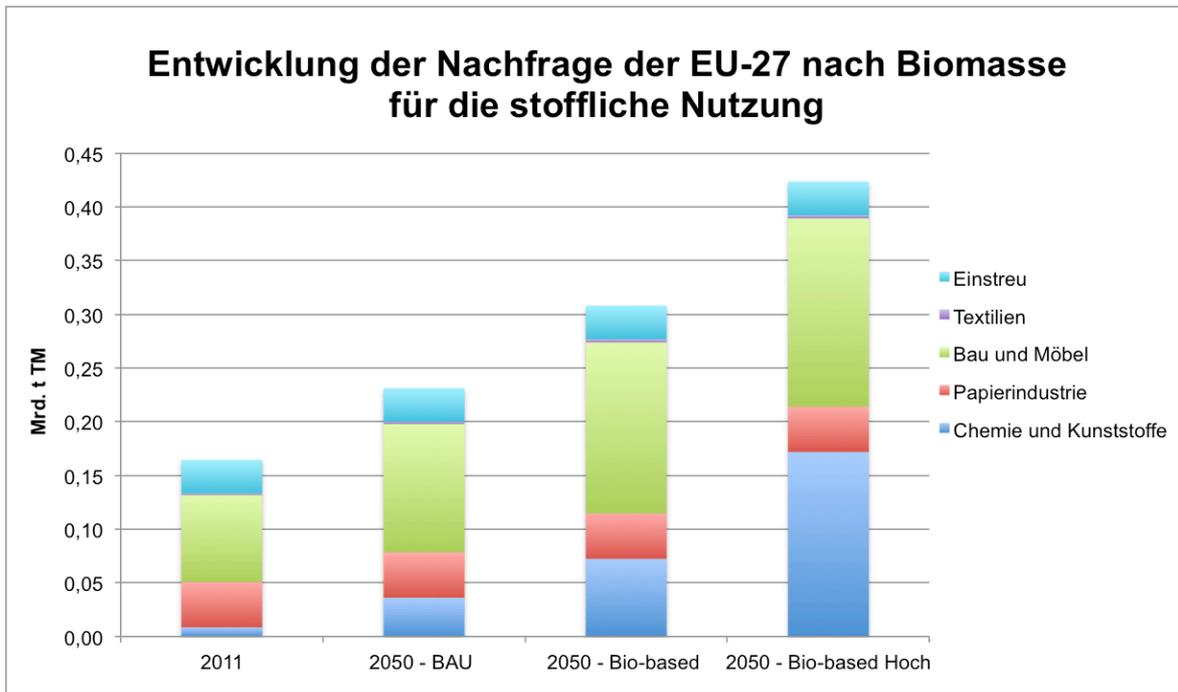


Abbildung 86: Entwicklung der Nachfrage der EU-27 nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in den Szenarien für 2050 (Quelle: eigene Darstellung)

Modellannahme für „2050 – BAU“:

Durch die in Tabelle 67 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage der produzierenden Industrie nach Biomasse zur stofflichen Nutzung von etwa 164 Mio. t TM im Jahr 2011 auf etwa **231 Mio. t TM** im Jahr 2050.

Modellannahme für „2050 – Bio-based“:

Durch die in Tabelle 67 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage der produzierenden Industrie nach Biomasse zur stofflichen Nutzung von etwa 164 Mio. t TM. im Jahr 2011 auf etwa **308 Mio. t TM** im Jahr 2050.

Modellannahme für 2050 – „Bio-based Hoch“:

Durch die in Tabelle 67 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage der produzierenden Industrie nach Biomasse zur stofflichen Nutzung von etwa 164 Mio. t TM im Jahr 2011 auf etwa **423 Mio. t TM** im Jahr 2050.

6.2.2.4 Bioenergie

Bentsen und Felby 2012 geben auf Basis einer Auswertung der Nationalen Aktionspläne für erneuerbare Energie der Mitgliedstaaten an, dass der Biomassebedarf der EU-27 für Bioenergie bis 2020 auf etwa 10 EJ steigen wird. Hiervon würden rund 8,2 EJ für Strom und Wärme verwendet und 1,8 EJ für Biokraftstoffe. Wir nehmen an, dass der Bedarf über

2020 hinaus nicht mehr stark steigen wird, auch aufgrund von Effizienzsteigerungen. Wir nehmen daher die 8,2 EJ auch als den Primärenergiebedarf für das Jahr 2050 an.

Wir nehmen an, dass der Anteil des für Bioenergie genutzten Aufkommens an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung von 10 % auf 15 % steigen wird.

Zur Erreichung des Zieles von 8,2 EJ nehmen wir jährliche Wachstumsraten an der jeweiligen Rohstoffe an, die unter denen für die weltweite Analyse liegen.

Wir berücksichtigen wiederum nur die Biomasse die wir auch auf der Angebotsseite erfassen. Hierdurch steigt die Nachfrage nach Biomasse für Strom und Wärme von 175,4 Mio. t TM im Jahr 2011 auf 375,1 Mio. t TM im Jahr 2050 (Tabelle 68).

Tabelle 68: Nutzung von Biomasse für Strom und Wärme in der EU-27 im Jahr 2050 (Szenario BAU) (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Jährliche Wachstumsrate 2011-2050 (%) | Biomasse für Strom und Wärme (Mrd. t TM) | Primärenergie (EJ) | Anteil an der Primärenergie für Strom und Wärme (%) |
|---|---------------------------------------|--|--------------------|---|
| Feuerholz | 0,25 | 60,3 | 1,207 | 14,7 |
| Holzkohle | 0,25 | 9,6 | 0,192 | 2,3 |
| Holzpellets | 2,00 | 16,7 | 0,334 | 4,1 |
| Andere energetische Holznutzung | 2,00 | 18,5 | 0,370 | 4,5 |
| Schwarzlauge | 1,25 | 59,4 | 0,950 | 11,6 |
| Altholz | 1,00 | 29,5 | 0,590 | 7,2 |
| Tierische Nebenprodukte | 1,00 | 29,5 | 0,472 | 5,7 |
| Geerntete Agrarbiomasse | 3,25 | 93,6 | 1,592 | 19,4 |
| Erntenebenprodukte | 3,25 | 112,3 | 1,909 | 23,3 |
| Siedlungsabfälle und Deponiegas | 1,25 | 38,1 | 0,571 | 7,0 |
| Lebensmittelverluste und -verschwendung | | | | |
| Kohlenhydrate | -0,98 | 1,0 | 0,017 | 0,2 |
| Fett | -0,98 | 0,2 | 0,007 | 0,1 |
| Protein | -0,98 | 0,1 | 0,002 | 0,0 |
| Gesamt | - | 468,8 | 8,21 | 100,0 |
| Davon: Auf der Angebotsseite berücksichtigte Biomasse (Erläuterung siehe Text) | - | 370,4 | 6,55 | 79,8 |

Der einzige Unterschied in den Szenarien 2050 – Bio-based und Bio-based Hoch im Vergleich zum Szenario 2050 – BAU besteht darin, dass wir annehmen, dass die zusätzliche Menge an Schwarzlauge im Vergleich zu 2011 nicht energetisch sondern stofflich genutzt wird.

Wir nehmen an, dass als Kompensation zur Erreichung der 8,2 EJ Primärenergie etwas mehr geerntete Agrarbiomasse für Strom und Wärme genutzt wird (entsprechend einer jährlichen Wachstumsrate von 3,75 % statt 3,25 %, s. Tabelle 69).

Tabelle 69: Nutzung von Biomasse für Strom und Wärme in der EU-27 im Jahr 2050 (Szenarien Bio-based und Bio-based Hoch) (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Jährliche Wachstumsrate 2011-2050 (%) | Biomasse für Strom und Wärme (Mrd. t TM) | Primärenergie (EJ) | Anteil an der Primärenergie für Strom und Wärme (%) |
|---|---------------------------------------|--|--------------------|---|
| Feuerholz | 0,25 | 60,3 | 1,207 | 14,8 |
| Holzkohle | 0,25 | 9,6 | 0,192 | 2,3 |
| Holzpellets | 2,00 | 16,7 | 0,334 | 4,1 |
| Andere energetische Holznutzung | 2,00 | 18,5 | 0,370 | 4,5 |
| Schwarzlauge | 0,00 | 36,6 | 0,585 | 7,2 |
| Altholz | 1,00 | 29,5 | 0,590 | 7,2 |
| Tierische Nebenprodukte | 1,00 | 29,5 | 0,472 | 5,8 |
| Geerntete Agrarbiomasse | 3,25 | 93,6 | 1,592 | 23,5 |
| Erntenebenprodukte | 3,25 | 112,3 | 1,909 | 23,4 |
| Siedlungsabfälle und Deponiegas | 1,25 | 38,1 | 0,571 | 7,0 |
| Lebensmittelverluste und -verschwendung | | | | |
| Kohlenhydrate | -0,98 | 1,0 | 0,017 | 0,2 |
| Fett | -0,98 | 0,2 | 0,007 | 0,1 |
| Protein | -0,98 | 0,1 | 0,002 | 0,0 |
| Gesamt | - | 465,4 | 8,18 | 100,0 |
| Davon: Auf der Angebotsseite berücksichtigte Biomasse (Erläuterung siehe Text) | - | 367,1 | 6,52 | 79,8 |

Modellannahme für „2050 – BAU“:

Durch die in Tabelle 69 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage nach Biomasse für Bioenergie die wir angebotsseitig berücksichtigen von etwa 177 Mio. t TM im Jahr 2011 auf etwa **370 Mio. t TM** im Jahr 2050.

Modellannahme für „2050 – Bio-based und Bio-based Hoch“:

Durch die in Tabelle 69 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage nach Biomasse für Bioenergie die wir angebotsseitig berücksichtigen von etwa 177 Mio. t TM im Jahr 2011 auf etwa **367 Mio. t TM** im Jahr 2050.

6.2.2.5 Zusammenfassung Nachfrage EU-27

Die folgende Tabelle 70 fasst die Annahmen bezüglich der Entwicklung der Nachfrage der EU-27 nach Biomasse für Lebensmittel, Futtermittel, stoffliche Nutzung sowie für Bioenergie für Strom und Wärme zusammen (vgl. Abbildung 83 am Anfang von Abschnitt 6.2.3).

Tabelle 70: Zusammenfassung der Basisdaten und Annahmen zur Biomassenachfrage der EU-27 (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Einheit | 2011 | 2050 – BAU | 2050 – Bio- based | 2050 – Bio- based Hoch |
|--|---------|------|---------------|----------------------|---------------------------|
| Lebens- und Futtermittel: | | | | | |
| Bevölkerungsentwicklung | % p.a.* | - | +0,02 % | +0,02 % | +0,02 % |
| Lebensmittelverluste und - verschwendung | % | 18 % | 9 % | 9 % | 9 % |
| Steigerung der Futtereffizienz | % p.a.* | - | +0,6 %** | +0,6 %** | +0,6 %** |
| Nutzung der Lebensmittelverluste als Futtermittel | % | 10 % | 15 % | 15 % | 15 % |
| Bioenergie für Strom und Wärme: | | | | | |
| Feuerholz und Holzkohle | % p.a.* | - | +0,25 % | +0,25 % | +0,25 % |
| Schwarzlaube | % p.a.* | - | +1,25 % | +0,0 % | +0,0 % |
| Holzpellets und andere energetische Holznutzung | % p.a.* | - | 2,0 % | 2,0 % | 2,0 % |
| Geerntete Agrarbiomasse | % p.a.* | - | 3,25 % | +3,75 % | +3,75 % |
| Erntenebenprodukte | % p.a.* | - | | | |
| Nutzung der Lebensmittelverluste für Bioenergie | % | 10 % | 15 % | 15 % | 15 % |
| Stoffliche Nutzung: | | | | | |
| Chemie und Kunststoffe | | | | | |
| Gesamte Rohstoffnachfrage | % p.a.* | - | 1,75 % | 1,75 % | 1,75 % |
| Anteil nachwachsender Rohstoffe | % | 10 % | 20 % | 40 % | 95 % |
| Bau und Möbel (Holz und Bambus) | % p.a.* | - | +1,0 % | 1,75 % | 2,0 % |
| Papier und Zellstoff | % p.a.* | - | +0,0 % | +0,0 % | +0,0 % |
| Textilien | | | | | |
| Nachfrage des Gesamtmarktes | % p.a.* | - | 1,5 % | 1,5 % | 1,5 % |
| Nachfrage nach Fasertypen: | | | | | |
| Wolle | % p.a.* | - | +0,0 % | +0,0 % | +0,0 % |
| Baumwolle | % p.a.* | - | 0,2 % | 0,3 % | 0,3 % |
| Andere Naturfasern außer Wolle und Baumwolle | % p.a.* | - | 0,9 % | 1,8 % | 1,8 % |
| Cellulosefasern | % p.a.* | - | 2,6 % | 3,75 % | 3,75 % |
| Bio-basierte Polymere | % p.a.* | - | +6,9 % | +7,9 % | +7,9 % |

* Jährliche Wachstumsrate, ** entsprechend der Annahme in den weltweiten Szenarien

6.2.3 Deutschland

Abbildung 87 und Abbildung 88 zeigen zunächst eine Gesamtübersicht der Biomassenachfrage Deutschlands nach Sektoren sowie nach Rohstoffen für das Jahr 2011 und die drei Szenarien.

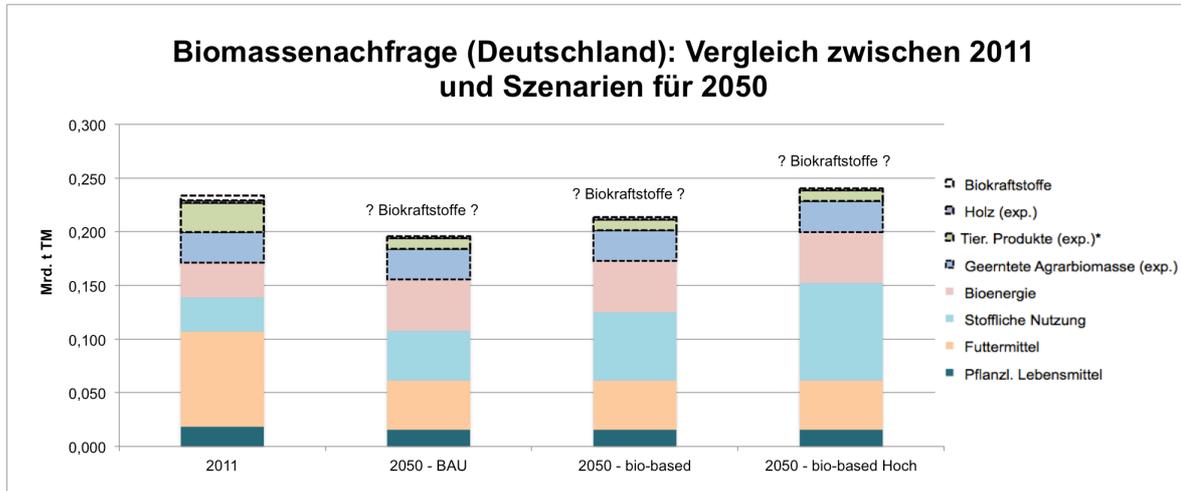


Abbildung 87: Biomassenachfrage Deutschland 2011 und in den Szenarien für 2050 (nach Sektoren) (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen), *in Futtermitteläquivalenten

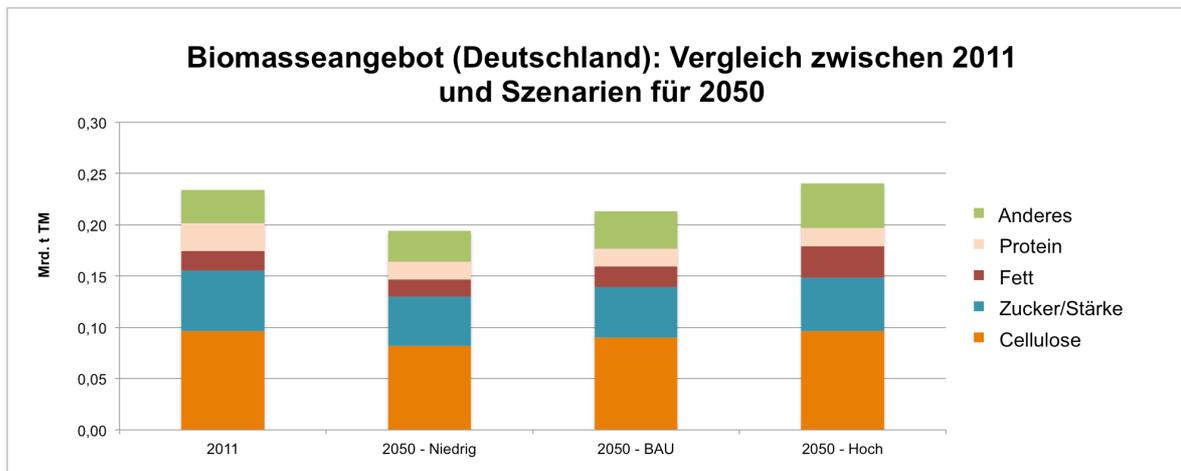


Abbildung 88: Biomassenachfrage Deutschland 2011 und in den Szenarien für 2050 (nach Rohstoffen) (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen), *in Futtermitteläquivalenten

6.2.3.1 Lebensmittel/pflanzliche Agrarprodukte

Inländische Nachfrage

Wir nehmen eine Bevölkerung in Deutschland im Jahr 2050 von etwa 73 Mio. Menschen an gemäß der mittleren Prognose der UN an. Dies entspricht einem jährlichen

Bevölkerungsrückgang von 0,34 %, ausgehend von einer Bevölkerung von 83 Mio. Menschen im Jahr 2011.

Wir nehmen weiterhin an, dass die Pro-Kopf-Nachfrage nach Lebensmitteln in Deutschland im Gegensatz zu den weltweiten Szenarien aufgrund des bereits hohen Niveaus konstant bleiben wird.

Bezüglich der Nahrungsmittelverluste und -verschwendung nehmen wir an, dass dieser Anteil von 13 % auf 7 % entlang der gesamten Wertschöpfungskette halbiert werden könnte. Wie sich im Jahr 2050 diese Verluste auf die gesamte Wertschöpfungskette verteilen könnten zeigt Abbildung 89. Dadurch würde der Bedarf auf Ebene der von der FAO statistisch erfassten Produktion von 3.642 kcal/Kopf*Tag (s. Abbildung 52) auf 3.463 kcal/Kopf*Tag sinken um dasselbe Konsumniveau zu gewährleisten (s. Abbildung 89).

Schließlich treffen wir dieselben Annahmen bezüglich der Verteilung pflanzlicher und tierischer Nährstoffe wie für 2011 und tragen die resultierenden Mengen an pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln auf der Nachfrageseite als Bedarf an Biomasse für die menschliche Ernährung im Jahr 2050 ein.

Durch diese Effekte sinkt die inländische Nachfrage nach pflanzlichen Lebensmitteln von 19 Mio. t TM auf 16 Mio. t TM und die nach tierischen Lebensmitteln von 5,8 Mio. t auf 4,8 Mio. t TM. Die Reduzierung von Verlusten und Verschwendung und der Bevölkerungsrückgang hatten damit zusammen einen starken nachfragereduzierenden Effekt.

Modellannahme für 2050 – alle Szenarien:

Die Nachfrage der Bevölkerung Deutschlands liegt im Jahr 2050 bei **16 Mio. t TM** an pflanzlichen Lebensmitteln und **4,8 Mio. t TM** an tierischen Lebensmitteln.

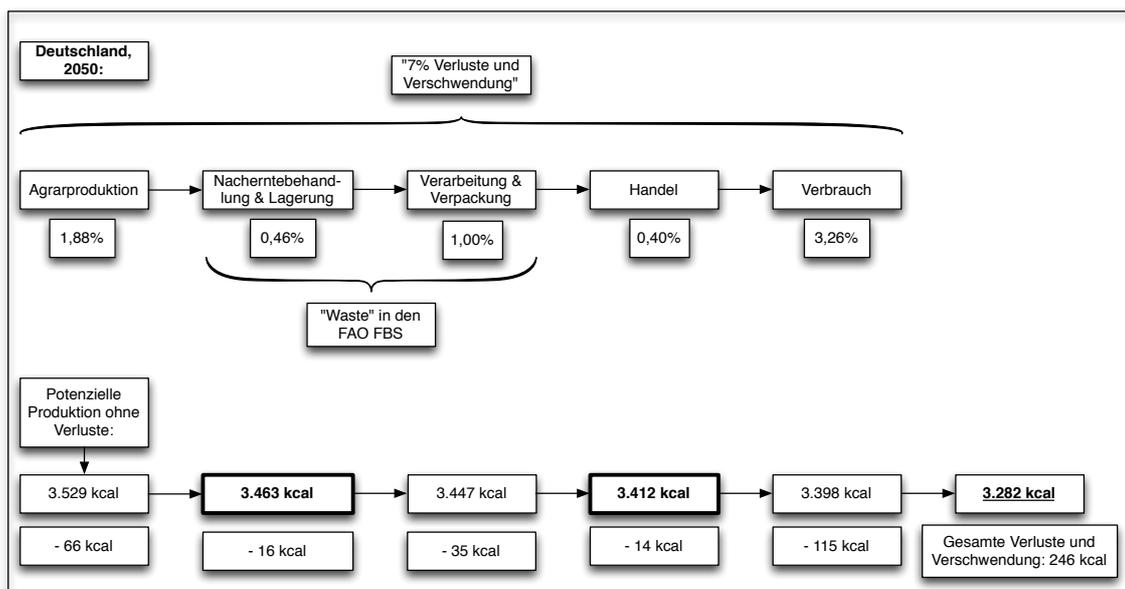


Abbildung 89: Nahrungsmittelverluste und -verschwendung entlang der Wertschöpfungskette in Deutschland im Jahr 2050 (Quelle: eigene Berechnungen)

Exportnachfrage

Bezüglich des Exports pflanzlicher Agrarrohstoffe und -produkte treffen wir die gleiche Annahme wie für die EU-27, d. h. eine Konstanz im Vergleich zu den Basisdaten für 2011 (vgl. Abschnitt 5.2.3.1).

Modellannahme für 2050 – alle Szenarien:

Wir nehmen an, dass der Export pflanzl. Agrarrohstoffe und -produkte Deutschlands im Jahr 2050 konstant auf dem Niveau von 2011 liegen wird (**28 Mio. t TM**)

6.2.3.2 Futtermittel: Inländische Nachfrage und Exportnachfrage

Für das Jahr 2011 hatten wir als Futterbedarf des Nutztierbestandes Deutschlands rund 70 Mio. t TM angenommen (vgl. Abschnitt 5.2.3.2).

Da wir weiterhin annehmen, dass im Jahr 2050 sämtliche Nachfrage aus dem Inland gedeckt werden müsste (d. h. keine Importe), müsste der Futterbedarf zur Erzeugung tierischer Nahrungsmittel auch vollständig mit der (höheren) inländischen Futtereffizienz ausgerechnet werden. Da wir annehmen, dass diese Futtereffizienz ausgehend von einem Wert von 8,34 % im Jahr 2011 bis 2050 jährlich um 0,6 % steigt, würde sie im Jahr 2050 bei 10,55 % liegen.

Wir nehmen an, dass die Struktur der tierischen Produktion in Deutschland unabhängig von der Entwicklung des inländischen Konsums in Zukunft relativ unverändert bestehen bleiben wird. Hintergrund dieser Annahme ist, dass sich die Industrie bereits heute aufgrund stagnierenden Verbrauchs Deutschlands stärker auf Exporte hin orientiert. Daher würde der Futterbedarf des inländischen Tierbestandes nur durch die beschriebenen Effizienzsteigerungen von 70 Mio. t TM auf 56 Mio. t TM sinken.

Die inländische Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln im Jahr 2050 von rund 4,8 Mio. t TM (s. Abschnitt 6.2.3.1) würde bei Annahme der gleichen Umrechnung mit einer Effizienz von 10,55 % einem Futterbedarf von 46 Mio. t TM entsprechen.

Außerdem nehmen wir an, dass der Anteil des Aufkommens an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung (s. Abbildung 85) der als Futtermittel genutzt wird von 10 % auf 15 % steigt. Wie im Jahr 2011 reduziert dies die Nachfrage nach Biomasse für Futtermittel entsprechend und die als Futtermittel genutzte Menge an Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung wird in erster Näherung zu gleichen Teilen auf den Futterbedarf für den inländischen Konsum und den Export tierischer Produkte angerechnet. Da der Anteil der Nahrungsmittelverluste sich jedoch gleichzeitig halbiert, hat dies nur geringe Auswirkungen auf den Futtermittelbedarf.

Die Differenz zwischen dem Bedarf zur Deckung der inländischen Nachfrage und dem gesamten Futterbedarf der inländischen Tierproduktion würde dementsprechend für den Exportmarkt genutzt werden (circa 10 Mio. t TM).

Modellannahme für 2050 – alle Szenarien :

Der Futtermittelbedarf zur Deckung der Nachfrage Deutschlands nach tierischen Lebensmitteln beträgt im Jahr 2050 etwa **46 Mio. t TM**. Hinzu kommt ein Futtermittelbedarf zur Deckung der Exportnachfrage von **10 Mio. t TM**.

6.2.3.3 Stoffliche Nutzung

Tabelle 71 zeigt eine Übersicht der Annahmen zur Entwicklung der Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in den Szenarien für das Jahr 2050. Wir nehmen an, dass die jährlichen Wachstumsraten in allen stofflichen Sektoren etwa halb so hoch ausfallen werden wie im weltweiten Durchschnitt.

Tabelle 71: Annahmen zur Entwicklung der Nachfrage der produzierenden Industrie zur Deckung der Binnen- und Exportnachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in den Szenarien für 2050 (Deutschland) (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Einheit | 2011 | 2050 – BAU | 2050 – Bio-based | 2050 – Bio- based Hoch |
|---|---------|------|---------------|---------------------|---------------------------|
| Chemie und Kunststoffe | | | | | |
| Gesamte Rohstoffnachfrage | % p.a.* | - | 1,75 % | 1,75 % | 1,75 % |
| Anteil nachwachsender Rohstoffe | % | 10 % | 20 % | 40 % | 95 % |
| Bau und Möbel (Holz und Bambus) | | | | | |
| | | | +1,0 % | 1,75 % | 2,0 % |
| Papier und Zellstoff | | | | | |
| | | | +0,0 % | +0,0 % | +0,0 % |
| Textilien | | | | | |
| Nachfrage des Gesamtmarktes | % p.a.* | - | +1,5 % | +1,5 % | +1,5 % |
| Nachfrage nach Fasertypen: | | | | | |
| Wolle | % p.a.* | - | +0,0 % | +0,0 % | +0,0 % |
| Baumwolle | % p.a.* | - | +0,2 % | +0,3 % | +0,3 % |
| Andere Naturfasern außer Wolle und Baumwolle | % p.a.* | - | +0,9 % | +1,8 % | +1,8 % |
| Cellulosefasern | % p.a.* | | +2,6 % | +3,8 % | +3,8 % |
| Bio-basierte Polymere | % p.a.* | - | +6,9 % | +7,9 % | +7,9 % |

* Jährliche Wachstumsrate

Die folgende Abbildung 90 zeigt die absolute Entwicklung der Nachfrage nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in den drei Szenarien „2050 – BAU“, „2050 – Bio-based“ und „2050 – Bio-based Hoch“. Zu beachten ist, dass diese Nachfrage stets die Inlands- sowie die Exportnachfrage beinhaltet. Bezüglich der Exportquoten treffen wie die gleichen Annahmen wie für die Basisdaten 2011.

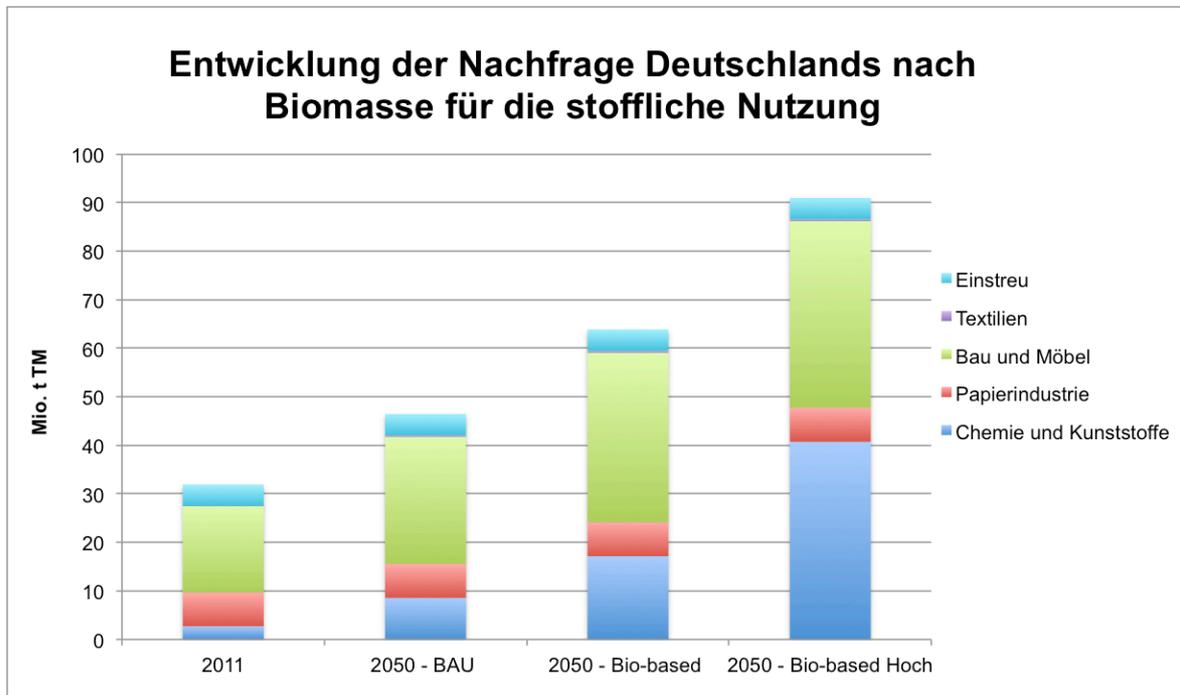


Abbildung 90: Entwicklung der Nachfrage Deutschlands nach Biomasse für die stoffliche Nutzung in den Szenarien für 2050 (Quelle: eigene Darstellung)

Modellannahme für „2050 – BAU“:

Durch die in Tabelle 71 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage der produzierenden Industrie nach Biomasse zur stofflichen Nutzung von etwa 32 Mio. t TM im Jahr 2011 auf etwa **46 Mio. t TM** im Jahr 2050.

Modellannahme für „2050 – Bio-based“:

Durch die in Tabelle 71 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage der produzierenden Industrie nach Biomasse zur stofflichen Nutzung von etwa 32 Mio. t TM im Jahr 2011 auf etwa **64 Mio. t TM** im Jahr 2050.

Modellannahme für „2050 – Bio-based Hoch“:

Durch die in Tabelle 71 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage der produzierenden Industrie nach Biomasse zur stofflichen Nutzung von etwa 32 Mio. t TM im Jahr 2011 auf etwa **91 Mio. t TM** im Jahr 2050.

6.2.3.4 Bioenergie

Schillings 2013 gibt für das Szenario „2050 A“ einen Primärenergiebedarf für Bioenergie von etwa 1,54 EJ im Jahr 2050 an. Nach Angaben von Schillings 2013 beschreibt dieses Szenario neben einem Ausbau der Elektromobilität auch einen verstärkten Einsatz von Wasserstoff im Verkehrssektor. Weitere Szenarien werden in Schillings 2013 nicht so

genau beschrieben wie dieses Szenario „2050 A“, daher legen wir dieses Szenario für die weitere Analyse zugrunde.

Durch eigene Umrechnungen (im Text ist jeweils nur der Beitrag von Strom, Wärme und Biokraftstoffen zur Endenergie von etwa 1,14 EJ genannt) ergibt sich, dass Strom und Wärme am Primärenergiebedarf von 1,54 EJ etwa einen Anteil von 1,28 EJ haben dürften und Biokraftstoffe einen Anteil von 0,26 EJ.

Wie für die EU-27 zeigt Tabelle 72, aus welchen Rohstoffen die Primärenergie von 1,28 EJ für Strom und Wärme in Deutschland im Jahr 2050 (BAU) bereitgestellt werden könnten.

Tabelle 72: Nutzung von Biomasse für Strom und Wärme in Deutschland im Jahr 2050 (Szenario BAU) (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Jährliche Wachstumsrate 2011-2050 (%) | Biomasse für Strom und Wärme (Mio. t TM) | Primärenergie (EJ) | Anteil an der Primärenergie für Strom und Wärme (%) |
|---|---------------------------------------|--|--------------------|---|
| Feuerholz | 0,50 % | 7,55 | 0,151 | 11,77 % |
| Holzkohle | 0,50 % | 0,07 | 0,001 | 0,11 % |
| Holzpellets | 1,00 % | 1,94 | 0,039 | 3,02 % |
| Andere energetische Holznutzung | 1,00 % | 3,51 | 0,070 | 5,47 % |
| Schwarzlauge | 1,00 % | 9,54 | 0,153 | 11,90 % |
| Altholz | 1,25 % | 9,74 | 0,195 | 15,19 % |
| Tierische Nebenprodukte | 1,00 % | 10,32 | 0,165 | 12,87 % |
| Geerntete Agrarbiomasse | 0,75 % | 15,87 | 0,270 | 21,04 % |
| Erntenebenprodukte | 0,75 % | 5,30 | 0,090 | 7,03 % |
| Siedlungsabfälle und Deponiegas | 1,25 % | 9,74 | 0,146 | 11,39 % |
| Lebensmittelverluste und -verschwendung | | | | |
| Kohlenhydrate | -1,33 % | 0,12 | 0,002 | 0,15 % |
| Fett | -1,00 % | 0,02 | 0,001 | 0,05 % |
| Protein | 0,99 % | 0,01 | 0,000 | 0,01 % |
| Gesamt | - | 73,73 | 1,28 | 100,00 % |
| Davon: Auf der Angebotsseite berücksichtigte Biomasse (Erläuterung siehe Text) | - | 43,79 | 0,77 | 60,34 % |

Ebenfalls wie für die EU-27 besteht der einzige Unterschied der Szenarien „2050 – Bio-based“ und „2050 – Bio-based Hoch“ im Vergleich zum Szenario „2050 – BAU“ darin, dass wir annehmen, dass die zusätzliche Menge an Schwarzlauge im Vergleich zu 2011 nicht energetisch sondern stofflich genutzt wird.

Wir nehmen wiederum an, dass als Kompensation zur Erreichung der 1,28 EJ Primärenergie etwas mehr geerntete Agrarbiomasse für Strom und Wärme genutzt wird (s. Tabelle 73).

Tabelle 73: Nutzung von Biomasse für Strom und Wärme in Deutschland 2050 (Szenarien Bio-based und Bio-based Hoch) (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Jährliche Wachstumsrate 2011-2050 (%) | Biomasse für Strom und Wärme (Mrd. t TM) | Primärenergie (EJ) | Anteil an der Primärenergie für Strom und Wärme (%) |
|---|---------------------------------------|--|--------------------|---|
| Feuerholz (erfasst) | 0,50 % | 7,55 | 0,151 | 11,75 % |
| Holzkohle | 0,50 % | 0,07 | 0,001 | 0,11 % |
| Holzpellets | 1,00 % | 1,94 | 0,039 | 3,02 % |
| Andere energetische Holznutzung | 1,00 % | 3,51 | 0,070 | 5,46 % |
| Schwarzlauge | 0,00 % | 6,47 | 0,104 | 8,06 % |
| Altholz | 1,25 % | 9,74 | 0,195 | 15,16 % |
| Tierische Nebenprodukte | 1,00 % | 10,32 | 0,165 | 12,85 % |
| Geerntete Agrarbiomasse | 1,20 % | 18,90 | 0,321 | 24,99 % |
| Erntenebenprodukte | 0,75 % | 5,30 | 0,090 | 7,02 % |
| Siedlungsabfälle und Deponiegas | 1,25 % | 9,74 | 0,146 | 11,37 % |
| Lebensmittelverluste und -verschwendung | | | | |
| Kohlenhydrate | -1,33 % | 0,12 | 0,002 | 0,15 % |
| Fett | -1,00 % | 0,02 | 0,001 | 0,05 % |
| Protein | 0,99 % | 0,01 | 0,000 | 0,01 % |
| Gesamt | - | 73,68 | 1,28 | 100,00 % |
| Davon: Auf der Angebotsseite berücksichtigte Biomasse (Erläuterung siehe Text) | - | 43,73 | 0,78 | 60,40 % |

Modellannahme für „2050 – BAU“:

Durch die in Tabelle 72 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage nach Biomasse für Bioenergie, die wir angebotsseitig berücksichtigen von etwa 32,2 Mio. t TM im Jahr 2011 auf etwa **43,8 Mio. t TM** im Jahr 2050.

Modellannahme für „2050 – Bio-based und Bio-based Hoch“:

Durch die in Tabelle 73 aufgeführten Annahmen steigt die Nachfrage nach Biomasse für Bioenergie, die wir angebotsseitig berücksichtigen von etwa 32,3 Mio. t TM im Jahr 2011 auf etwa **43,7 Mio. t TM** im Jahr 2050.

6.2.3.5 Zusammenfassung Nachfrage Deutschland

Die folgende Tabelle 74 fasst die Annahmen bezüglich der Entwicklung der Nachfrage nach Biomasse für Lebensmittel, Futtermittel, stoffliche Nutzung sowie für Bioenergie für Strom und Wärme zusammen (vgl. Abbildung 87).

Tabelle 74: Zusammenfassung der Basisdaten und Annahmen zur Biomassenachfrage Deutschlands (Quelle: eigene Berechnungen)

| | Einheit | 2011 | 2050 – BAU | 2050 – Bio-based | 2050 – Bio-based Hoch |
|---|---------|------|------------|------------------|-----------------------|
| Lebens- und Futtermittel: | | | | | |
| Bevölkerungsentwicklung | % p.a.* | - | -0,34 % | -0,34 % | -0,34 % |
| Lebensmittelverluste und -verschwendung | % | 13 % | 7 % | 7 % | 7 % |
| Steigerung der Futtereffizienz | % p.a.* | - | +0,6 %** | +0,6 %** | +0,6 %** |
| Nutzung der Lebensmittelverluste als Futtermittel | % | 10 % | 15 % | 15 % | 15 % |
| Bioenergie für Strom und Wärme: | | | | | |
| Feuerholz und Holzkohle | % p.a.* | - | +0,50 % | +0,50 % | +0,50 % |
| Schwarzlauge | % p.a.* | - | +1,00 % | +1,00 % | +0,00 % |
| Holzpellets und andere energetische Holznutzung | % p.a.* | - | +1,00 % | +1,00 % | +1,00 % |
| Geerntete Agrarbiomasse | % p.a.* | - | 1,20 % | 1,20 % | 1,25 % |
| Erntenebenprodukte | % p.a.* | - | 1,20 % | 1,20 % | 1,20 % |
| Nutzung der Lebensmittelverluste für Bioenergie | % | 10 % | 15 % | 15 % | 15 % |
| Stoffliche Nutzung | | | | | |
| Chemie und Kunststoffe | | | | | |
| Gesamte Rohstoffnachfrage | % p.a.* | - | 1,75 % | 1,75 % | 1,75 % |
| Anteil nachwachsender Rohstoffe | % | 10 % | 20 % | 40 % | 95 % |
| Bau und Möbel (Holz und Bambus) | % p.a.* | - | +1,0 % | 1,75 % | 2,0 % |
| Papier und Zellstoff | % p.a.* | - | +0,0 % | +0,0 % | +0,0 % |
| Textilien | | | | | |
| Nachfrage des Gesamtmarktes | % p.a.* | - | 1,5 % | 1,5 % | 1,5 % |
| Nachfrage nach Fasertypen: | | | | | |
| Wolle | % p.a.* | - | +0,0 % | +0,0 % | +0,0 % |
| Baumwolle | % p.a.* | - | 0,2 % | 0,3 % | 0,3 % |
| Andere Naturfasern außer Wolle und Baumwolle | % p.a.* | - | 0,9 % | 1,8 % | 1,8 % |
| Cellulosefasern | % p.a.* | - | 2,6 % | 3,75 % | 3,75 % |
| Bio-basierte Polymere | % p.a.* | - | +6,9 % | +7,9 % | +7,9 % |

* Jährliche Wachstumsrate, ** entsprechend der Annahme in den weltweiten Szenarien

7 Abgleich von Angebot- und Nachfrageszenarien

7.1 Welt

Eine Gegenüberstellung der Basisdaten für das Biomasseangebot und die Biomassenachfrage für das Jahr 2011 zeigt zunächst, dass beide gut, jedoch nicht vollständig übereinstimmen (Abbildung 91). Anhand unserer Berechnungen erscheint die Nachfrage etwa 6 % höher zu sein als die Angebotsseite, was angesichts der Ungenauigkeit der Daten eine gute Übereinstimmung bedeutet.

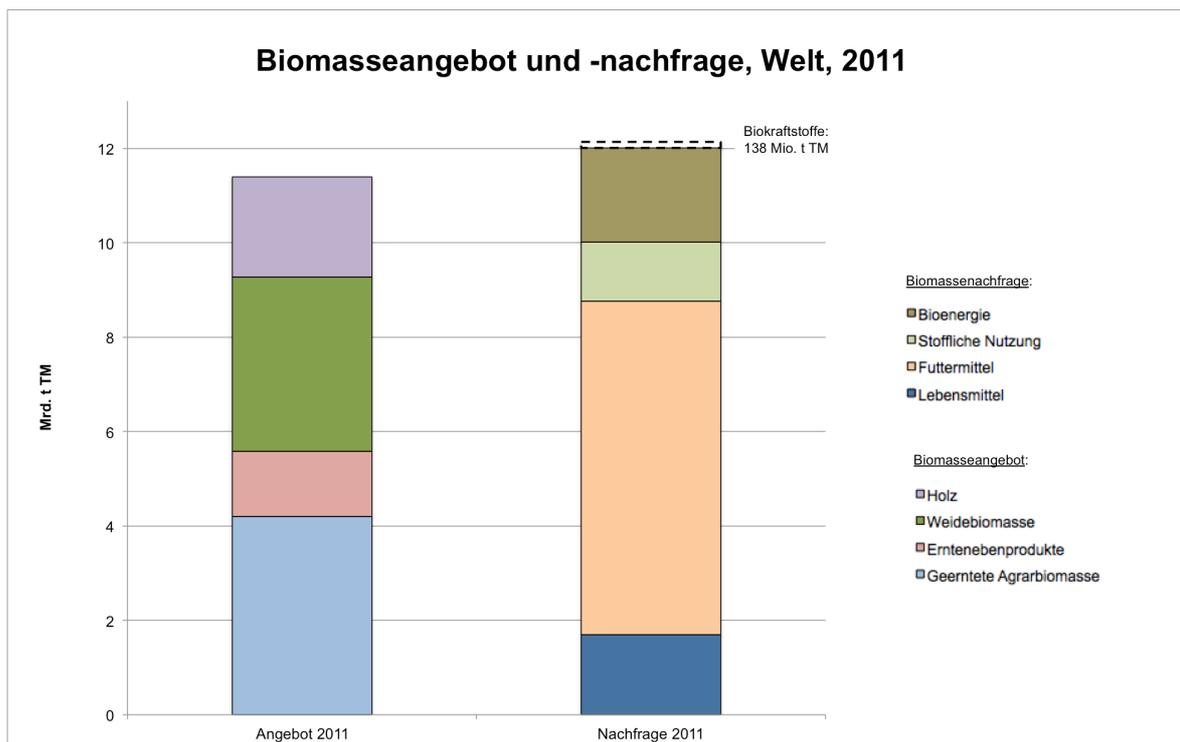


Abbildung 91: Übereinstimmung von Angebot und Nachfrage 2011, Welt (Quelle: eigene Darstellung)

Eine Gegenüberstellung der BAU Angebots- und Nachfrageszenarien für das Jahr 2050 zeigt, dass unter den getroffenen Annahmen nach Abdeckung der Nachfrage für Lebensmittel und Futtermittel, stoffliche Nutzung und Bioenergie für Strom und Wärme gut 1 Mrd. t TM potenziell für die Herstellung von Biokraftstoffen bereitgestellt werden könnten.

Die IEA 2012 berechnet eine Nachfrage nach Biomasse für Biokraftstoffe im Jahr 2050 von 60 EJ Primärenergie gegenüber etwa 2,7 EJ im Jahr 2011 (vgl. Tabelle 29). Dies entspricht einem CAGR von etwa 8 % und einer Gesamtmenge von 3-4 Mrd. t TM. Zu bedenken ist, dass diese Berechnung vor dem Hintergrund einer Erreichung des 2 °C-Ziels angestellt worden ist. Die IEA 2012 geht also davon aus, dass ein Einsatz von 3-4 Mrd. t TM für Biokraftstoffe zur Erreichung des 2 °C-Ziels notwendig wäre.

Das in unserem BAU-Szenario ausgerechnete Biomassepotenzial von etwa 1 Mrd. t TM könnte demnach rund 25-30 % dieses Bedarfs decken.

7.2 EU-27

Eine Gegenüberstellung der Basisdaten für das Biomasseangebot und die Biomassenachfrage für das Jahr 2011 zeigt zunächst, dass dieses recht gut übereinstimmt (Abbildung 93).

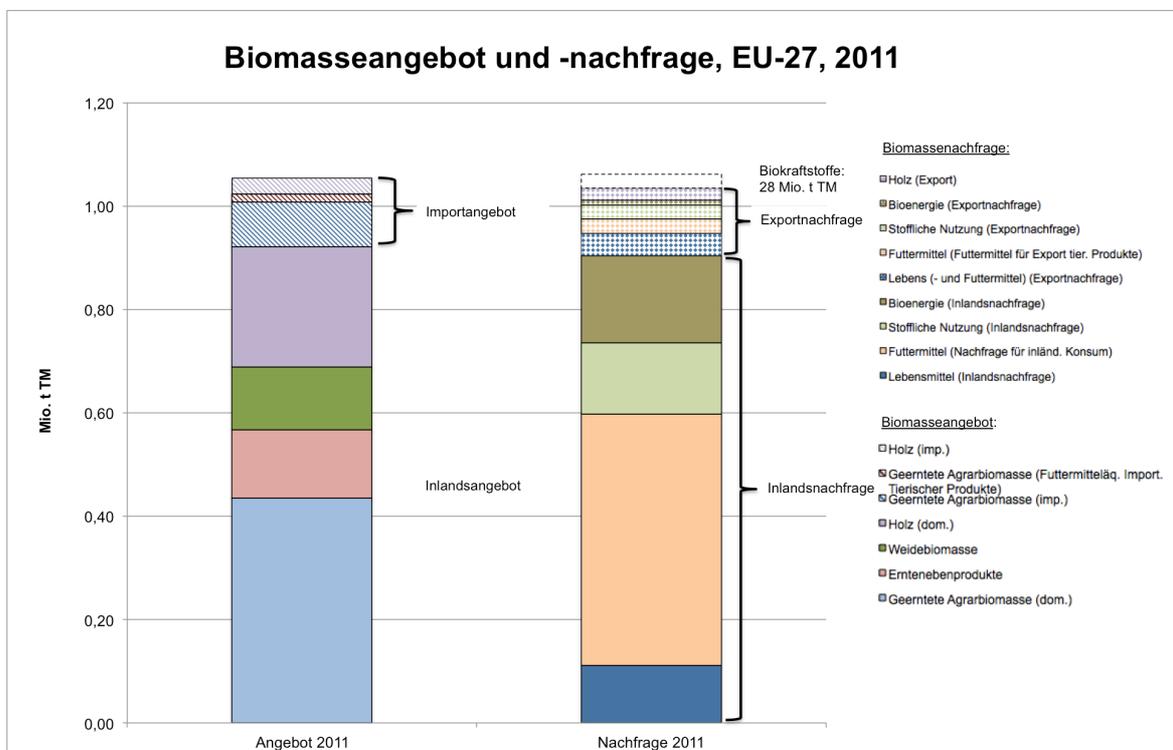


Abbildung 93: Übereinstimmung von Angebot und Nachfrage 2011, EU-27

Szenarien bis 2050: Nach Bentsen und Felby 2012 ergibt sich durch die Ausbaupläne der Mitgliedstaaten eine Steigerung des Biomassebedarfs für Biokraftstoffe von etwa 0,9 EJ im Jahr 2010 auf etwa 1,8 EJ im Jahr 2020. Dies entspricht einem CAGR von etwa 1,94 %. Diese 1,8 EJ Primärenergie entsprechen ungefähr einem Biomassebedarf von 90-120 Mio. t TM.

In der folgenden Grafik betrachten wir, wie viel Biomasse im Angebots- und Nachfrageszenario BAU für Biokraftstoffe genutzt werden könnte nachdem die Nachfrage für alle anderen Nutzungen abgedeckt wäre. Es zeigt sich, dass aufgrund des relativ geringen Importanteils im Verhältnis zum einheimisch produzierten Biomasse auch ohne Importe im BAU-Szenario noch Biomasse für Biokraftstoffe übrig sein könnte (ca. 68 Mio. t). Diese könnte etwa zwei Drittel des Bedarfs an Biomasse für Biokraftstoffe von 90-120 Mio. t TM decken.

In den Nachfrageszenarien Bio-based und Bio-based Hoch wäre dagegen ohne Importe kein inländisches Potenzial für Biokraftstoffe übrig.

7.3 Deutschland

Eine Gegenüberstellung der Basisdaten für das Biomasseangebot und die Biomassenachfrage für das Jahr 2011 zeigt für Deutschland ebenfalls eine hohe Übereinstimmung (Abbildung 95). Allerdings fällt nach unseren Berechnungen die Nachfrage etwas höher aus als das Angebot (234 Mio. t TM gegenüber 227 Mio. t TM).

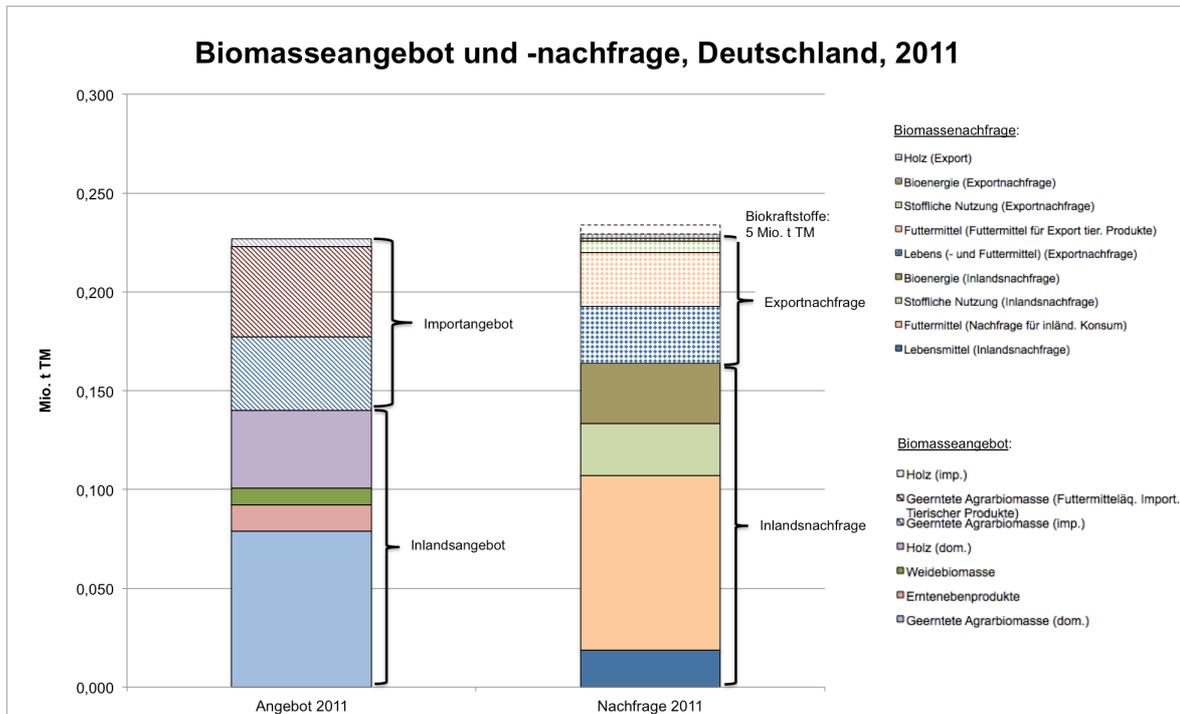


Abbildung 95: Übereinstimmung von Angebot und Nachfrage 2011, Deutschland (Quelle: eigene Darstellung)

Szenarien bis 2050: Wie in Abschnitt 6.2.3.4 beschrieben würde sich nach Schillings 2013 für das Szenario „2050 A“ ein Primärenergiebedarf Deutschlands für Bioenergie von etwa 1,54 EJ im Jahr 2050 ergeben. Eigene Umrechnungen hatten ergeben, dass Biokraftstoffe hieran einen Anteil von 0,26 EJ haben dürften (CAGR: 1,62 %). Dies entspricht bei heutigen Technologien einem Biomassebedarf von etwa 9 Mio. t TM (aus der Berechnung in Abschnitt 5.2.3.5 hatte sich ergeben, dass der heutige Biomassebedarf Deutschlands für Biokraftstoffe rund 35 Mio. t TM je EJ Primärenergie beträgt).

Im Vergleich zur EU-27 ist jedoch die Importabhängigkeit Deutschlands um einiges höher. Nur aus inländischer Biomasse könnte Deutschland daher im Angebots- und Nachfrageszenario BAU nicht einmal die Nachfrage ohne zusätzliche Nutzung für Biokraftstoffe decken (Abbildung 103). Dies gilt natürlich in noch stärkerem Maße für die höheren Nachfrageszenarien.

Weiter gehende Analysen und Diskussionen zum Abgleich 2050 finden sich im abschließenden Kapitel „Zusammenfassung und Schlussfolgerungen“.

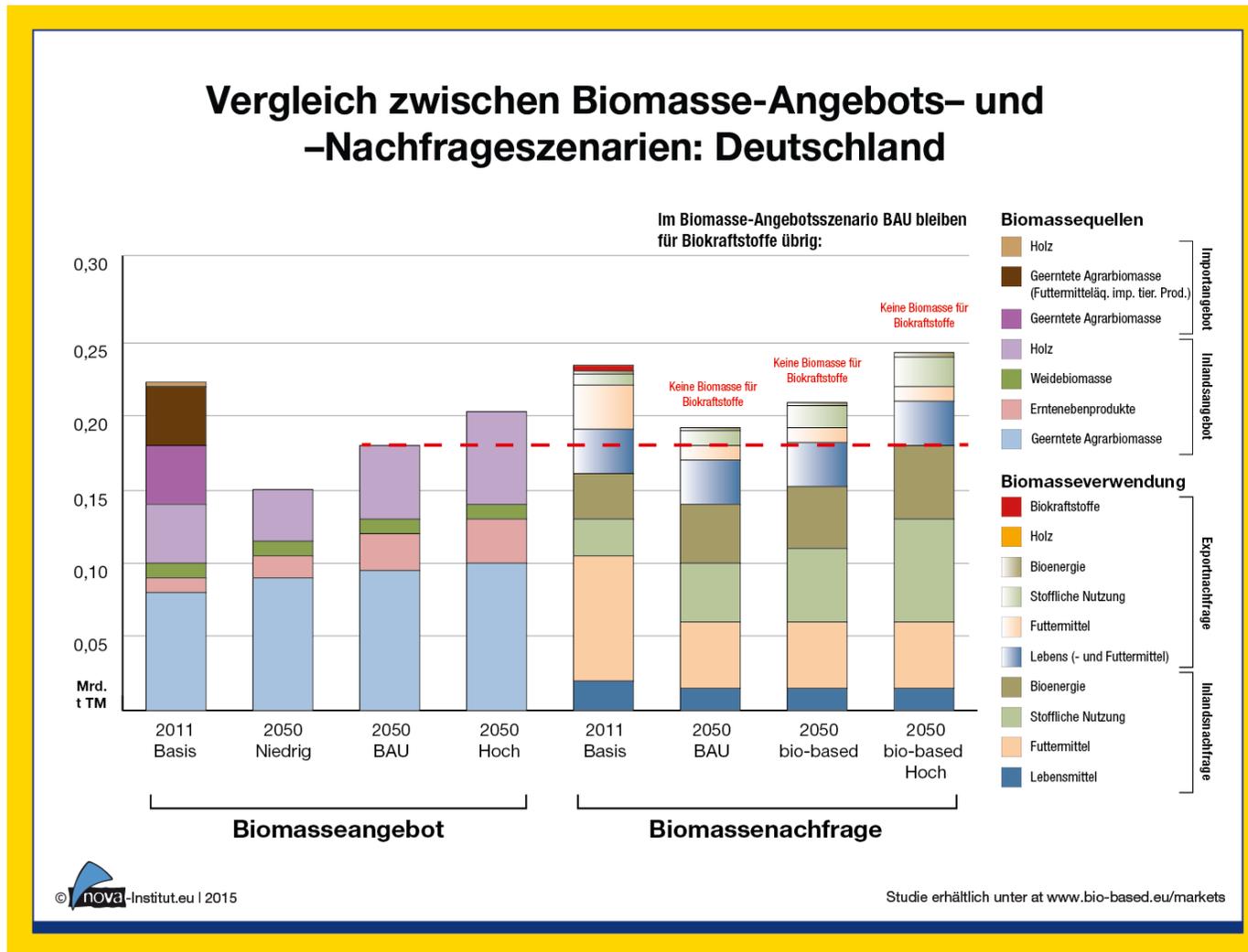


Abbildung 96: Übereinstimmung von Angebot und Nachfrage 2011, Deutschland (Quelle: eigene Darstellung)

8 Zukunftstrends

Im Rahmen des Projekts wurden nova-interne und externe Workshops durchgeführt, um zukünftige Trends zu identifizieren, die einen relevanten Einfluss auf das Angebot von Biomasse oder die Nachfrage nach Biomasse haben werden. Nach Sammlung einer großen Anzahl von neuen technischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Entwicklungen, wurde ein Ranking nach Potenzial bzw. Volumen dieser Entwicklungen durchgeführt. Die resultierenden Top-Trends werden im Folgenden kurz vorgestellt.

8.1 Nutzung zusätzlicher Flächen

In Zukunft können neue Flächen zur Biomasseproduktion erschlossen werden, die bisher nicht genutzt werden.

Tabelle 75: Trends, die zur Nutzung weiterer Landflächen führen, die bisher nicht erschlossen werden konnten (Quelle: eigene Darstellung)

| Neue Landflächen | Potenzial / Volumen (Ranking) |
|--|---|
| Mit preiswerter Solarenergie können Wüsten zu fruchtbaren Agrarflächen werden (Gewinnung von Süßwasser aus Salzwasser, Zugang zu Tiefenwasser) | Sehr groß |
| Erschließung neuer Agrarflächen durch neue Kulturpflanzen, wie z. B. salztolerante Pflanzen oder den „Opuntia cactus“ für Tierfutter und Biogasanlagen | Sehr groß |
| Gewinnung zusätzlicher Flächen durch verbesserte Wasserspeicherung im Boden (spezielle Polymergele etc.) | Groß |
| Nutzung von Marginal-/Industriestandorten mit Aquakultur & Mikroalgen | Mittel |
| Stadtflächen durch „Urban Farming“ | Relativ klein, da primär für Salat und Gemüse und keine Massenkulturen wie Weizen, Reis oder Mais |

Der Klimawandel bleibt bei der Betrachtung der Agrarflächen ein kritischer Faktor. Agrarflächen, die in einigen Regionen verloren gehen, stehen zusätzliche Agrarflächen in

anderen Regionen gegenüber. Nettoeffekte können allerdings auf Basis des heutigen Wissensstandes nicht seriös quantifiziert werden.

Um belastbare Aussagen zu den Potenzialen neuer Landflächen machen zu können, müssen zunächst die ersten innovativen Projekte zur Biomasseproduktion auf Marginal- und Wüstenstandorten realisiert werden. Erst dann wird man die Möglichkeiten und Grenzen der neuen Technologien bewerten können. So kann die künstliche Bewässerung in heißen und trockenen Regionen beispielsweise eine Bedrohung für diese neuen landwirtschaftliche Flächen sein, wenn bei den angebauten Pflanzen keine ausreichende Salztoleranz entwickelt ist (Qadir et al. 2014).

Neben der Nutzung zusätzlicher Flächen für die Landwirtschaft können auch auf dem Meer neue produktive Flächen für Biomasse gewonnen werden. In der folgenden Tabelle 76 sind Trends dargestellt, die zur Nutzung von Wasserflächen und der Erschließung neuer Biomasseströme führen.

Tabelle 76: Trends, die zur Nutzung von Wasserflächen und neuen Biomasseströmen führen, die bisher nicht erschlossen werden konnten (Quelle: eigene Darstellung)

| Wasserflächen | Potenzial / Volumen (Ranking) |
|--|--|
| Makroalgen (z. B. Kelp) im „Ocean Farming“ mit industrieller Verarbeitung auf dem Meer | Extrem groß (bei gleichzeitiger Erhöhung der lokalen Biodiversität im küstenfernen Meer) |
| Fische in Aquakultur und „Ocean Farming“ | Groß |

8.2 Steigerung der Erträge

Neben der Gewinnung neuer Flächen spielt die Produktivität der Flächen und Kulturen eine entscheidende Rolle. Die folgende Tabelle 77 fasst die wichtigsten Trends zusammen, die zu höherer Biomasseproduktion beitragen können.

Tabelle 77: Trends, die zu höherer Biomasseproduktion führen können (Quelle: eigene Darstellung)

| Mehr Biomasseproduktion | Potenzial / Volumen (Ranking) |
|--|--------------------------------------|
| <p>Vielzahl von Technologien und Systemoptimierungen, um bei geringerem Input einen höheren Output zu bringen, bei gleichzeitig reduzierten Umweltbelastungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - „Precision Farming“ – bedarfsgerechte Düngung, Pflanzenschutz und Bewässerung durch Sensoren, GPS, Roboter, Drohnen und funktionalisierte Nanopartikel etc. - Hohe Integration und Kopplung aller Agrar- und Forstprozesse und ihrer Nebenströme - Optimierte Rotation und Kombination von Kulturpflanzen - Bodenverbesserung (Kohlenstoff, Humus, Wasserspeicherung) - Spezifisches Pilz-Coating des Saatguts zur besseren Nährstoffaufnahme der Wurzeln - Maßgeschneidertes LED-Kunstlicht in Treibhäusern (höhere Effizienz der Lichtnutzung) | Groß |
| Mehr Insekten- und pflanzliche Proteine: Deutlich effizientere Proteinproduktion als bei Kuh, Schwein, Lamm oder Geflügel | Groß |
| Gentechnik und synthetische Biologie | Mittel bis groß |
| „Supercrops and supertrees“ mit verbesserter Turbo-Photosynthese (verbessertes Cyanobakterien-System) | Mittel (+25 %) |
| Optimierter ökologischer Anbau (in den USA auch durch angepasste GMO-Pflanzen, die besonders für Low-Input-Ökolandbau geeignet sind) | Mittel |

8.3 Reduzierung der Nachfrage

Die folgende Tabelle 78 stellt die wichtigsten Trends zur Reduzierung der Nachfrage nach Biomasse zusammen.

Tabelle 78: Trends, die zu einer Reduzierung der Nachfrage führen (Quelle: eigene Darstellung)

| Reduzierung der Nachfrage | Potenzial / Volumen (Ranking) |
|---|--------------------------------------|
| Reduzierung der Verluste in der Lebens- und Futtermittel-Kette (über unsere Szenarien-Annahmen hinaus) | Groß |
| Geringerer Fleischkonsum sowie verstärkter Konsum von Fleisch mit einem geringeren ökologischen Fußabdruck (Huhn, Insekten); bessere Verwertung des Futters durch Enzymzugaben | Groß |
| Längere Lebensdauer von Produkten | Groß |
| Verstärkte Kreislaufwirtschaft mit erhöhter Ressourceneffizienz, Kaskadennutzung von Biomasse und Recycling | Groß |
| Künstliche Proteine als Fleischersatz: Künstliches Fleisch, synthetische Proteine (Biotechnologie) | Groß |
| Erneuerbare Energien sowie Wasser und CO ₂ : Carbon Capture and Utilization (CCU) zur effizienten Produktion von Kraftstoffen, Chemikalien, Kunststoffen und Futter- und Lebensmitteln | Groß |
| Verstärktes Produkt-Sharing | Gering - Mittel |

8.4 Solar, Wind und CCU

In einigen nova-Szenarien kann der Bedarf an Kraftstoffen nur teilweise oder gar nicht mit Biokraftstoffen gedeckt werden. Auch der Energiebedarf insgesamt wird nur zu einem geringen Anteil durch Biomasse gedeckt. (siehe Kapitel 6.2.1.6)

Um die fossilen Energieträger abzulösen, müssen Solar-, Wind- und Wasserenergie stark ausgebaut werden. Dies ist realistisch und der starke Ausbau weltweit bereits in vollem Gange.

Flüssige und gasförmige Kraftstoffe können mittels CCU-Technologien (Carbon Capture and Utilization: Power-to-gas und Power-to-liquid) aus Erneuerbaren Energien produziert werden. Das alte Dogma, dass man zumindest für flüssige Kraftstoffe Biomasse bräuchte, ist inzwischen technologisch überwunden.

9 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studie zusammengefasst und Schlussfolgerungen gezogen. Dabei wird zwischen den Betrachtungsebenen der Welt, der EU-27 und Deutschland unterschieden und ein Ausblick auf zukünftige Trends und Entwicklungen gegeben.

9.1 Welt

Um überhaupt eine solide Ausgangsbasis für die Entwicklung von Szenarien für das Biomasse-Angebot bis zum Jahr 2050 zu bekommen, wurde zunächst eine umfassende Analyse des weltweiten Ist-Zustandes im Jahre 2011 durchgeführt.

Erstmalig konnte ein konsistentes Bild vom gesamten Biomasseangebot auf der einen und der Nachfrage nach Biomasse für Lebensmittel, Futtermittel, die stoffliche Nutzung, Bioenergie und Biokraftstoffe auf der anderen Seite gezeichnet werden. Die Analyse und Bestimmung von Biomasseangebot und -nachfrage erfolgte nach Art der Herkunft (geerntete Agrarbiomasse, Erntenebenprodukte, Weidebiomasse, Holz) sowie nach Art der Bestandteile (Zucker/Stärke, (Hemi-)Cellulose, Fette, Proteine) der Biomasse. In einem iterativen Prozess wurde dann ein Abgleich von Angebot und Nachfrage auf Basis von Tonnen Trockenmasse je Biomassetyp vorgenommen. Schließlich konnte der Abgleich bis zu einer Genauigkeit von 6 % erreicht werden – angesichts der großen Ungenauigkeiten in den vorliegenden Daten ein überraschend gutes Resultat. Die größte Herausforderung war dabei die Analyse der Nachfrage aus der stofflichen Nutzung, die sich in tausenden von Anwendungen vollzieht und die in den meisten bisherigen Studien unberücksichtigt blieb.

Die drei folgenden Grafiken zeigen das Ergebnis: Im Jahr 2011 wurden weltweit etwa 11,4 Mrd. Tonnen TM Biomasse geerntet bzw. zur Nutzung entnommen und zu Lebens- und Futtermitteln, bio-basierten Produkten, Bioenergieträgern und Biokraftstoffen verarbeitet (die Nachfrage liegt bei 12,1 Mrd. Tonnen TM Biomasse; dieser Unterschied von 6 % lässt sich aufgrund der Datenungenauigkeiten nicht vermeiden). Die Nachfrage der stofflichen Nutzung liegt um das 10fache höher als die für Biokraftstoffe. Dies dürfte viele überraschen. Heute dürfte der Anteil der Biokraftstoffe allerdings etwas höher liegen, eher bei 2 % als bei 1 % wie im Jahr 2011.

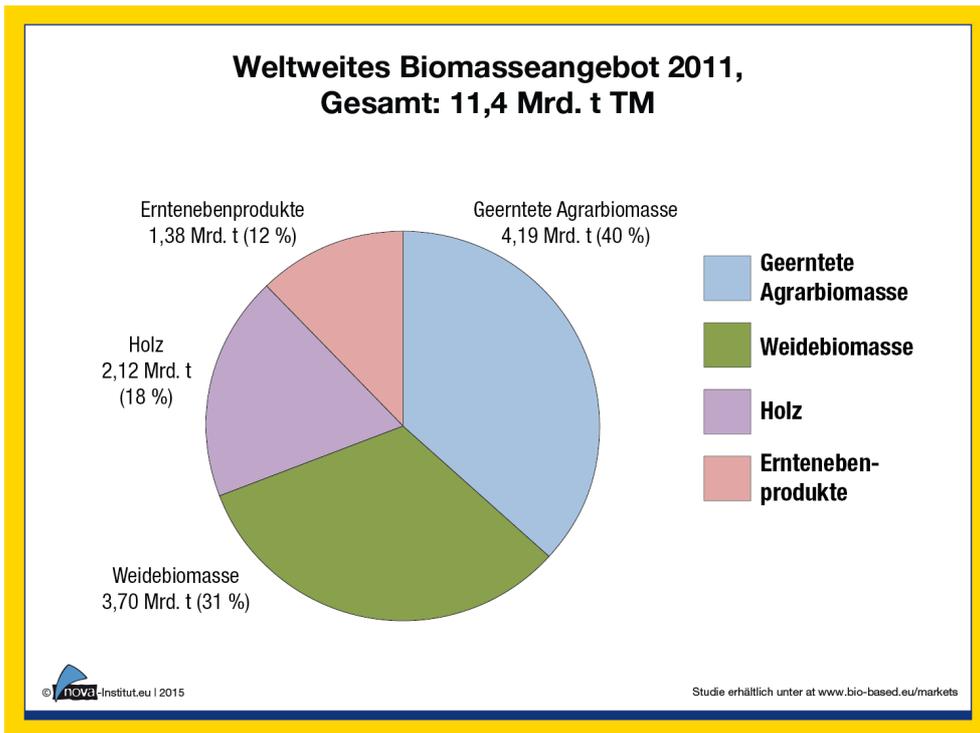


Abbildung 97: Weltweites Biomasseangebot 2011 (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen)

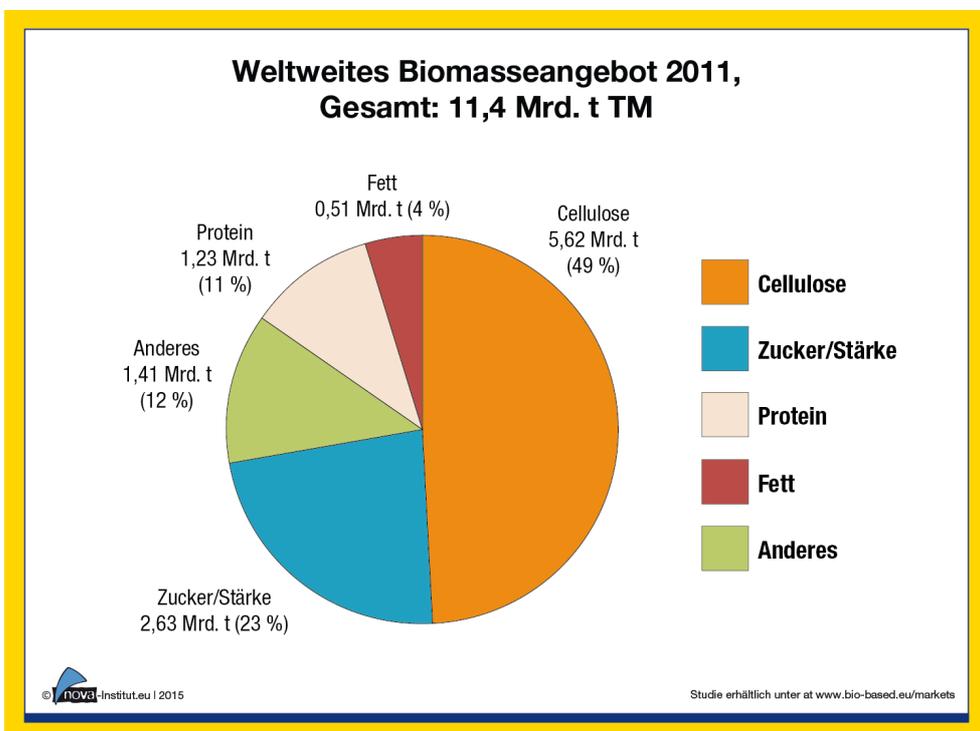


Abbildung 98: Weltweites Biomasseangebot 2011 (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen)

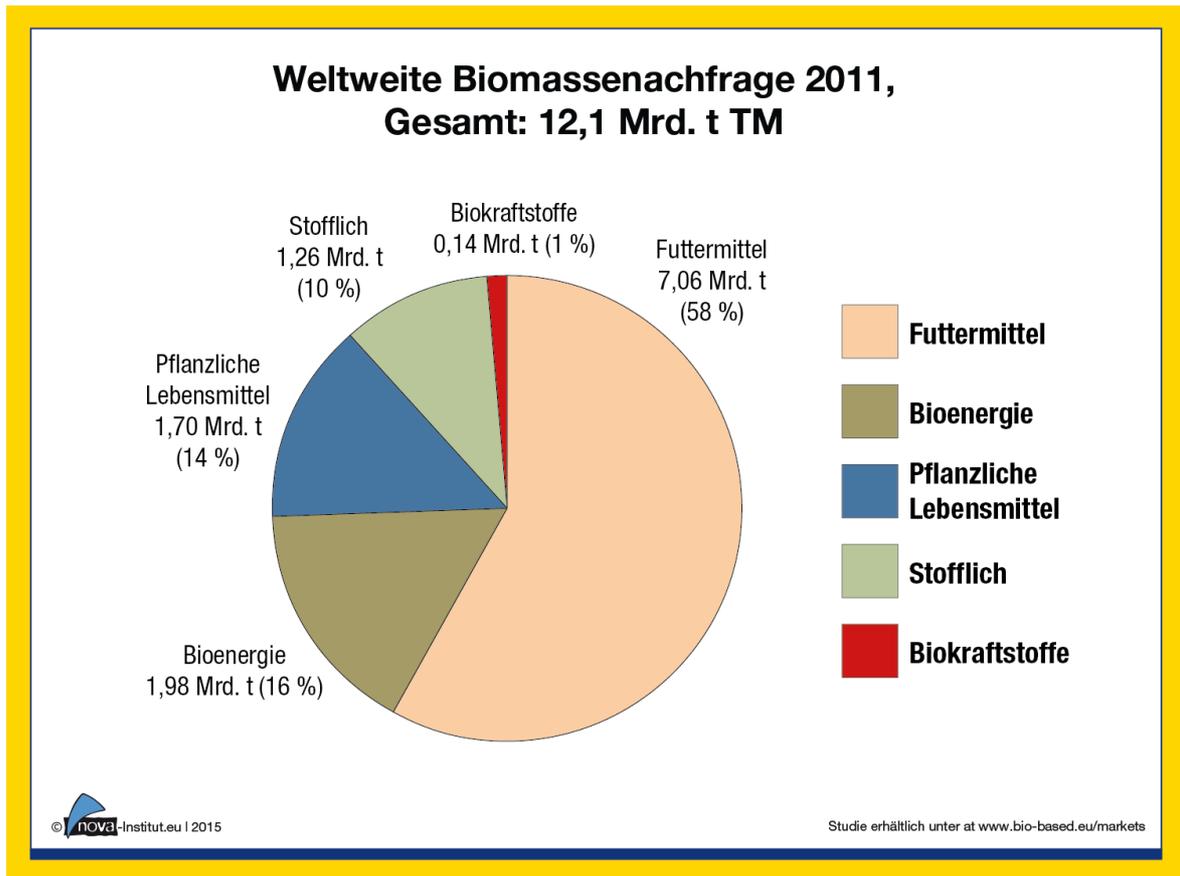


Abbildung 99: Weltweite Biomassenachfrage 2011 (nach Sektoren) (Quelle: FAO 2014; eigene Berechnungen)

Ausgehend von dieser Datenbasis wurden unterschiedliche explorative („erforschende“) Szenarien für das Jahr 2050 definiert. Diese zeigen auf, wie sich unter unterschiedlichen plausiblen und in sich konsistenten Annahmen sowohl das Angebot an Biomasse als auch die Nachfrage nach Biomasse entwickeln werden. Für etwa 100 Parameter, die maßgeblich Angebot und Nachfrage in der Zukunft bestimmen, wurden unterschiedliche Annahmen-Sets entwickelt (Angebot: Niedrig, BAU und Hoch; Nachfrage: BAU, bio-based und bio-based Hoch) und berechnet, was die jeweiligen Annahmen-Sets für Angebot (pro Biomassetyp) und Nachfrage (pro Sektor) im Jahr 2050 bedeuten würden.

Im Text werden die wichtigsten Faktoren beschrieben, die die Ergebnisse maßgeblich beeinflussen. Da insgesamt circa 100 Parameter die Angebots- und Nachfrageentwicklung bestimmen, ist in der Kurzfassung eine Fokussierung auf wenige Parameter unverzichtbar. In der Studie werden sämtliche Parameter im Detail beschrieben und können für neue explorative Szenarien in den Rechenmodellen leicht verändert werden.

Die beiden folgenden Grafiken fassen die Ergebnisse der weltweiten Biomasse-Angebots- und -Nachfrageszenarien zusammen; sie beinhalten die Ist-Situation für das Jahr 2011 und die oben beschriebenen Zukunftsszenarien für das Jahr 2050. Im Anschluss an die Beschreibung der wichtigsten Einflussfaktoren wird die Deckung von Biomasse-Angebot und -Nachfrage beschrieben.

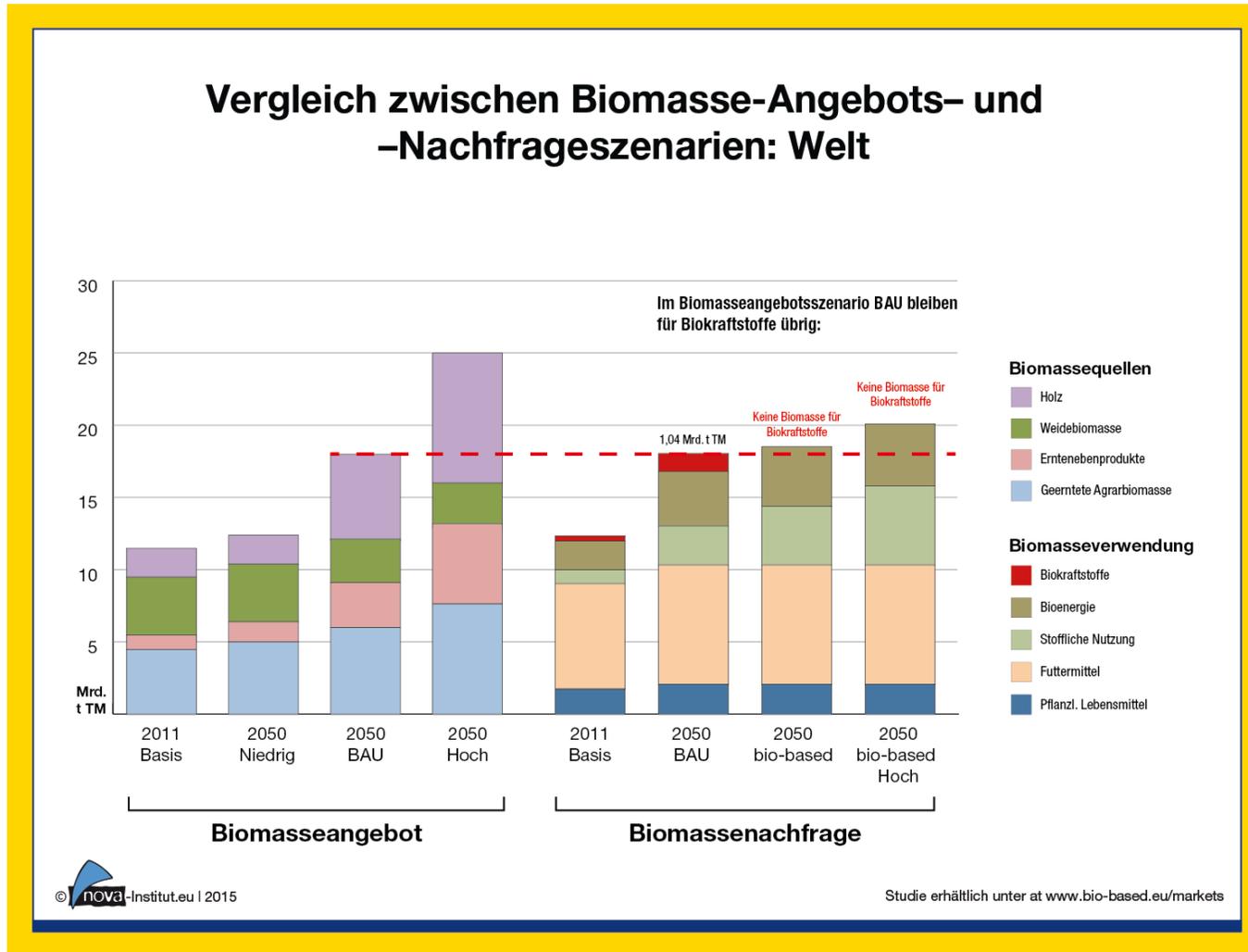


Abbildung 100: Vergleich zwischen Biomasse-Angebots- und -Nachfrageszenarien (nach Biomassequellen und -verwendung) (Quelle: eigene Darstellung)

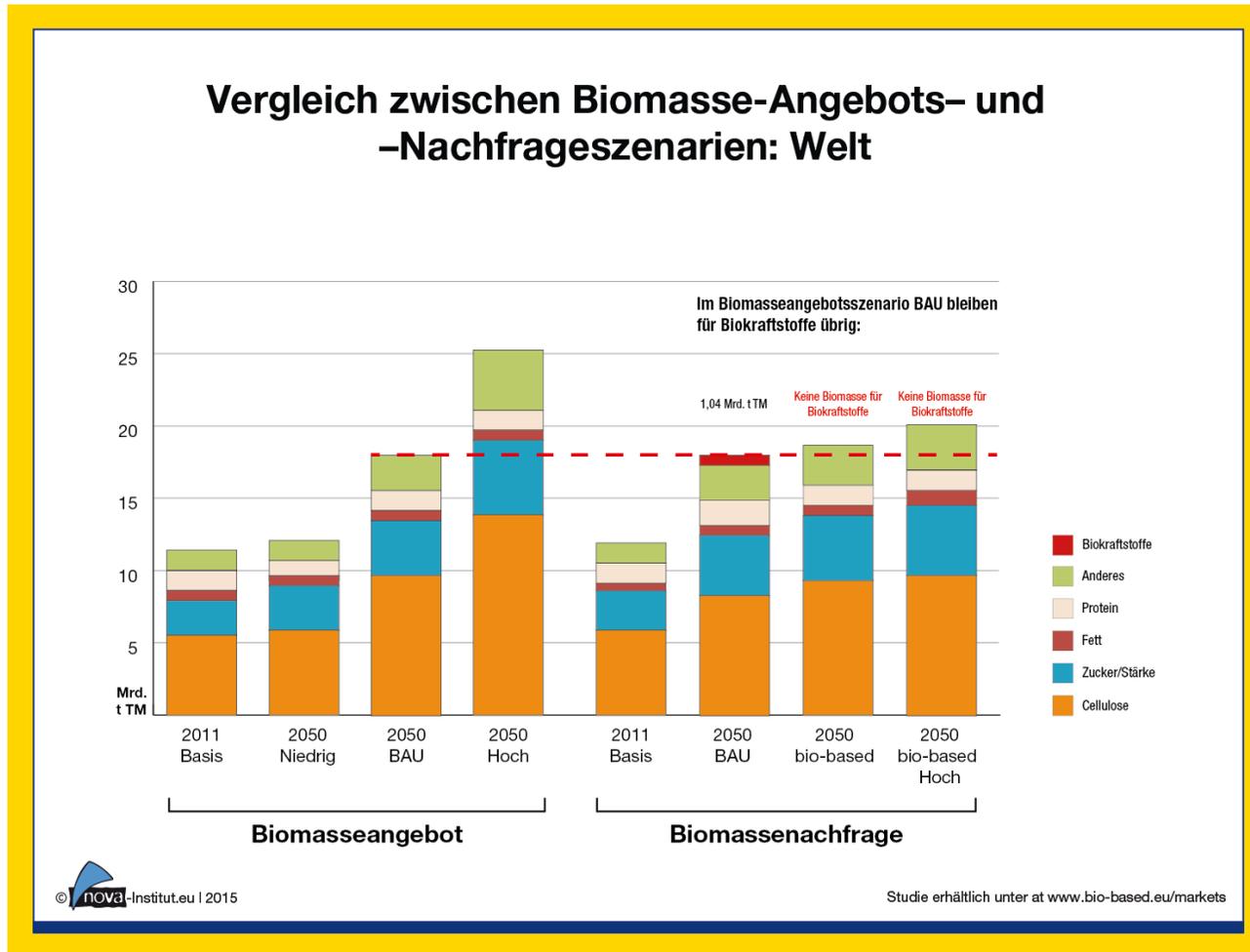


Abbildung 101: Vergleich zwischen Biomasse-Angebots- und -Nachfrageszenarien (nach Hauptkomponenten) (Quelle: eigene Darstellung)

Biomasse-Angebotsszenarien Welt

Im BAU-Szenario nimmt die Fläche für Acker- und Dauerkulturen von 2011 bis 2050 weltweit von 1,55 Mrd. ha um rund 135 Mio. ha auf etwa 1,69 Mrd. ha zu. Im Niedrig-Szenario würde sie dagegen um rund 100 Mio. ha auf 1,45 Mrd. ha sinken und im Hoch-Szenario um 360 Mio. ha auf 1,91 Mrd. ha steigen.

Unter dem Kriterium des „Safe Operating Space“, das vor allem bedeutet, dass der globale Biodiversitätsverlust bis 2020 zum Ende kommt, können laut Bringezu et al. (2014) die weltweiten Flächen für Acker- und Dauerkulturen netto auf maximal 1,64 Mrd. ha steigen (siehe Kapitel 6.1.1.1). Dieses Nachhaltigkeitskriterium wird nur im Niedrig-Szenario erfüllt, nicht aber im BAU- und Hoch-Szenario, welche die Grenzen, innerhalb derer eine nachhaltige Entwicklung als möglich angesehen wird, deutlich überschreiten. Die reine Fokussierung auf die Ausdehnung der Agrarflächen vernachlässigt allerdings viele andere Faktoren, die für die Beurteilung der Nachhaltigkeit der Landnutzung eine Rolle spielen, z.B. die Form der Landbewirtschaftung und die Ausweisung von Schutzzone.

Wichtig ist, dass auch in den BAU- und Hoch-Szenarien ab dem Jahr 2030 keine weiteren Wälder mehr in Ackerflächen umgewandelt, Schutzgebiete nicht angetastet und nur solche Flächen in Ackerland umgewandelt werden, die keine künstliche Bewässerung benötigen. In den Wäldern wird eine Ausdehnung des Wirtschafts- und Plantagenwalds angenommen. Die neu in Ackerland umgewandelten Flächen stammen vor allem aus Wiesen und Weideland. Die Flächenausdehnung in den BAU- und Hoch-Szenarien kann durchaus nach Kriterien der aktuell angewendeten Zertifizierungssysteme für nachhaltige Biomasse und der FAO realisiert und die Flächen nachhaltig bewirtschaftet werden (siehe Kapitel 3.1) – allerdings kaum, ohne einen Rückgang an Biodiversität in Kauf zu nehmen. Eine Herausforderung der zukünftigen Landwirtschaft bleibt das Erzielen von höheren Erträgen bei gleichzeitig geringeren Umweltauswirkungen. Der schon heute in ersten Ansätzen verfolgten Methode des „Precision Farming“ kommt hier eine zentrale Rolle zu.

Die Ernteerträge steigen bis 2050 im Niedrig-Szenario 50 % geringer als von Alexandratos und Bruinsma 2012 (FAO) angenommen (siehe Kapitel 6.1.1). Die Annahmen im BAU-Szenario gleichen den Prognosen der FAO. Im Hoch-Szenario steigen die Ernteerträge 25 % stärker als in den FAO-Annahmen. Der Multi-Cropping-Index (MCI), der aussagt, wie viele Ernten pro Jahr auf einer Fläche stattfinden, steigt bis 2050 im Niedrig-Szenario auf 0,91, im BAU-Szenario auf 0,96 und im Hoch-Szenario auf 1,01. Gleichzeitig unterscheidet sich das Ausmaß der Nutzung von Agrarnebenprodukten: Im Niedrig-Szenario bleibt die Nutzung bis 2050 global bei 25 % (wie heute), im BAU-Szenario steigt sie auf 40 % und im Hoch-Szenario auf 50 %, was durchaus noch im Einklang mit einer nachhaltigen Bewirtschaftung ist, so lange die Fruchtbarkeit der Böden nicht langfristig gefährdet ist, wie es zum Beispiel bei humuszehrenden Arten der Fall ist. In diesen Fällen müssten geeignete Gegenmaßnahmen, wie der Anbau von Untersaaten und Zwischenfrüchten, vorgenommen werden.

Biomasse-Nachfrageszenarien

Allen drei Nachfrageszenarien (BAU, „bio-based“ und „bio-based Hoch“) liegen ähnliche Annahmen zugrunde: Das durchschnittliche jährliche Wachstum im Lebensmittelbereich wird mit 0,7 % angesetzt, im Futtermittelbereich mit 0,4 %, im Energiebereich mit weniger

als 1 % (Europa 0 %) und für Chemikalien und Kunststoffe bei 3,5 % (Europa 1,75 %). Andere stoffliche Bereiche wachsen in der Regel zwischen 1 % und 2 %. Dabei ist eine Steigerung der globalen Recyclingrate von 15 % auf 25 % angesetzt, die teilweise auch auf einer stärkeren Kaskadennutzung basiert. Gleichzeitig wurden eine Verringerung der Verluste in der Lebens- und Futtermittelkette sowie eine höhere Futtermittelleffizienz angenommen.

Ein Ergebnis der Studie ist, dass die Nachfrage im stofflichen Bereich mit durchschnittlich 1 % bis 4 % pro Jahr (je nach Sektor) deutlich stärker wächst als im Energiebereich mit maximal 1 %. Das bedeutet, dass der Anteil der stofflichen Nutzung sowohl an der Petrochemie als auch an der Bioökonomie deutlich anwachsen wird (Erdöl: von heute 5-10 % auf 20-30 % in 2050).

Die Hauptunterschiede zwischen den drei Nachfrageszenarien entstehen durch die unterschiedlichen Anteile der Bioökonomie an der Deckung der stofflichen Nachfrage. Während z.B. im BAU-Szenario eine Steigerung des Anteils der bio-basierten Chemikalien (und damit auch Kunststoffe) von 10 % (2011) auf 20 % (2050) angenommen wird, steigt der Anteil im Szenario „bio-based“ auf 40 % und im Szenario „bio-based Hoch“ sogar auf modellhafte 95 %. Auch in anderen stofflichen Sektoren werden verschiedene Deckungsgrade angenommen, allerdings nicht in der gleichen Spannweite wie im Chemiesektor.

Deckung von Biomasse-Angebot und -Nachfrage Welt

Unter den beschriebenen Annahmen wird sich das globale Biomasseangebot bis 2050 im Niedrig-Szenario gegenüber 2011 kaum verändern, im BAU-Szenario fast verdoppeln und im Hoch-Szenario mehr als verdoppeln. Die Spannweite des globalen Biomasseangebots im Jahr 2050 liegt entsprechend der Szenarien zwischen 12,4 und 25,1 Milliarden Tonnen Trockenmasse.

Für die Deckung der Nachfrage in den drei Nachfrageszenarien ergibt sich folgendes Bild:

- Im Angebotsszenario Niedrig kann 2050 im Wesentlichen nur die Nachfrage nach Lebens- und Futtermitteln gedeckt werden. Die Sektoren Stofflich, Bioenergie und Biokraftstoffe können nur marginal versorgt werden. So nachhaltig sich das Niedrig-Szenario auf der Agrarseite zeigt, so wenig kann die Bioökonomie ihren Beitrag zur nachhaltigen Bedarfsdeckung der anderen Sektoren leisten und ebenfalls nicht zur Minderung der Treibhausgasemissionen beitragen.
- Im Angebotsszenario BAU kann die Nachfrage des Nachfrageszenarios BAU für Lebens- und Futtermittel, stoffliche Nutzung und Bioenergie gedeckt werden. Es bleiben dann noch etwa 1 Mrd. t TM Biomasse für die Produktion von Biokraftstoffen übrig. Die IEA 2012 geht davon aus, dass ein Einsatz von 3 bis 4 Mrd. t TM für Biokraftstoffe zur Erreichung des 2°C-Klimaziels notwendig wäre (ohne dabei allerdings die CO₂-Einsparungen in diesem Szenario durch eine stärkere stoffliche Nutzung der Biomasse zu berücksichtigen). Mit 1 Mrd. t TM könnten etwa 25-30 % hiervon erreicht werden. Andererseits stellen die 1 Mrd. t TM gegenüber dem Jahr 2011 eine mehr als Versiebenfachung des Biomasseinsatzes für die weltweite Biokraftstoffproduktion dar.

- Im Angebotsszenario BAU kann die Nachfrage des Nachfrageszenarios „Bio-based“ für Lebens- und Futtermittel, stoffliche Nutzung und Bioenergie weitgehend gedeckt werden; es bleibt hier aber keine Biomasse für Biokraftstoffe übrig.
- Im Angebotsszenario BAU kann die Nachfrage des Nachfrageszenarios „Bio-based Hoch“ für Lebens- und Futtermittel und stoffliche Nutzung vollständig, aber schon die Nachfrage von Seiten der Bioenergie nur zur Hälfte gedeckt werden; es bleibt keine Biomasse für Biokraftstoffe übrig.
- Im Angebotsszenario Hoch kann die Nachfrage aller Szenarien gedeckt werden und es bleibt sogar Biomasse für darüber hinausgehende Anwendungen übrig.
- In den Angebotsszenarien BAU und Hoch fällt der relativ hohe Anteil an Cellulose auf, der zum einen aus der stärkeren Waldnutzung und zum anderen aus der stärkeren Nutzung von Agrarnebenprodukten resultiert. Dies spricht in den BAU- und Hochszenarien dafür, dass sich der Anteil der sogenannten „Second Generation“ Rohstoffe gegenüber der Nutzung von Stärke, Zucker, Fetten und Proteinen relativ erhöhen wird und zwar in allen Sektoren wie stofflicher Nutzung, Bioenergie und Biokraftstoffen.

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse noch einmal zusammen:

Tabelle 79: Welche Mengen an Biomasse (in Mrd. t TM) bleiben weltweit für Biokraftstoffe im Jahr 2050 übrig? (Quelle: eigene Darstellung)

| Welche Mengen an Biomasse (in Mrd. t TM) bleiben weltweit für Biokraftstoffe im Jahr 2050? | | | |
|---|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| SZENARIEN | NACHFRAGE BAU | NACHFRAGE BIO-BASED | NACHFRAGE BIO-BASED HOCH |
| Angebot Niedrig | 0 | 0 | 0 |
| Angebot BAU | 1 | 0 | 0 |
| Angebot Hoch | 7 | 6 | 5 |

© nova-Institut.eu | 2015 Studie erhältlich unter www.bio-based.eu/markets

Abschließende Beurteilung der Nachhaltigkeit der Angebotsszenarien

Alle drei Biomasse-Angebotsszenarien gehen von der Prämisse aus, dass das dargestellte Biomasseangebot dauerhaft zur Verfügung gestellt werden kann und damit das eigentliche Hauptkriterium der Nachhaltigkeit erfüllt ist. Alle Szenarien decken als erstes den gesamten Bedarf an Lebens- und Futtermitteln ab und sind auch aus dieser Sicht als nachhaltig zu betrachten, weil sie zuallererst die elementaren Bedürfnisse der Menschheit nach Nahrung erfüllen.

Dem Abgleich zwischen Angebot und Nachfrage liegt eine hierarchische Nutzungspyramide für Biomasse zugrunde. Erst wenn der Bedarf an Nahrung durch pflanzliche und tierische Produkte weltweit gedeckt ist, wird die Nachfrage nach Biomasse für bio-basierte Produkte der stofflichen Nutzung gedeckt, die wiederum Vorrang vor der Bioenergie und Biokraftstoffen erhält. Grund dafür ist die Tatsache, dass bereits heute mit der Solar- und Windenergie Technologien bestehen, die effizienter und ökologischer Energie bereitstellen können als Bioenergie und konventionelle Systeme, wohingegen es in vielen Fällen keine Alternative für bestimmte stoffliche Eigenschaften von Biomasse gibt (u.a. Proteine, Fette, Kohlenhydrate).

Weiterhin stehen alle drei Angebotsszenarien im Einklang mit der Strategie zur nachhaltigen Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion (SCPI) der FAO (siehe Kapitel 3.1.2f). Selbst im Hoch-Szenario wird angenommen, dass die Steigerung der Erträge durch Weiterentwicklungen der Produktionssysteme, durch den Einsatz innovativer Technologien, den Einsatz verbesserter und angepasster Pflanzenarten und durch Verminderung der Feld- und Nachernteverluste nachhaltig erzielt werden kann, während gleichzeitig eine stärkere ökonomische Teilhabe der Land- und Forstwirte in Entwicklungsländern ermöglicht wird.

Grundsätzlich kann die Biomasse in allen drei Szenarien bis 2050 unter den Anforderungen der heute anerkannten Zertifizierungssysteme nachhaltig produziert und zertifiziert werden, sofern moderne Agrartechnologien, optimierte Produktionssysteme und die Garantie sozialer Standards weltweit durch- und eingesetzt werden. Selbst die deutliche Ausdehnung der Ackerflächen im Hoch-Szenario erfolgt nicht auf Kosten von Schutzgebieten oder durch Umnutzung von Primär- oder naturnahem Wirtschaftswald (ab 2030), sondern durch die Umnutzung von Dauergrünland und Wiesen.

Die Beurteilung auf Basis anderer Nachhaltigkeitsanforderungen, wie dem „Safe Operating Space“, ist dagegen deutlich schwieriger. Naheliegend ist zunächst, dass das Szenario „Niedrig“ die Kriterien erfüllt, da es hier zu keinen Ausweitungen der Ackerflächen, sondern durch Degradation sogar zu einer Verringerung der Ackerflächen und nur sehr moderaten Ertragssteigerungen kommt. Nur den Effizienzgewinnen, die unter anderem durch die Verringerung von Ernte- und Nachernteverlusten entstehen, ist es zu verdanken, dass die Biomasseproduktion insgesamt in etwa gleich bleibt.

In den Angebots-Szenarien „BAU“ und „Hoch“ gibt es dagegen relevante Flächenausdehnungen und die deutliche Gefahr eines weiteren Rückgangs der Biodiversität sowie eines erhöhten Ausstoßes von Treibhausgasen (auf der Agrar- und Waldseite), weshalb diese Szenarien zunächst nicht nachhaltig erscheinen. Es gibt jedoch zwei wichtige Aspekte, die dieser Einstufung entgegenstehen:

- Wie ist es zu bewerten, dass im Szenario „Niedrig“ lediglich der Bedarf an Lebens- und Futtermitteln befriedigt werden kann, obwohl auch materielle Produkte und Energieversorgung elementare Bedürfnisse des Menschen darstellen und diese

nicht ansatzweise mit Biomasse gedeckt werden können? Wenn die stoffliche und energetische Nachfrage nicht weiterhin mit endlichen, fossilen Energieträgern und ihren CO₂-Emissionen gedeckt werden soll, muss massiv in Solar- und Windenergie sowie Speichersysteme und Carbon Capture & Utilization-Technologien investiert werden. Nur dann ist gewährleistet, dass eine nachhaltige Agrar- und Forstwirtschaft nicht kontraproduktiv zu einer insgesamt nachhaltigen Entwicklung der Weltwirtschaft ist.

- Das Kapitel 8 „Zukunftstrends“ zeigt zudem auf, mit welchen Systemen und Technologien sehr große zusätzliche Mengen an Biomasse bereitgestellt werden können, ohne den Druck auf die Natur und Biodiversität relevant zu erhöhen. Insbesondere die Urbarmachung der Wüsten, die Bereitstellung von Süßwasser aus Meerwasser mit Solarenergie sowie Meeresfarmen mit der Makroalge Kelp seien hier als Beispiele genannt. Bis zum Jahr 2050 könnte mit Hilfe dieser neuen Systeme mehr zusätzliche Biomasse bereitgestellt werden, als es im Hoch-Szenario durch Flächenausdehnung und Intensivierung erreicht wird.

Die Tabelle 79 (oben) zeigt, welche Mengen an Biomasse für Biokraftstoffe übrig bleiben, abhängig von der jeweiligen Kombination aus Angebots- und Nachfrageszenarien. Welche der Biomasse-Angebotsszenarien dabei als „nachhaltig“ zu bezeichnen sind, hängt primär von dem gewählten Nachhaltigkeitskonzept und den betrachteten Systemgrenzen ab. Wir haben hier (und im Kapitel „Nachhaltigkeit“) drei Konzepte vorgestellt. Nach dem Konzept „Safe Operating Space“ mit besonderem Fokus auf den Erhalt der Biodiversität ist nur das Angebotsszenario Niedrig als nachhaltig einzustufen. Es besteht hier aber die Gefahr, dass eine nachhaltige Agrar- und Forstwirtschaft kontraproduktiv zu einer insgesamt nachhaltigen Entwicklung der Weltwirtschaft steht – wenn man für die stoffliche und energetische Nachfrage nicht massiv in andere Erneuerbare Energien und eine darauf basierende CO₂-Ökonomie investiert.

Nach anderen Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung im Agrarsektor (FAO und heute anerkannte Zertifizierungssysteme) können auch die Angebotsszenarien BAU und Hoch grundsätzlich nachhaltig gestaltet werden, allerdings kaum unter Erhalt der heutigen Biodiversität. Dafür können aber beide Angebotsszenarien – und damit die Bioökonomie als solche – deutlich zu einer nachhaltigen Entwicklung der Weltwirtschaft insgesamt und einer Minderung der Treibhausgasemissionen der Produkt- und Energiewirtschaft beitragen.

9.2 EU-27

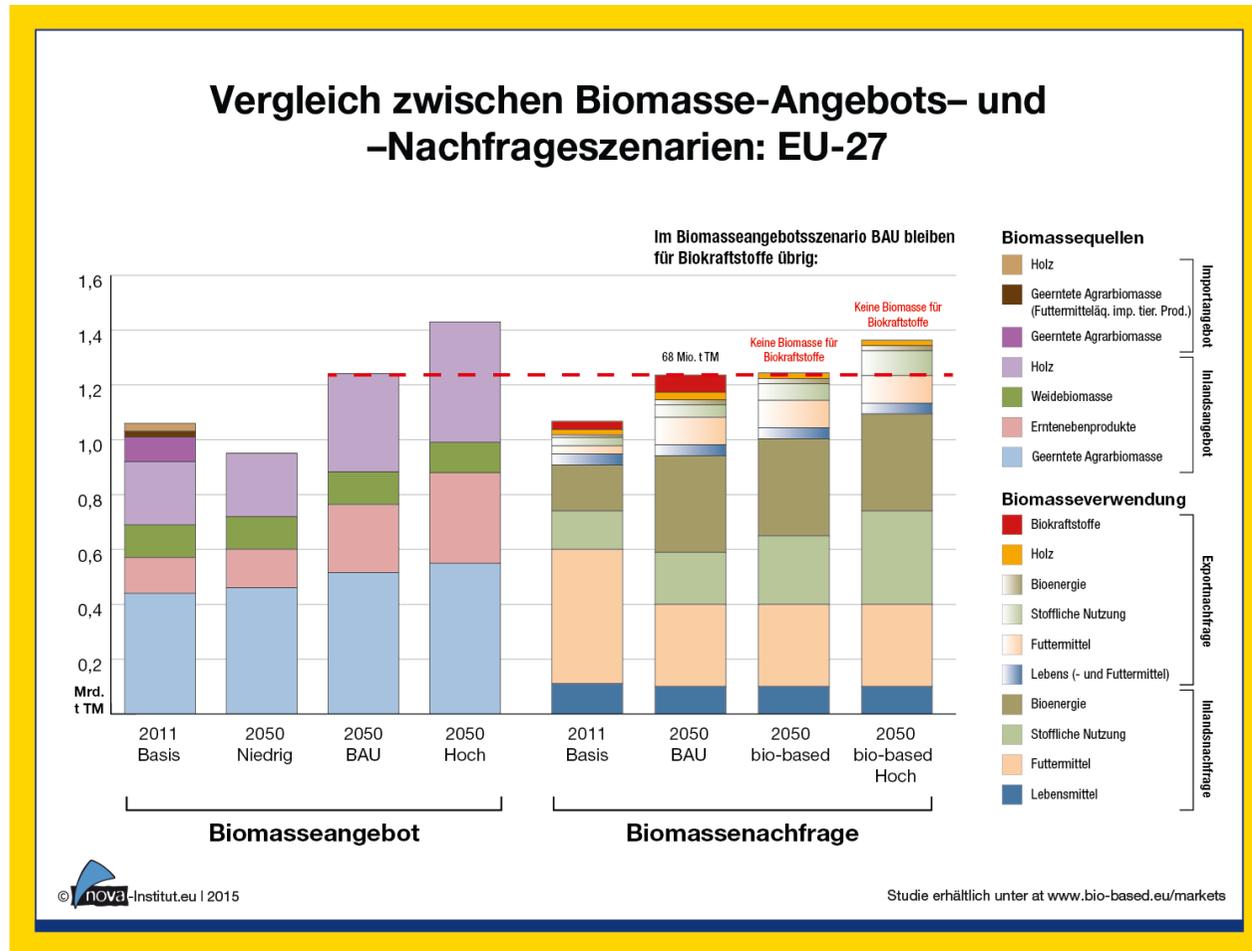


Abbildung 102: Vergleich zwischen Biomasse-Angebots- und -Nachfrageszenarien (nach Biomassequellen und -verwendung) (Quelle: eigene Darstellung)

Die Ergebnisse für Europa ähneln denen für die Welt (s.o.), abgesehen davon, dass die jeweiligen Spannbreiten sowohl des Angebots als auch der Nachfrage deutlich geringer ausfallen. Das liegt auf der einen Seite an einem geringeren Potenzial zur Ausdehnung der Ackerflächen als auch an der geringeren Steigerung der Nachfrage in einer vergleichsweise stark industrialisierten Gesellschaft mit hohem Lebensstandard. Den Ergebnissen wird als Annahme vorausgestellt, dass Europa exportorientiert bleibt und ein Rückgang der inländischen Nachfrage durch stärkere Exporte kompensiert wird.

Mit moderat wachsenden Agrarflächen und steigenden Erträgen wächst das Biomasseangebot im BAU-Szenario im Jahr 2050 gegenüber 2011 um ca. 30 % und im Hoch-Szenario mit Ausdehnung von Plantagenwald um ca. 40 %. Im Niedrig-Szenario, in dem es keine Flächenausdehnung und nur moderate Ertragssteigerungen gibt, ist das Biomasse-Angebot 2050 etwa auf dem Niveau von 2011.

Das Biomasse-Angebotsszenario Niedrig kann mit einheimisch produzierter Biomasse den Lebens- und Futtermittelbedarf Europas decken (zu einem höheren Anteil als weltweit), und das sogar für die Exportprodukte im Lebensmittelbereich. Die Nachfrage im stofflichen und energetischen Bereich kann nur durch steigende Importe gedeckt werden. Das einheimische Biomasse-Angebot Hoch kann in Europa die gesamte Nachfrage aller Sektoren decken. Dies lässt allerdings unberücksichtigt, dass für spezifische Inhaltsstoffe der Biomasse eine vollständige Importsubstitution nicht in jedem Fall möglich sein könnte.

Im BAU-Angebotsszenario zeigt sich, dass aufgrund des relativ geringen Importanteils im Verhältnis zur einheimisch produzierten Biomasse auch ohne Importe noch Biomasse für Biokraftstoffe übrig ist (ca. 68 Mio. t, Nachfrageszenario BAU). Diese könnte etwa zwei Drittel des Bedarfs an Biomasse für Biokraftstoffe von 90–120 Mio. t TM decken. In den Nachfrageszenarien „Bio-based“ und „Bio-based Hoch“ wäre dagegen das inländische Potenzial ohne zusätzliche Importe für Biokraftstoffe nicht ausreichend.

9.3 Deutschland

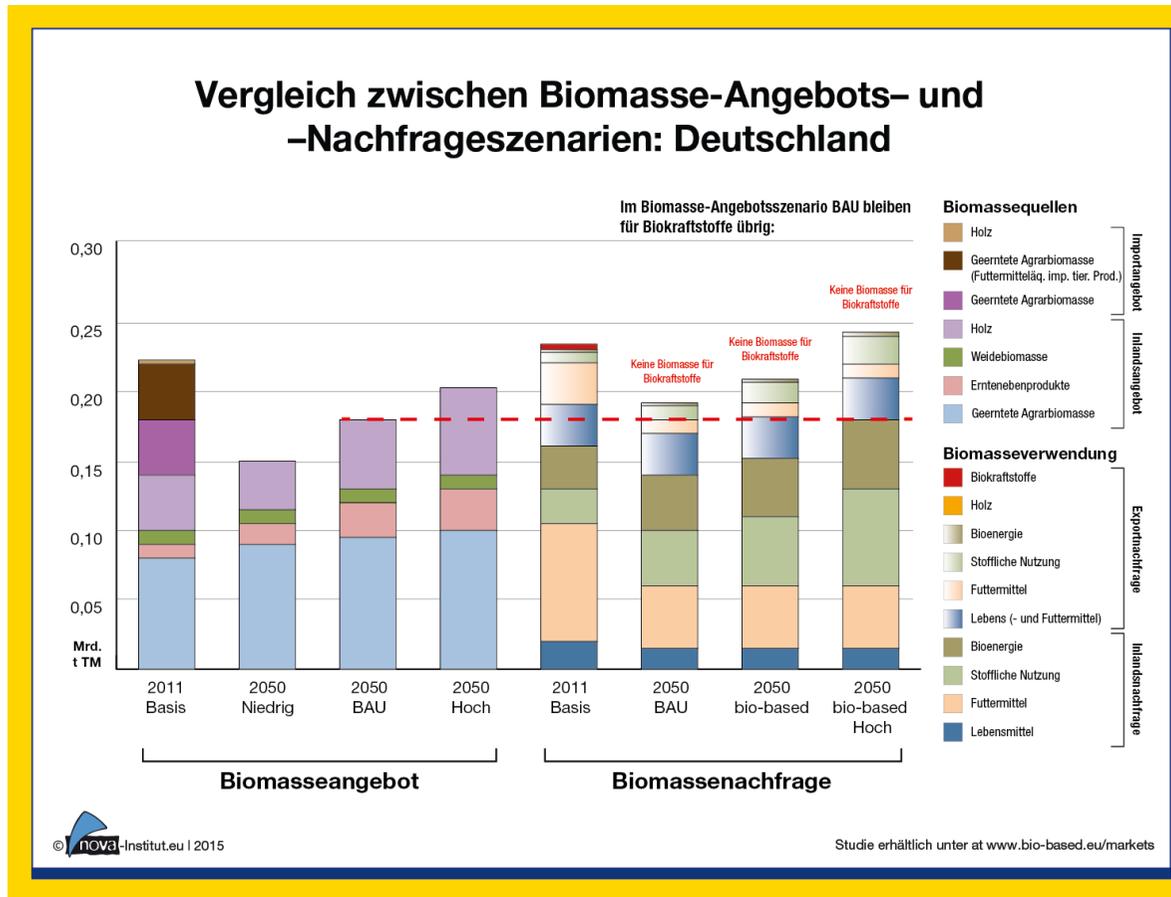


Abbildung 103: Vergleich zwischen Biomasse-Angebots- und -Nachfrageszenarien (nach Biomassequellen und -verwendung) (Quelle: eigene Darstellung)

Deutschland mit seiner starken Exportwirtschaft, die auch für das Jahr 2050 angenommen wird, zeigt eine im Vergleich zur EU-27 eine besonders hohe Importabhängigkeit von Biomasse. Selbst im Angebots- und Nachfrageszenario BAU kann Deutschland mit eigener Biomasse keine Biokraftstoffe produzieren und nicht einmal die anderen Sektoren vollständig versorgen. Dies gilt natürlich in noch stärkerem Maße für die höheren Nachfrageszenarien. Im Szenario „Bio-based Hoch“ müsste die gesamte Biomasse für die Produktion von Exportgütern in den Bereichen Lebens- und Futtermittel sowie Chemie importiert werden. Alternativ wäre es natürlich auch möglich, Biokraftstoffe auf Basis einheimischer Biomasse zu produzieren und dafür den Futtermittelbedarf durch Importe zu decken. Dies macht aber wenig Sinn: Zum einen würde dies nur durch fortwährende finanzielle Anreize für Biokraftstoffe möglich sein, zum anderen widerspricht dies der anlaufenden Proteinstrategie der Bundesregierung, die versucht, unabhängiger von proteinhaltigen Futtermittelimporten zu werden. Und dies aus gutem Grund, da Proteine zu den biogenen Rohstoffen gehören, die als erste knapp werden, weshalb sich eine Eigenversorgung empfiehlt. Zudem sind aus Sicht der Nachhaltigkeitsbewertung mit einigen biogenen Proteinquellen, insbesondere den Sojabohnen aus Südamerika, starke Landnutzungsänderungen mit all ihren negativen Konsequenzen für Klima und Biodiversität verbunden. Diesen Entwicklungen kann man mit einem höheren Grad der Selbstversorgung entgegentreten.

Die relativ knappen Biomassepotenziale in Deutschland sollten in erster Linie für hochwertige Lebens- und Futtermittel genutzt werden, um den Eigenbedarf und die Exportindustrie zu bedienen. Was dann übrig bleibt, sollte in die höchst mögliche Wertschöpfung der stofflichen Nutzung fließen, um hier Innovationen, Investitionen, Arbeitsplätze und Wertschöpfung zu erhalten und das Exportpotenzial für hochwertige Produkte nachhaltig zu nutzen. Die unterschiedlichsten Arten von Bioraffinerien können hierzu zum Einsatz kommen.

Nebenprodukte und Reststoffe der Agrar- und Forstwirtschaft und ihrer Folgeprozesse können über Verbrennung und Vergärung (Biogas) energetisch genutzt werden. Auch Bioraffinerien werden neben den stofflichen Hauptprodukten der Chemie energetisch nutzbare Nebenströme aufweisen.

Für die Produktion von Biokraftstoffen muss unter den gegebenen Annahmen Biomasse auf den Weltmärkten eingekauft werden. Kostengünstiger könnte es sein, direkt die Biokraftstoffe zu importieren. Es stellt sich für das Jahr 2050 allerdings die Frage, welche Rolle Biokraftstoffe in Konkurrenz zu elektrischen Antrieben und solaren Kraftstoffen (Power-to-liquid) überhaupt noch spielen werden. Da spezielle Anreizsysteme, die Biokraftstoffe gegenüber den genannten Alternativen ökonomisch attraktiv machen, in Zukunft unwahrscheinlich sind, wird dies vor allem eine Frage der Produktions- und Rohstoffkosten sein. Eine solche ökonomische Analyse war im Rahmen dieser Studie nicht möglich und es ist auch fraglich, ob dies angesichts des Zeithorizonts bis zum Jahr 2050 und ökonomischen Unwägbarkeiten überhaupt möglich ist. Bei der Tendenz zu steigenden Biomassepreisen auf der einen und den fortschreitenden Kostensenkungen bei Solar- und Windenergie, elektrischen Antrieben und Solarkraftstoffen (Power-to-liquid) auf der anderen Seite, halten es die Autoren allerdings für wahrscheinlich, dass Biokraftstoffe bis 2050 kaum noch konkurrenzfähig sein werden.

9.4 Ausblick auf zukünftige Trends und Entwicklungen

Die im Kapitel Zukunftstrends beschriebenen Optionen gehen über die bisher beschriebenen und im Detail ausgearbeiteten Szenarien weit hinaus. Obwohl global gesehen bereits im BAU-Szenario keine wirklichen Engpässe auftreten, kann das Biomasse- bzw. Erneuerbare-Kohlenstoff-Angebot durch die beschriebenen neuen Technologien und Systemoptimierungen – die bei geringerem Input einen höheren Output und gleichzeitig reduzierte Umweltbelastungen erlauben – stark weiter ausgebaut werden, so dass bis 2050 Engpässe weitgehend ausgeschlossen werden können: Begrünung der Wüste mit solar gewonnenem Tiefenwasser und Süßwasser aus Meerwasserentsalzung, Einführung neuer salz- und hitzeresistenter Kulturpflanzen, großflächigem Makroalgenanbau auf dem offenen Meer, bedarfsgerechte Düngung, Pflanzenschutz und Bewässerung durch „Precision Farming“, optimierte Rotation und Kombination von Kulturpflanzen, Bodenverbesserung, moderne Pflanzenzüchtung und vieles mehr können dazu einen Beitrag leisten.

Da die neuen Technologien sowohl neue Flächen erschließen als auch die vorhandenen Flächen effizienter nutzen, wird der Druck auf naturnahe Flächen, Schutzgebiete und auch Biodiversität deutlich sinken. Gleichzeitig kann die Kreislaufwirtschaft mit stark ausgebautem Recycling und Kaskadennutzung, die weitere Reduzierung von Verlusten in der Agrar- und Nahrungskette sowie die effizientere Produktion tierischer Proteine (Insekten) die Nachfrage nach frischer Biomasse trotz wachsender Bevölkerung reduzieren.

Hinzu kommen neue Möglichkeiten zur Nutzung der immer preiswerter werdenden Solar- und Windenergie, die nicht mehr nur Strom und Wärme bereitstellen, sondern auch aus Wasser und CO₂ Kraftstoffe und Rohstoffe für die Chemie produzieren und das mit hoher Flächeneffizienz (CO₂-Ökonomie). Rechnerisch könnte der weltweite Bedarf der organischen Chemie im Jahr 2050 so beispielsweise von weniger als 2 % der Wüstenflächen mittels CO₂-Ökonomie gedeckt werden.

Insgesamt bedeutet das, dass zukünftig der Widerspruch zwischen Schaffung und Erhalt großer Schutzzonen und natürlicher Flächen und gleichzeitig einer deutlich erhöhten Produktion an Biomasse und anderen Formen erneuerbarer Kohlenstoffträger dauerhaft überwunden werden kann. Bioökonomie und Erneuerbare Energien in Verbindung mit einer CO₂-Ökonomie sind in der Lage, die Rohstoffversorgung der Welt langfristig und nachhaltig sicher zu stellen, ohne die Natur und Biodiversität zu gefährden. Hierfür sind allerdings konsequente politische Weichenstellungen und enorme Investitionen in diese neuen Technologien notwendig.

Die Bioökonomie kann, eingebettet in die richtige Gesamtstrategie mit Erneuerbaren Energien und in Verbindung mit einer CO₂-Ökonomie, einen wichtigen Beitrag zu einer weltweit nachhaltigen Entwicklung leisten.

Anhang I: Jährliches Wachstum von Faser- und Textilverbrauch – 2011 bis 2050

I.1 Status quo – Faserverbrauch 2011

Industriell genutzte Fasern lassen sich in zwei große Gruppen einteilen: Naturfasern und Kunstfasern. Letztere sind Fasern, deren chemische Zusammensetzung, Struktur und Eigenschaften während des Herstellungsprozesses signifikant verändert werden. Sie können wiederum in zwei Untergruppen eingeteilt werden: Cellulosefasern, die aus natürlich vorkommenden Cellulosepolymeren hergestellt werden, wie z. B. Viskose und Lyocell, sowie synthetische Fasern, die aus chemisch hergestellten Polymeren auf Basis von Erdöl oder Gas hergestellt werden, wie z. B. Nylon oder Polypropylen. Synthetische Fasern können allerdings auch bio-basiert sein, wenn sie mit chemischen oder biotechnologischen Prozessen aus Biomasse hergestellt werden, wie z. B. Milchsäurefasern.

Naturfasern können tierischen, pflanzlichen oder mineralischen Ursprungs sein. Pflanzenfasern werden weiterhin nach den Pflanzenteilen klassifiziert, aus denen sie gewonnen werden; so gibt es Samenfasern (z. B. Baumwolle), Fruchtfasern (z. B. Kokos), Blattfasern (z. B. Sisal, Abaca, Banane), Stiefasern (z. B. Bambus) oder Bastfasern (z. B. Jute, Hanf, Flachs, Kenaf). Wolle und Seide sind typische Beispiele für tierische Fasern.

2011 wurden weltweit insgesamt 82 Millionen Tonnen Fasern verbraucht. Abbildung I.1 stellt die Verteilung zwischen Synthetik-, Cellulose- und Naturfasern dar. Absolut bedeutet dies einen Verbrauch von 48 Millionen Tonnen Synthetikfasern, 5 Millionen Tonnen Cellulosefasern und 30 Millionen Tonnen Naturfasern.

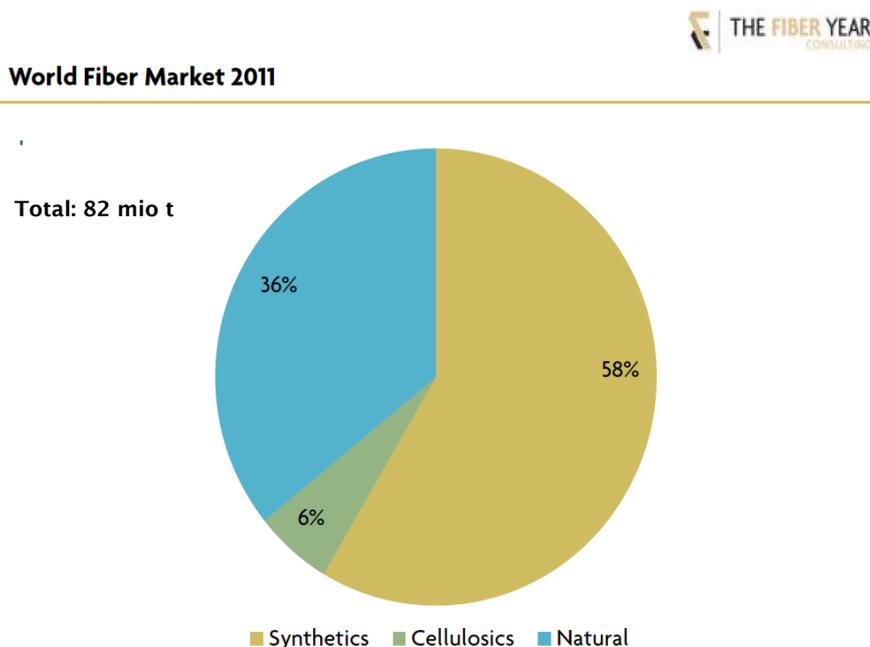


Abbildung I.1: Weltfasermarkt 2011, Anteile von Synthetik-, Cellulose- und Naturfasern (Quelle: The Fiber Year 2012)

Die genauere Untersuchung der verschiedenen Kunstfaserarten zeigt eine sehr dominante Rolle des Polyesters. Mit 39 Millionen Tonnen, entfallen 74 % des Verbrauchs von Kunstfasern im Jahr 2011 auf diese Faser. Es ist bemerkenswert, dass die Cellulosefasern mit einem Verbrauch von 5 Millionen Tonnen bereits die zweiwichtigste Gruppe von Kunstfasern sind.



World Manmade Fiber Market 2011 by Fiber

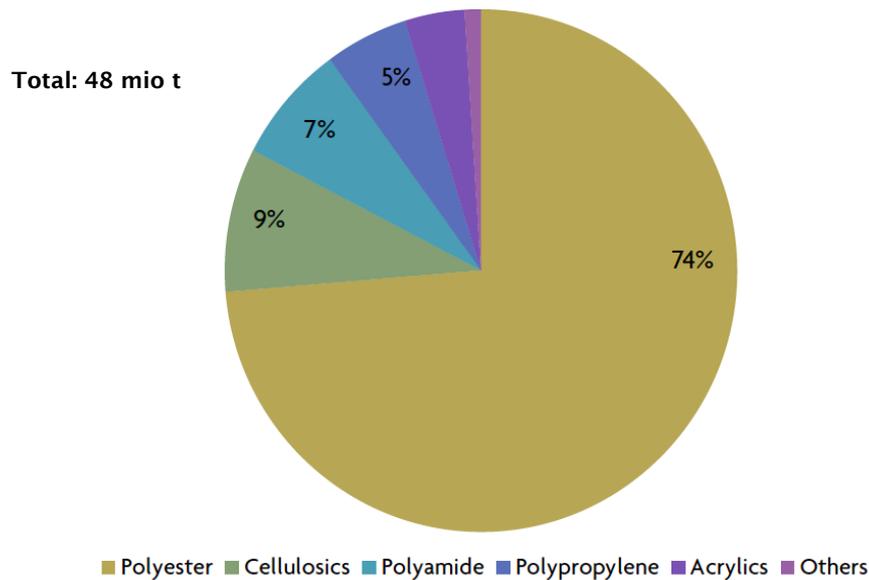


Abbildung I.2: Weltweiter Kunstfasermarkt 2011 nach Fasertyp (Quelle: The Fiber Year 2012)

Kunstfasern spielen bei einer Vielzahl von Anwendungen und Marken eine Rolle. Die nachstehende Tabelle soll einen Überblick geben und stellt auch die Markennamen dar, da diese oft bekannter sind als die Polymere:

Tabelle I.1: Kunstfasern nach Fasergruppe, Polymeren und Marken (Quelle: eigene Darstellung)

| Fasergruppe | Polymer | Marke (Bsp.) |
|--|------------------------|---|
| Synthetische Kunstfasern, fossilbasiert | Acryl | Dralon [®] , Orlon [®] |
| | Polyamid | Nylon, Perlon [®] |
| | Polyester | Diolen [®] , Trevira [®] (also PET is a polyester) |
| | Polyethylen | Dyneema [®] |
| | Polyphenylsulfid | Procon [®] , Torcon [®] |
| | Polypropylen | asota [®] |
| | Polytetrafluorethylen | Teflon [®] |
| | Polyurethan / Elastane | Lycra [®] , Dorlastan [®] |
| Synthetische Kunstfaser, bio-basiert | Polylactid | Ingeo [®] |
| Cellulosekunstfaser | Acetat | Rhodia [®] |
| | Lyocell | Tencel [®] |
| | Modal | Lenzing Modal [®] |
| | Viskose | Cordenka [®] |

Unter den Naturfasern ist Baumwolle mit Abstand die bedeutendste Faser, was die Marktanteile angeht, wie die untenstehende Abbildung zeigt. 2011 entfielen 80 % des weltweiten Naturfaserverbrauchs auf Baumwolle, was einer absoluten Menge von 24 Millionen Tonnen entspricht. Der Verbrauch von Wolle lag bei 1,2 Millionen Tonnen, was einem Anteil von 4 % der weltweiten Naturfaserverbrauchs entspricht. Die restlichen 16 % entfielen auf alle anderen Naturfasern (Jute, Kenaf, Flax, Hanf, Sisal, Kokos...), was einer Menge von 4,8 Millionen Tonnen entspricht.

Natural Fibers Share 2011

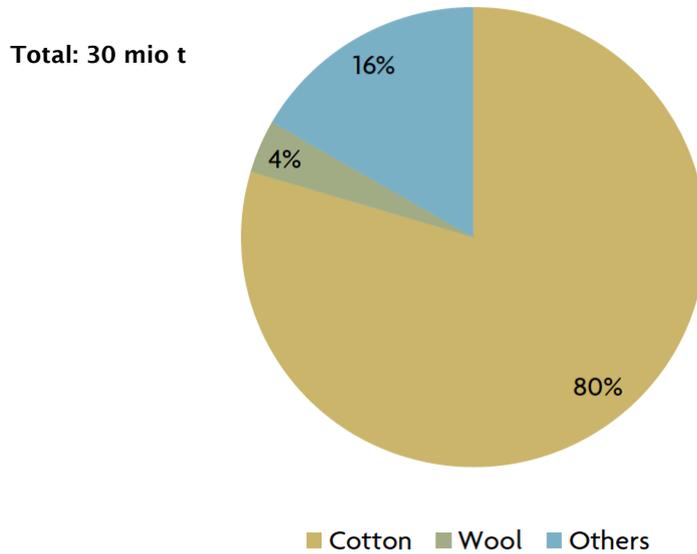


Abbildung I.3: Anteile der Naturfaserarten 2011 (Quelle: The Fiber Year 2012)

I.2 Entwicklung der Fasermärkte bis 2011

Der Markt für Fasern und Textilien ist über die letzten Jahrzehnte stetig gewachsen, wie aus der folgenden Grafik hervorgeht:

World Fiber Consumption

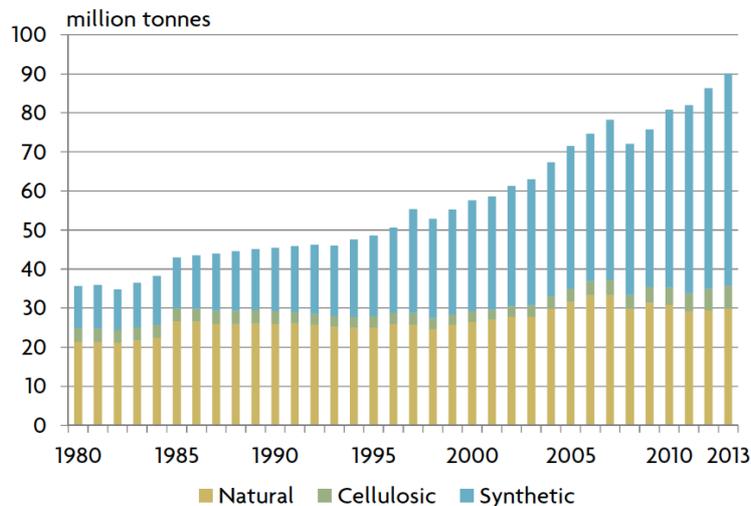


Abbildung I.4: Weltweiter Faserverbrauch 1980 – 2013 (Quelle: The Fiber Year 2014)

Bis auf die beiden Ausnahmen nach der globalen Finanzkrise 2008 und gegen Ende der 1990er, ist der weltweite Faserverbrauch kontinuierlich gestiegen. Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate liegt zwischen 1980 und 2013 bei 3 %. Dies liegt vor allem am rapiden Zuwachs der Kunstfasern. Der Marktanteil der Naturfasern sinkt seit Jahrzehnten. Interessanterweise waren die Cellulosefasern in der Lage, ihren Marktanteil zu stabilisieren und dann wieder signifikant zu vergrößern, nachdem sie zwischen den 1960ern und den 1990ern gegenüber den synthetischen Fasern stark an Marktanteilen verloren hatten:

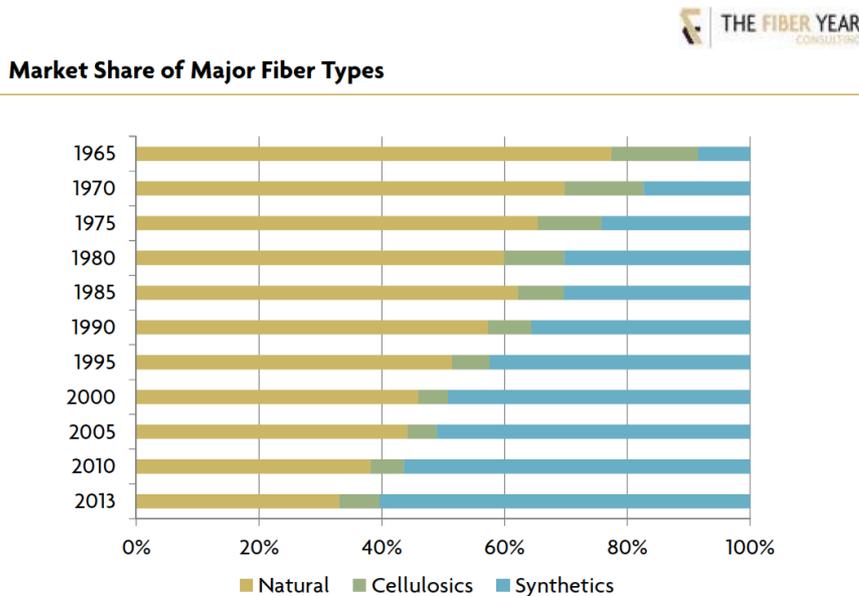


Abbildung I.5: Marktanteile der wichtigsten Faserarten 1965 – 2013.
(Quelle: The Fiber Year 2014)

Auch der Blick auf die absoluten Zahlen der Naturfasern bestätigt die Stagnation. Abbildung I.6 zeigt einen Vergleich der Produktionsmengen von Baumwolle, Rohwolle, anderen Naturfasern und Kunstfasern von 1981 bis 2013, bei dem alle Naturfasern mehr oder weniger gleich bleiben. Zu Beginn der 2000er konnte die Baumwolle einen kleinen Zuwachs der Produktionsmenge verzeichnen. Seitdem gab es allerdings keine signifikanten Veränderungen mehr, wohingegen die Kunstfasern kontinuierlich steigen.

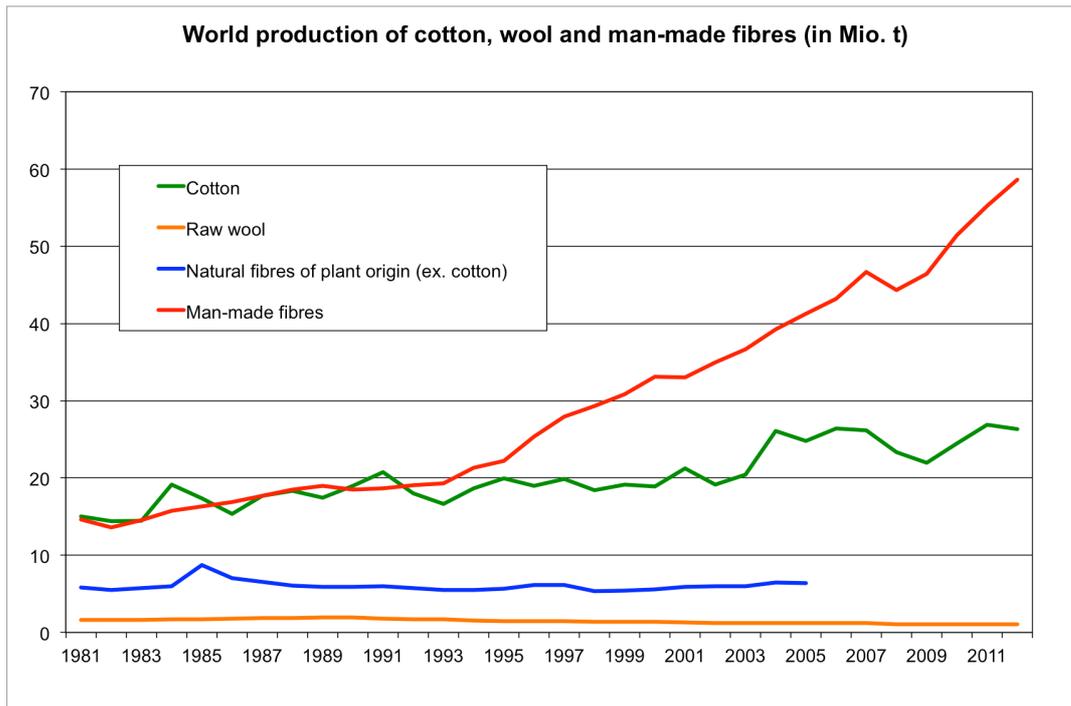
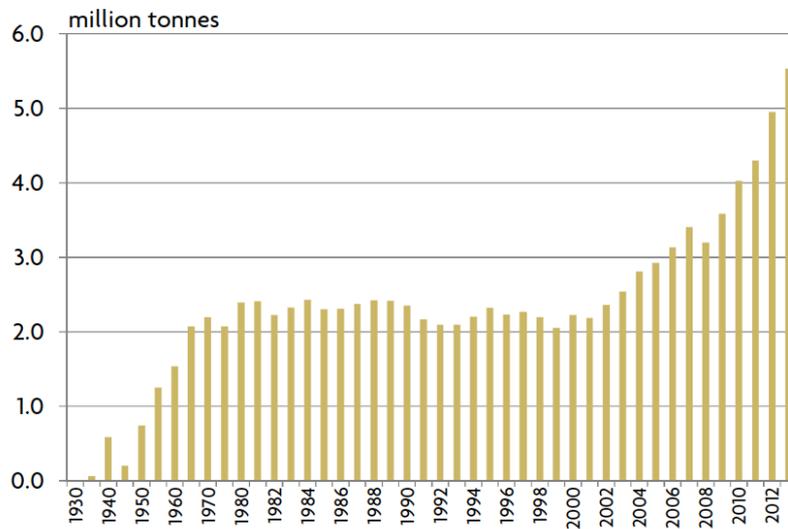


Abbildung I.6: Weltweite Produktion von Baumwolle, Wolle, Naturfasern und Kunstfasern 1981—2013 (Quelle: CIRFS 2014)

Die Zahlen zu Cellulosefasern, die bio-basiert sind, obwohl sie auch zu den Kunstfasern gehören, malen hingegen ein ganz anderes Bild. Vor allem in den letzten Jahren konnten diese Fasern ein starkes Wachstum verzeichnen. Zwischen 1980 und 2013 lag die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate bei 3 %, also im gleichen Rahmen wie das Wachstum aller Fasern zusammen. Schaut man sich jedoch die jüngeren Zahlen an, sind die Wachstumsraten deutlich größer: Zwischen 1990 und 2013 liegt das durchschnittliche jährliche Wachstum bei 4 %, und zwischen 2000 und 2013 liegt es sogar bei 7 %.⁷

⁷ Die Einbeziehung von Tencel Fasern ab 2002 sorgt natürlich für ein deutlich stärkeres Wachstum ab diesem Zeitpunkt. Doch selbst wenn dieser Faktor berücksichtigt wird, belegen die Zahlen immer noch ein solides und beeindruckendes Wachstum.

Cellulosic Staple Fiber Production



* since 2002 with TENCEL® included

Abbildung I.7: Produktion von Cellulosefasern 1930-2010 (Quelle: The Fiber Year 2014)

Die Vliesstoffe können von allen Textilien die stärksten Wachstumsraten der letzten Jahrzehnte vorweisen. Diese Materialien werden aus Fasern hergestellt, die mechanisch, thermisch oder chemisch verbunden werden. Sie werden weder gewoben noch gestrickt (deswegen auch “non-wovens” genannt), sodass die Fasern vor der Verarbeitung nicht zu Garn umgewandelt werden müssen – was den Herstellungsprozess deutlich einfacher und günstiger macht. Die Anwendungen für diese Vliesstoffe sind zahlreich.

Nach einer kurzen Abschwächung im Jahr 2008 und dem darauf folgenden wieder erstarkten Wachstum, lag die weltweite Produktionsmenge von Vliesstoffen 2013 bei 10,7 Millionen Tonnen, was einem Wachstum von 7,5 % im Vergleich zum Vorjahr entspricht. Das Wachstum bezogen auf die Fläche an produziertem Material war sogar noch größer, da neue Technik ein reduziertes Flächengewicht ermöglichte. Dies reduzierte auch den Verbrauch an Rohstoffen und ebnete den Weg für Produktinnovationen, insbesondere bei Hygieneprodukten (The Fiber Year 2014).

Die Volumina in Abbildung I.8 beinhalten Vliesstoffe, Hygieneprodukte, Füllmaterialien für Schlafsäcke, Kissen und Matratzen, Dämmstoffe der Automobilindustrie, Füllmaterial für Baustrukturen sowie Zigarettenfilter.

World Nonwovens and Unspun Production

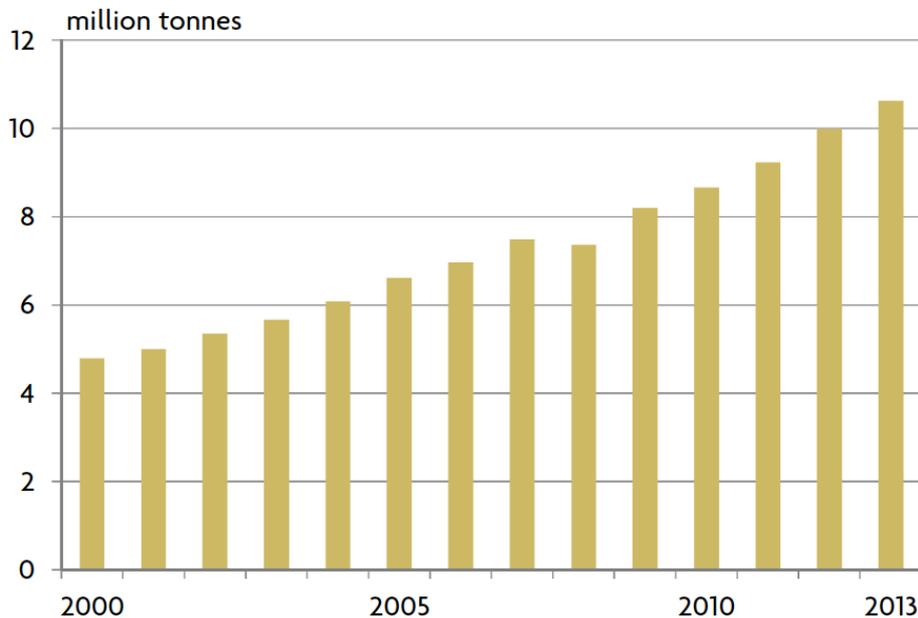


Abbildung I.8: Weltweite Produktion von Vliesstoffen 2000 – 2013 (Quelle: The Fiber Year 2014)

I.3 Entwicklungen des Fasermarkts bis 2050 – Ausblick und Szenarien

Im Einklang mit der Methode des gesamten Projekts, wird in diesem Teil zuerst das Wachstum des gesamten Fasermarkts abgeschätzt. In einem zweiten Schritt werden zwei verschiedene Szenarien für die Anteile von bio-basierten Materialien an diesem Gesamtmarkt berechnet (ein BAU Szenario und ein bio-basiertes Szenario).

Im Hinblick auf das Wachstum des Gesamtmarkts wurden einige Quellen hinzugezogen, um eine Vorhersage für die Entwicklung bis 2050 treffen zu können. Abbildung I.9 zeigt die regional differenzierten Wachstumserwartungen bis 2020, die von „The Fibre Year“ berechnet wurden, und Tabelle I.2 präsentiert eine Zusammenfassung verschiedener Marktprojektionen aus unterschiedlichen Studien.

Regional Fiber Consumption in Textiles and Clothing, 2005 - 2020

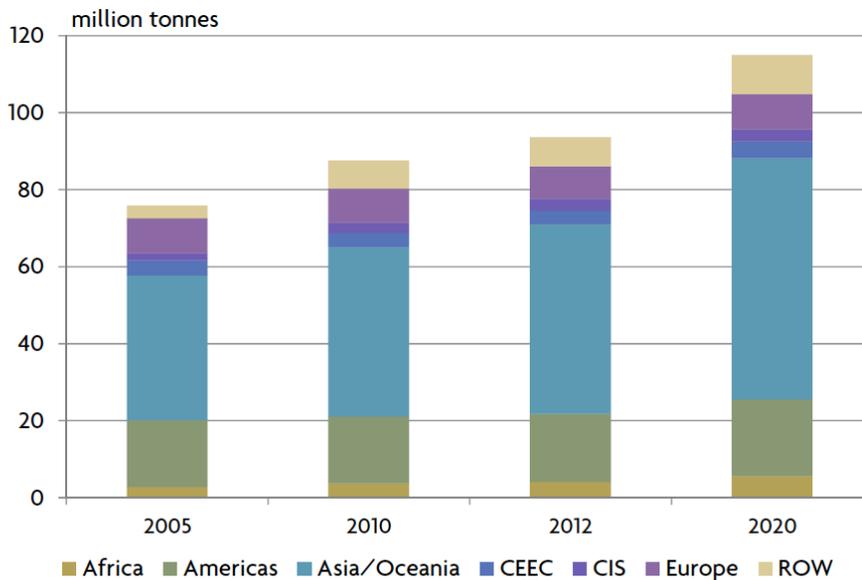


Abbildung I.9: Wachstumsprojektion für den Textilmarkt 2005 – 2020 nach Regionen (Quelle: The Fiber Year 2014)

Tabelle I.2: Marktprojektionen für den Faser- und Textilmarkt (Quelle: eigene Darstellung)

*Näheres zu Freedonia 2013 in Kapitel 6.2.1.3)

| Marktsegment | Wachstum | Zeitraumen | Region |
|------------------------------------|------------|-------------|--|
| Textilien, Kleidung und Luxuswaren | 4.2 %/Jahr | bis 2016 | Weltweit (reportlinker 2012) |
| Technische Textilien | 20 %/Jahr | bis 2016 | Indien (Economic Times India 2014) |
| Fasern | 5 %/Jahr | ? | China (The Fiber Year 2014) |
| Technische Textilien | 3.3 %/Jahr | bis 2018 | Weltweit (Transparency Market Research 2013) |
| Textilien und Kleidung | 3 %/Jahr | 2005 - 2020 | Weltweit (The Fiber Year 2014) |
| Vliesstoffe | 5.4 %/Jahr | bis 2017 | Weltweit (Freedonia 2013) |
| Vliesstoffe | 5.7 %/Jahr | 2011 - 2016 | USA (Freedonia 2013) |
| Vliesstoffe | 7.2 %/Jahr | bis 2017 | Entwicklungsregionen (Freedonia 2013) |
| Bodenbeläge und Teppich | 4.9 %/Jahr | bis 2016 | Weltweit (Freedonia 2013) |

Die vorhergesagten Wachstumsraten unterscheiden sich stark von Studie zu Studie und liegen zwischen 3 % und 20 %, auch abhängig vom spezifischen Marktsegment und dem regionalen Fokus. Insbesondere für Vliesstoffe, technische Textilien und Luxusprodukte wird ein sehr starkes Wachstum erwartet, und das besonders für die aufstrebenden wirtschaftlichen Giganten Indien und China. Da die anderen Marktsektoren deutlich schwächer wachsen werden und da diese Marktvorhersagen maximal bis 2020 gehen, **nehmen wir für unsere Zwecke eine konservative Wachstumsrate von 3 % Gesamtwachstum für den Faser- und Textilsektor zwischen 2011 und 2050 an.** Während Cellulosefasern und Vliesstoffe deutlich stärker wachsen werden, wird die Entwicklung bei Baumwolle und traditionellen Textilien signifikant langsamer sein.

Mit einer jährlichen Wachstumsrate von 3 %, wird der Gesamtkonsum an Fasern im Jahr 2050 bei **270 Millionen Tonnen**. Die Verteilung dieser 270 Millionen Tonnen auf die unterschiedlichen Faserarten in den zwei Szenarien basiert auf den folgenden **Annahmen**:

- Die Anbaufläche für Baumwolle wird weltweit nicht mehr ausgeweitet, durch Ertragssteigerungen wird sich die absolute Produktionsmenge leicht erhöhen. Andere Naturfasern werden sowohl ihre Fläche als auch ihre Ertragseffizienz steigern.
- Bio-basierte Polymerfasern werden momentan entwickelt; zur Zeit sind sie noch nicht signifikant auf dem Markt vertreten, aber für 2050 wird dies erwartet.
- Dem bio-basierten Szenario liegt vor allem die Annahme zugrunde, dass Umweltfaktoren, und insbesondere die Verschmutzung durch Mikropartikel, die Nutzung von bio-basierten Polymeren und Cellulosefasern für Textilien begünstigt.

Diese Annahmen führen zur folgenden Verteilung der verschiedenen Faserarten über den Gesamttextilkonsum 2050:

Tabelle I.3: Faserkonsum nach Faserart 2050, BAU und bio-basiertes Szenario (Quelle: eigene Darstellung)

| Fasern | 2011 (Mio t) | 2013 (Mio t) | 2050 (BAU, Mio t) | 2050 (bio-basiert Mio t) |
|--|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|---|
| Wolle | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Baumwolle | 24 | 24 | 28 | 30 |
| Naturfasern (excl. Wolle & Baumwolle) | 5 | 5 | 10 | 20 |
| Cellulosefasern | 5 | 6 | 36 | 84 |
| Fossil-basierte Polymere | 48 | 54 | 180 | 105 |
| Bio-basierte Polymere | 0 | 0 | 15 | 30 |
| Total | 83 | 90 | 270 | 270 |

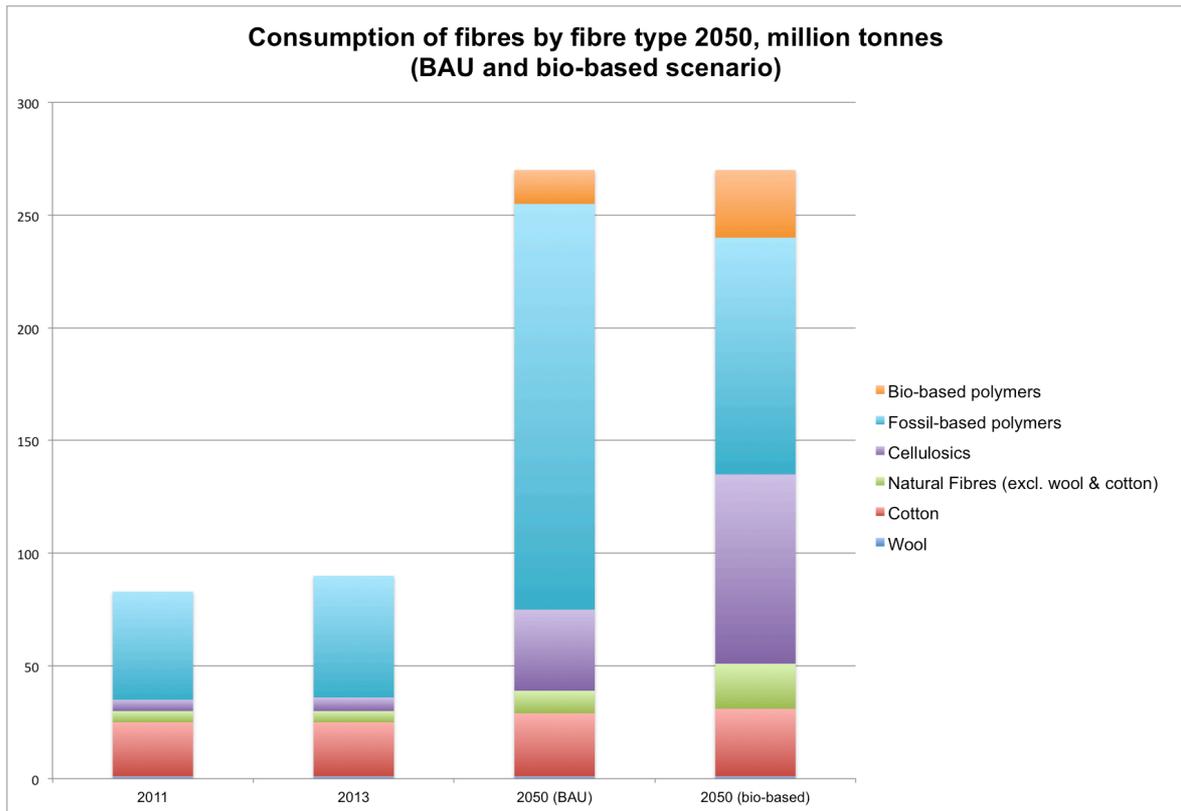


Abbildung I.10: Faserkonsum nach Faserart 2050, BAU und bio-basiertes Szenario (Quelle: eigene Darstellung)

Anhang II: Wachstum der weltweiten Kunststoffnachfrage in der Automobilindustrie

Um die Nachfrage nach Kunststoffen in der Automobilindustrie im Jahr 2050 abzuschätzen, wurde ein einfaches Modell entwickelt, das auf Basis der Produktion an Personenkraftfahrzeugen (PKW), deren Gewicht und durchschnittlichem Kunststoffanteil die Abschätzung der Nachfrage in der Automobilindustrie in den Jahren 2011 und 2050 ermöglicht. Gewerbliche Kraftfahrzeuge (KFZ) wie Lastkraftwagen (LKW), Busse sowie Motorräder und Roller werden im Folgenden nicht berücksichtigt.

II.1 Weltweite Produktion an Kraftfahrzeugen (KFZ) und insbesondere Personenkraftwagen (PKW)

Im Jahr 2011 waren weltweit 1,097 Milliarden KFZ in Nutzung (OICA 2013). Mit 805 Millionen KFZ machen PKW den größten Anteil am Markt der Automobilindustrie aus. 292 Millionen KFZ entfallen auf gewerbliche Fahrzeuge (OICA 2013). Die folgende Abbildung zeigt die weltweit genutzten KFZ nach Region und Typ im Jahr 2011.

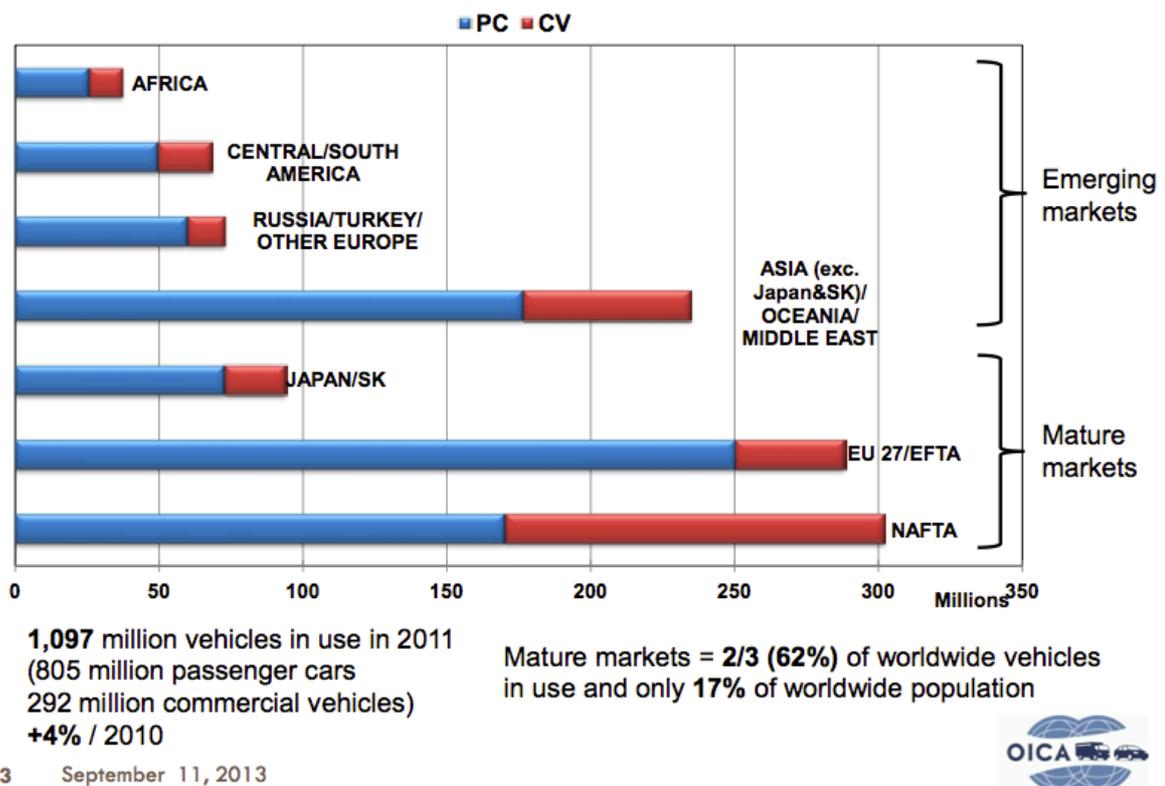


Abbildung II.1: Anzahl der weltweit in Nutzung befindlichen Kraftfahrzeuge nach Region und Typ im Jahr 2011 (Quelle: OICA 2013)⁸

⁸ PC = Passenger Cars | CV = Commercial Vehicles

Die Anzahl der KFZ ist weltweit ungleichmäßig verteilt. In den voll entwickelten Märkten der Europäischen Union (EU), des Nordamerikanischen Freihandelsabkommens (NAFTA) sowie Japan und Südkorea besitzen 17 % der Weltbevölkerung rund 62 % aller KFZ in Nutzung (OICA 2013). Der Motorisierungsgrad, das Verhältnis zwischen der Anzahl an KFZ und Einwohnern in einem bestimmten Gebiet, liegt in den Ländern der EU und NAFTA bei 559 und 644 KFZ pro 1000 Einwohnern. In Japan und Südkorea liegt der Motorisierungsgrad bei 534 KFZ pro 1000 Einwohner. Im Gegensatz dazu ist der Motorisierungsgrad auf anderen Kontinenten der so genannten Zukunftsmärkte („emerging markets“) deutlich geringer. In Südamerika beträgt diese Ziffer 142 KFZ pro 1000 Einwohner, in Asien, Ozeanien und dem Nahen Osten beträgt die Motorisierungsrate 62 KFZ pro 1000 Einwohner und in Afrika sind es nur 41 KFZ pro 1000 Einwohner.

Die Anzahl der produzierten KFZ lag 2011 weltweit bei etwa 80 Millionen Einheiten (OICA 2014). Davon entfallen rund 60 Millionen Einheiten auf PKW und 20 Millionen Einheiten auf gewerbliche Fahrzeuge wie LKW und Busse. Der Anstieg der Kraftfahrzeugzahlen im Zeitraum von 2010 bis 2011 betrug weltweit vier Prozent (OICA 2013). Der Motorisierungsgrad in den Regionen der NAFTA, der EU sowie Japan und Südkorea stieg im Zeitraum von 2005 bis 2011 nur moderat um zwei bis fünf Prozent. Im gleichen Zeitraum stieg der Motorisierungsgrad in den Zukunftsmärkten Mittel- und Südamerika um 36 % sowie in Asien, Ozeanien und dem Mittleren Osten sogar um 68 %. Prognosen über die zukünftige Entwicklung der Automobilindustrie liefern zahlreiche Studien, deren Ergebnisse in der folgenden Abbildung zusammengefasst sind.

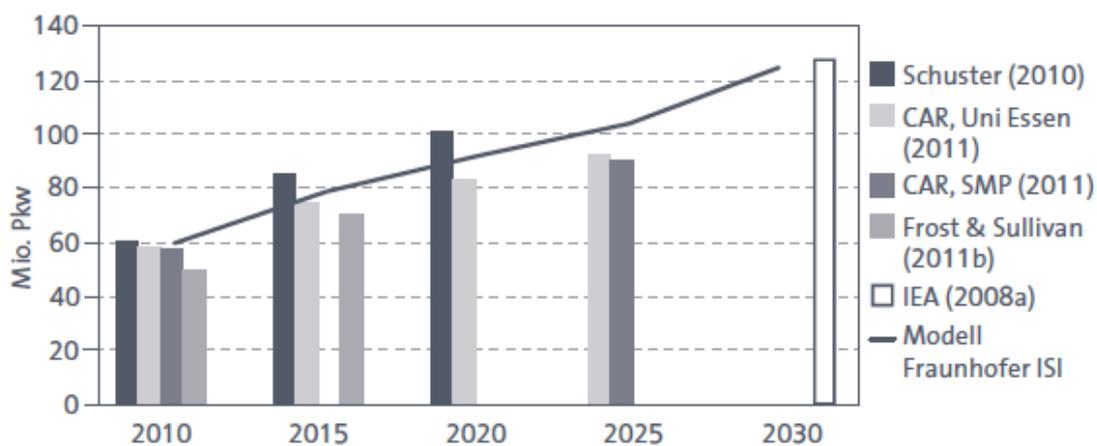


Abbildung II.2: Wachstumsprognosen der weltweiten PKW-Produktion (Quelle: Schade et al. 2012)

Schade et al. (2012) untersuchten die Prognosen über den Wachstum der globalen PKW-Herstellung zahlreicher Autoren. Frost & Sullivan (2011) gehen demzufolge davon aus, dass im Jahr 2015 etwa 75 Millionen PKW hergestellt werden. Wissenschaftler von Fraunhofer ISI (2012) erwarten bis zum Jahr 2030 eine PKW-Produktion von etwa 130 Millionen PKW. Das entspricht einer jährlichen Wachstumsrate von 3,7 % bezogen auf das Jahr 2010. Je nach betrachteten Zeiträumen und Studien liegt das jährliche Wachstum der produzierten Stückzahlen von PKW weltweit zwischen 2,7 und 6,6 %.

In der vorliegenden Studie wird von einer durchschnittlichen Steigerung der PKW-Produktion um 3 % pro Jahr für den Zeitraum von 2011 bis 2050 ausgegangen. Das bedeutet, dass die Anzahl der hergestellten PKW von 60 Millionen Einheiten im Jahr 2011 auf 221 Millionen Einheiten im Jahr 2050 ansteigt und sich damit mehr als verdreifacht.

II.2 Kunststoffanteil und Gewicht von PKW

Die Materialzusammensetzung von PKW unterscheidet sich von Modell zu Modell. Aufschluss über den Anteil von Kunststoffen im KFZ liefern Durchschnittswerte von Fahrzeugklassen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die durchschnittliche Materialzusammensetzung von Automobilen der Mittelklasse.

Tabelle II.1: Durchschnittliche Materialzusammensetzung von Automobilen der Mittelklasse (Quelle: CHEManager Europe 2013)

| Material | Durchschnittlicher Anteil in Prozent |
|--------------------|--------------------------------------|
| Metalle gesamt | 74 % |
| Kunststoffe | 12 % |
| Elastomere | 5 % |
| Glas | 3 % |
| Flüssigkeiten | 3 % |
| Andere Materialien | 3 % |
| Summe | 100 % |

Der durchschnittliche Anteil von Kunststoffen am Gesamtgewicht von PKW der Mittelklasse liegt bei circa 12 % (CHEManager Europe 2013). Der größte Anteil entfällt mit 74 % auf Metalle. Daneben entfallen kleinere Anteile auf Elastomere (5 %), Glas (3 %) und Flüssigkeiten (3 %) sowie andere Materialien (3 %).

Als typisches Beispiel für einen PKW der Mittelklasse kann der Golf VII aus dem Jahr 2013 herangezogen werden. Das Gewicht der darin eingebauten Kunststoffe entspricht circa 142 Kilogramm und damit etwa 10 % des Gesamtgewichts (Plastics 2013). Die vom Gewicht her wichtigsten Anteile entfallen auf Polypropylen (PP) mit 5,08 %, Polyurethan (PU) mit 1,67 % und Polyamid (PA) mit 1,02 %. Weitere im Golf VII enthaltene Kunststoffe sind unter anderem Polyethylen (PE), Polycarbonat (PC) und Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS).

Die Zusammensetzung der Materialien im PKW hat sich aufgrund des Trends zum Leichtbau verändert. Im Zeitraum von 1975 bis 2000 ist der Anteil an Stahl im PKW von 75 % auf 59 %, der Anteil aller Metalle zusammen (Stahl, Aluminium und andere Metalle) von 82 % auf 72 % gesunken (van de Sand et al. 2007). Im gleichen Zeitraum stieg der Anteil von Kunststoffen von 6 % auf 14 %. Dies entspricht einem jährlichen Wachstum von 3,4 %. In der folgenden Abbildung ist die Veränderung der Materialzusammensetzung im Automobil im Zeitraum von 1975 bis 2000 dargestellt.

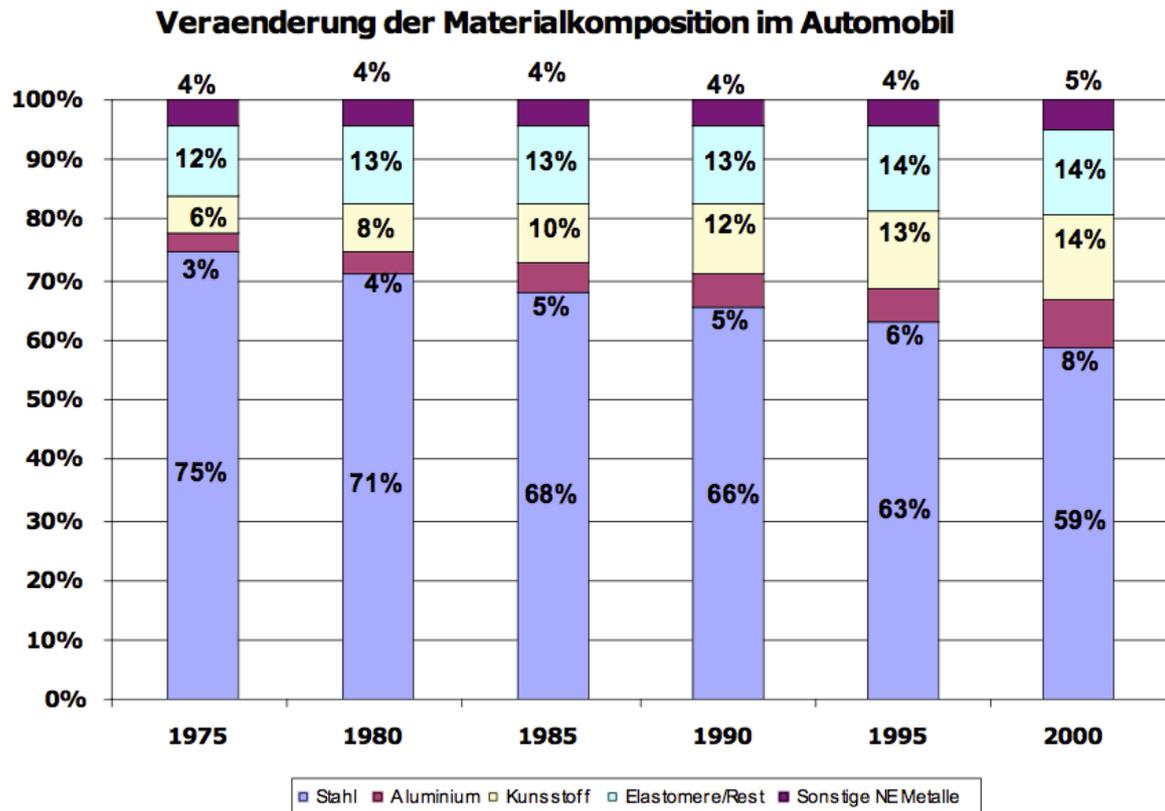


Abbildung II.3: Veränderung der Materialzusammensetzung im Automobil im Zeitraum von 1975 bis 2000 (Quelle: van de Sand et al. 2007)

Der Trend zum Leichtbau wird sich sehr wahrscheinlich auch in Zukunft fortsetzen. Allerdings ist aufgrund von Sicherheitsaspekten und Werkstoffeigenschaften davon auszugehen, dass ein Großteil der Karosserie, des Motorblocks, des Fahrwerks und des Getriebes auch in Zukunft aus Stahl besteht und nicht durch Leichtbaumaterialien ersetzt werden kann. In der vorliegenden Studie wird deshalb von einer durchschnittlichen Steigerung des Kunststoffanteils um 2 % pro Jahr für den Zeitraum von 2011 bis 2050 ausgegangen. Das bedeutet, dass der durchschnittliche Kunststoffanteil von 12 % im Jahr 2011 auf 26 % im Jahr 2050 steigt.

Knapp 2 % jährliches Wachstum des Kunststoffeinsatzes im Automobil in Europa zwischen 2001 und 2019 prognostiziert auch Frost & Sullivan (2014), wie die folgende Grafik zeigt.

Entwicklung des Kunststoffeinsatzes im Automobil in Europa, 2009–2019

Durchschnittlicher Kunststoffanteil im Automobil (kg)

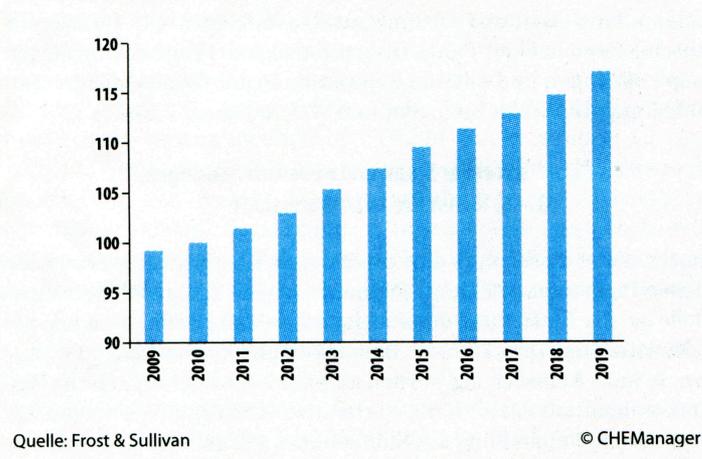


Abbildung II.4: Entwicklung des Kunststoffeinsatzes im Automobil in Europa von 2009 bis 2019 (Quelle: Frost & Sullivan)

In derselben Publikation wird auch eine Prognose für die Zusammensetzung der automobilen Kunststoffe gegeben, was in der folgenden Grafik dargestellt ist.

Prognostizierter Umsatzanteil wichtiger Kunststofftypen in Automobilanwendungen in Europa 2019

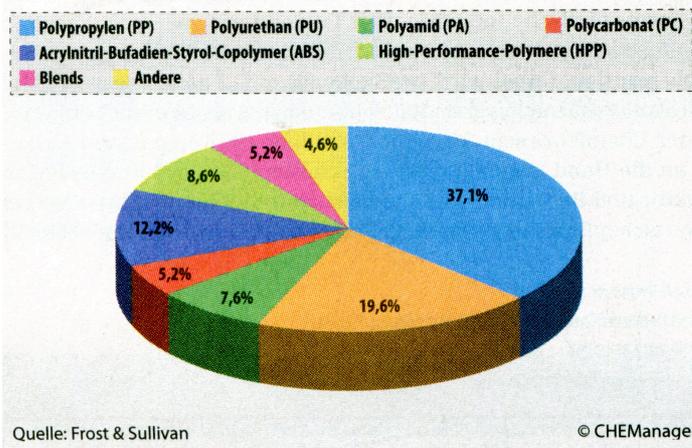


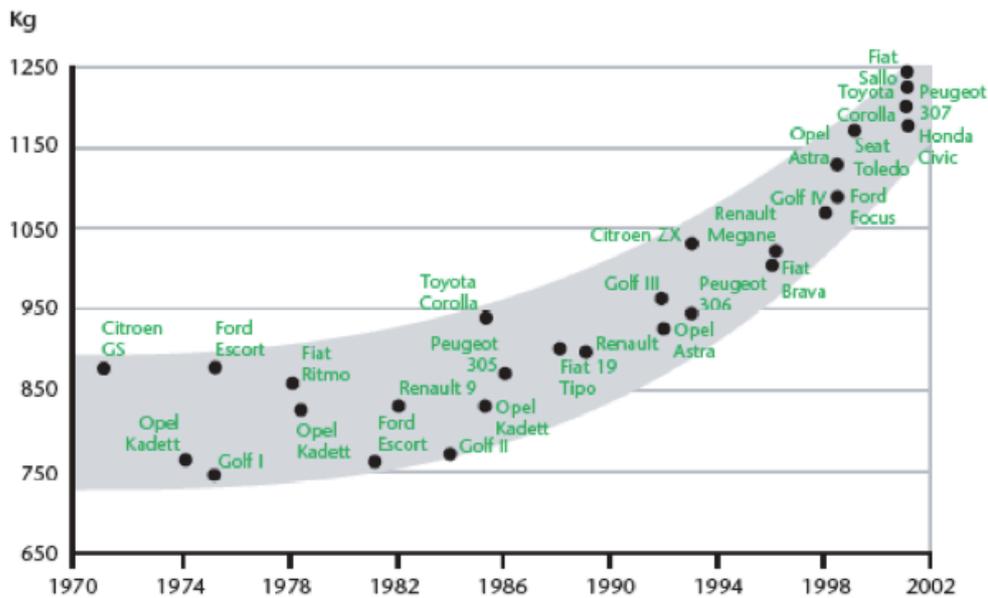
Abbildung II.5: Prognostizierter Umsatzanteil wichtiger Kunststofftypen in Automobilanwendungen in Europa 2019 (Quelle: Frost & Sullivan)

Entwicklung des Fahrzeuggewichts

Trotz des Trends zum Leichtbau ist das durchschnittliche Leergewicht von Automobilen im Zeitraum von 1970 bis 2002 gestiegen. Dies ist hauptsächlich auf die steigende Komfort- und Sicherheitsausstattung sowie den Anstieg der durchschnittlichen Motorleistung zurückzuführen (Altmann et al. 2002, Jochem et al. 2004, WBCSD 2005). Aufgrund der gegenläufigen Tendenzen von Leichtbau und kleinen Stadtfahrzeugen auf der einen und steigenden Leergewichten bei Mittel- und Oberklassefahrzeugen wird in der vorliegenden Studie davon ausgegangen, dass das durchschnittliche Leergewicht von PKW

auf dem Niveau von einer 1,3 Tonnen stagniert. Dies entspricht dem durchschnittlichen Gewicht von Personenkraftwagen des Herstellers Ford im Jahr 2010 in Deutschland – die Werte für einzelner Massenhersteller reichen von 1,1 t (Fiat) bis 1,6 t (Volvo). (Statista 2014)

Die folgende Abbildung zeigt zum Vergleich die Entwicklung der Leergewichte unterschiedlicher Fahrzeuge im Zeitraum von 1970 bis 2002.



II.3 Abschätzung der Kunststoffnachfrage in der Automobilindustrie im Jahr 2050

In der folgenden Tabelle sind alle Annahmen zur Abschätzung der Kunststoffnachfrage für den Automobilssektor zusammengestellt. Multipliziert man die Anzahl der weltweit hergestellten PKW mit deren durchschnittlichen Gewicht sowie dem durchschnittlichen Kunststoffanteil, so erhält man die Kunststoffmenge, die im jeweiligen Jahr in Automobilen eingesetzt wurde. Vernachlässigt man die Verluste an Kunststoffen, die in der Produktion und Entwicklung anfallen, kann man diesen Wert mit der Nachfrage der Automobilindustrie nach Kunststoffen gleichsetzen.

Tabelle II.2: Abschätzung der Kunststoffnachfrage in der Automobilindustrie im Jahr 2011 und 2050 (Quelle: Eigene Darstellung)

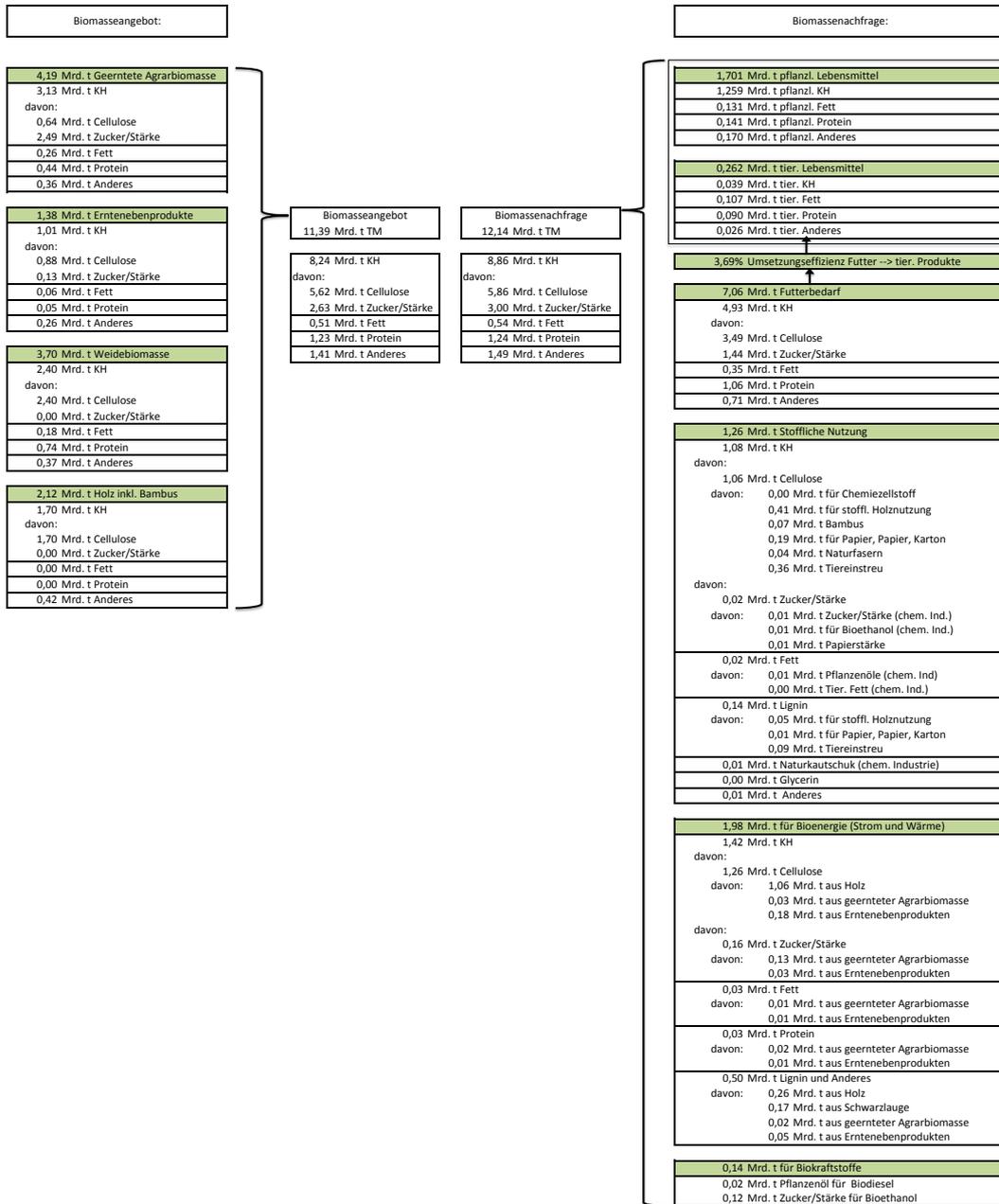
| Annahmen | 2011 | 2050 | Wachstumsrate im Zeitraum 2011-2050 |
|--|---------------------------|----------------------------|--|
| PKW-Produktion weltweit | 60 Millionen Einheiten | 221 Millionen Einheiten | 3 % |
| Durchschnittliches Leergewicht der PKW | 1,3 Tonnen | 1,3 Tonnen | 0 % |
| Durchschnittlicher Kunststoffanteil im PKW | 12 % | 25 % | 2 % |
| Nachfrage nach Kunststoffen in der Automobilindustrie | 9,4 Millionen Tonnen | 71,8 Millionen Tonnen | 5,4 % |

Die Autoren der vorliegenden Studie kommen aufgrund dieser Annahmen zum Schluss, dass die Kunststoffnachfrage der Automobilindustrie von 9,36 Millionen Tonnen im Jahr 2011 auf 71,8 Millionen Tonnen im Jahr 2050 steigen wird, was einer jährlichen Wachstumsrate von 5,4 % entspricht. Damit wird sich die absolute Kunststoffnachfrage zwischen 2011 und 2050 verachtfachen.

Anhang III: Datenüberblick

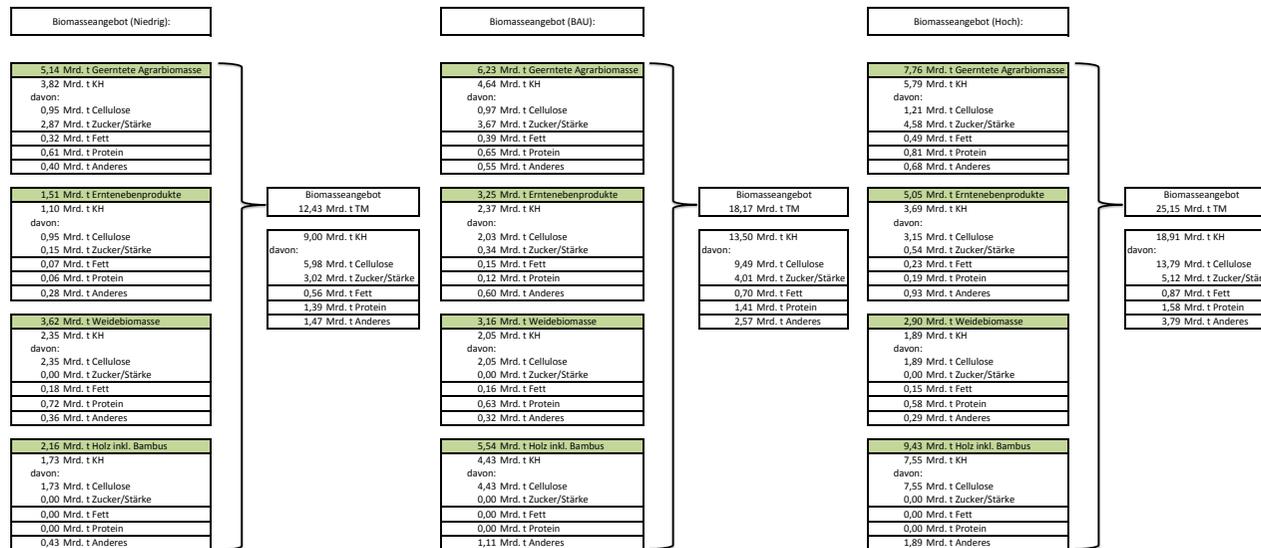
III.1 Basisdaten 2011, Welt

Basisdaten 2011, Welt:



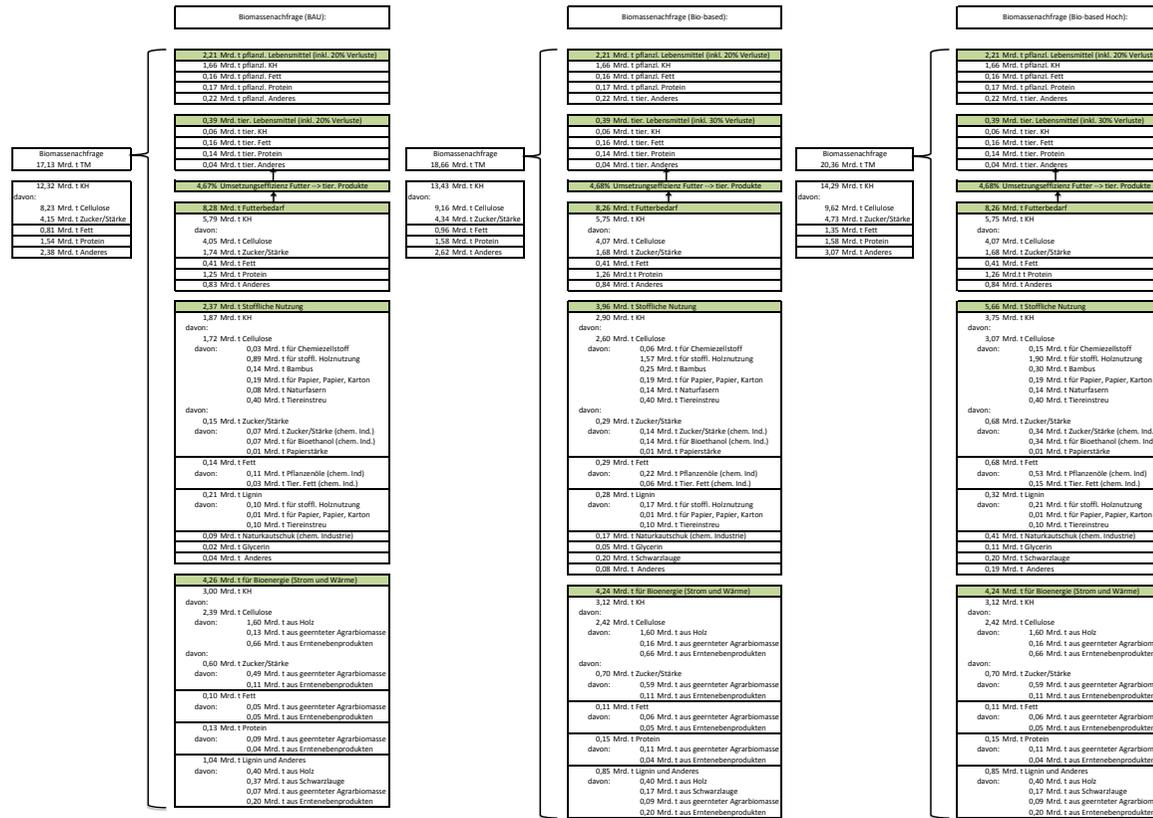
III.2 Angebotsszenarien 2050, Welt

Angebotsszenarien 2050, Welt:



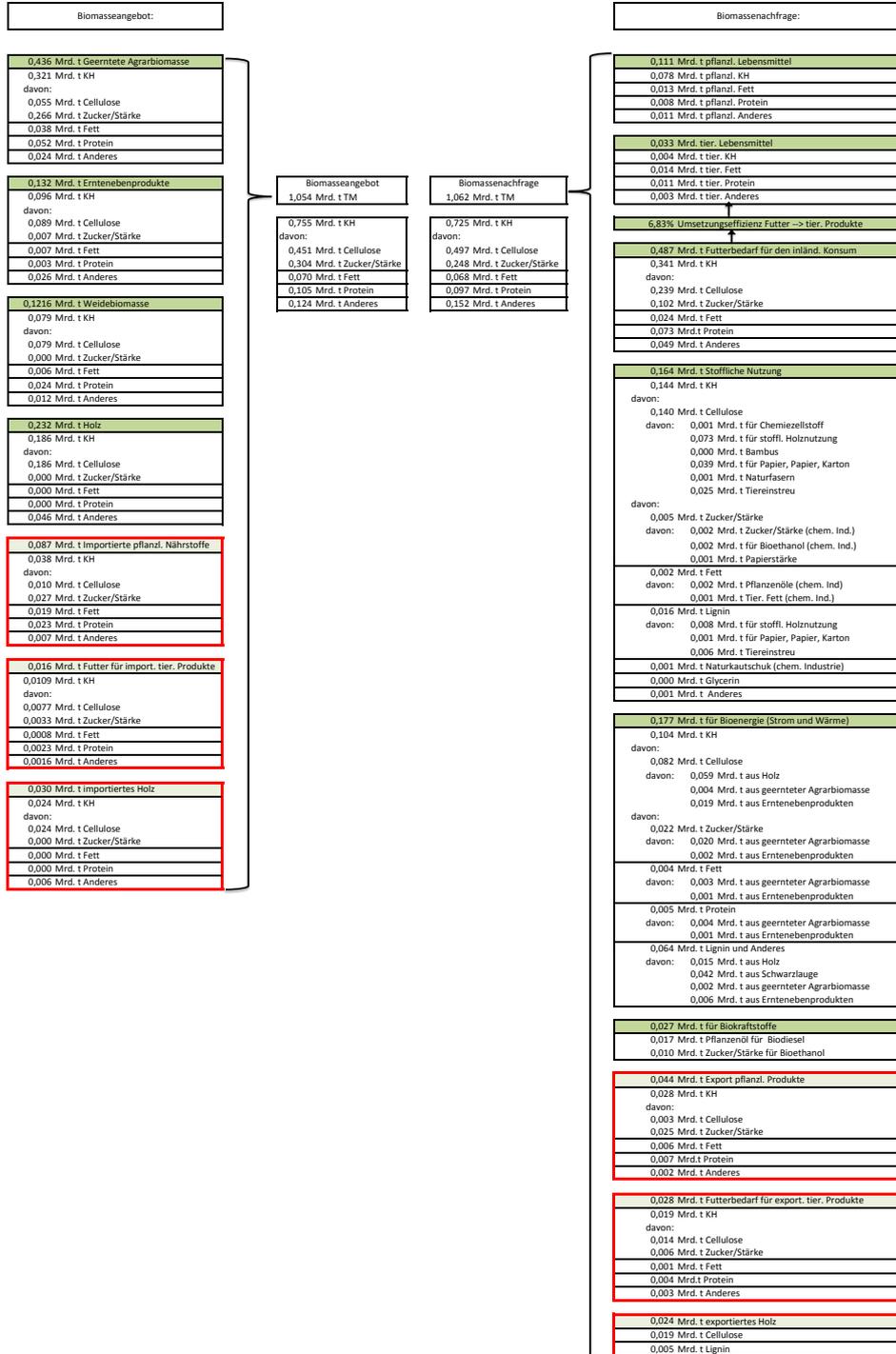
III.3 Nachfrageszenarien 2050, Welt

Nachfrageszenarien 2050, Welt:



III.4 Basisdaten 2011, EU-27

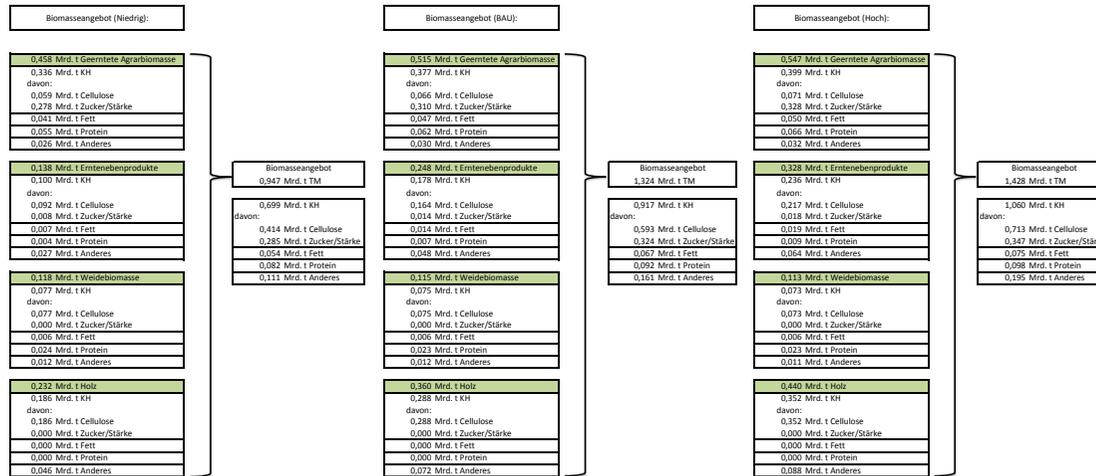
Basisdaten 2011, EU-27:



*Die roten Umrahmungen markieren auf der Nachfrageseite Exportdaten, auf der Angebotsseite Importdaten

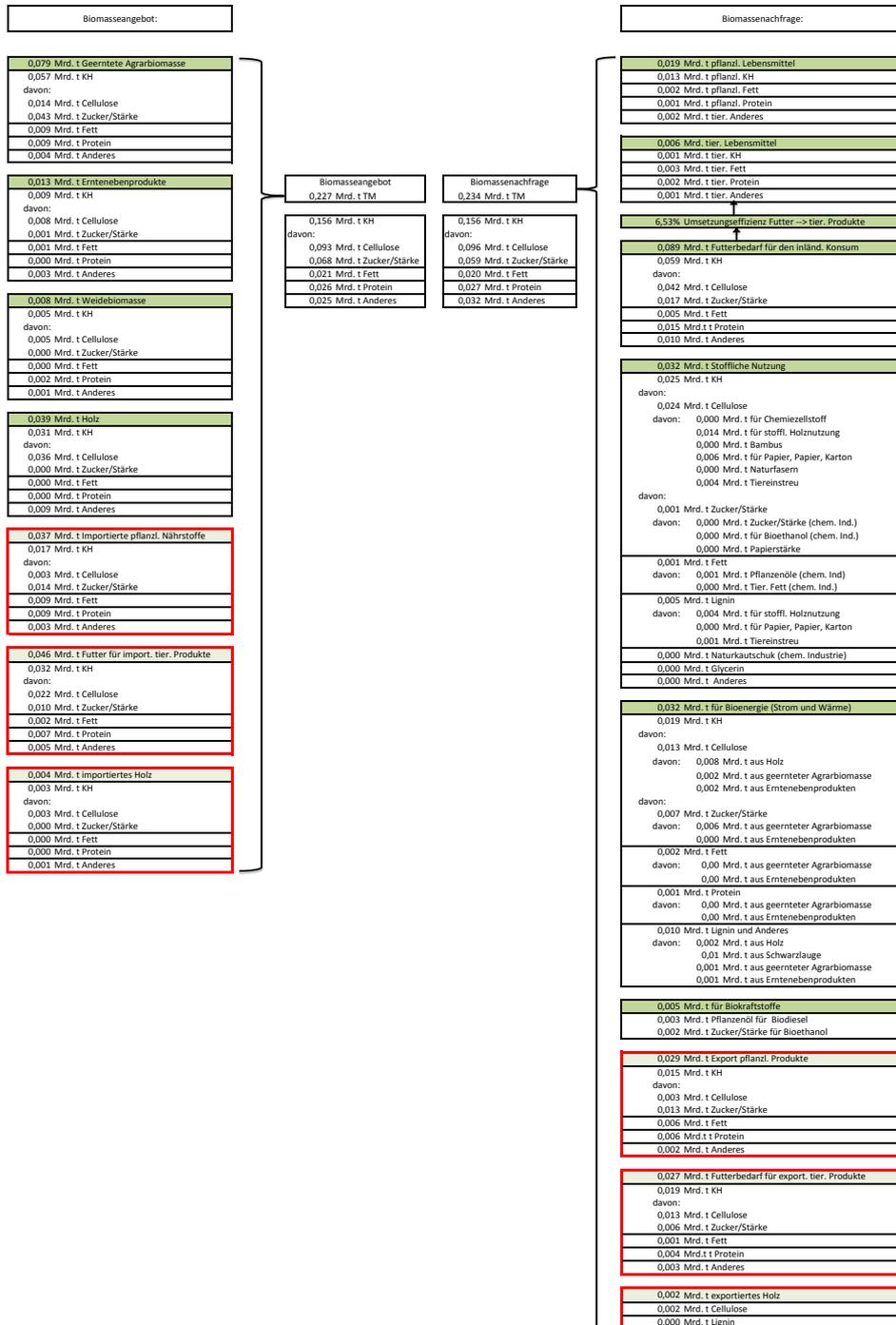
III.5 Angebotsszenarien 2050, EU-27

Angebotsszenarien 2050, EU-27:



III.7 Basisdaten 2011, Deutschland

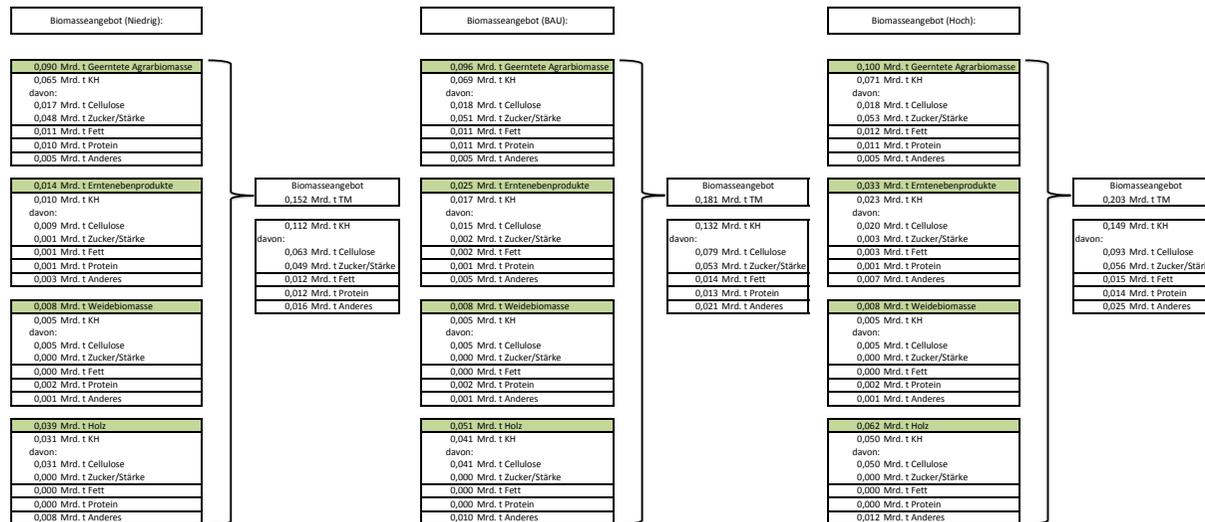
Basisdaten 2011, Deutschland:



*Die roten Umrahmungen markieren auf der Nachfrageseite Exportdaten, auf der Angebotsseite Importdaten

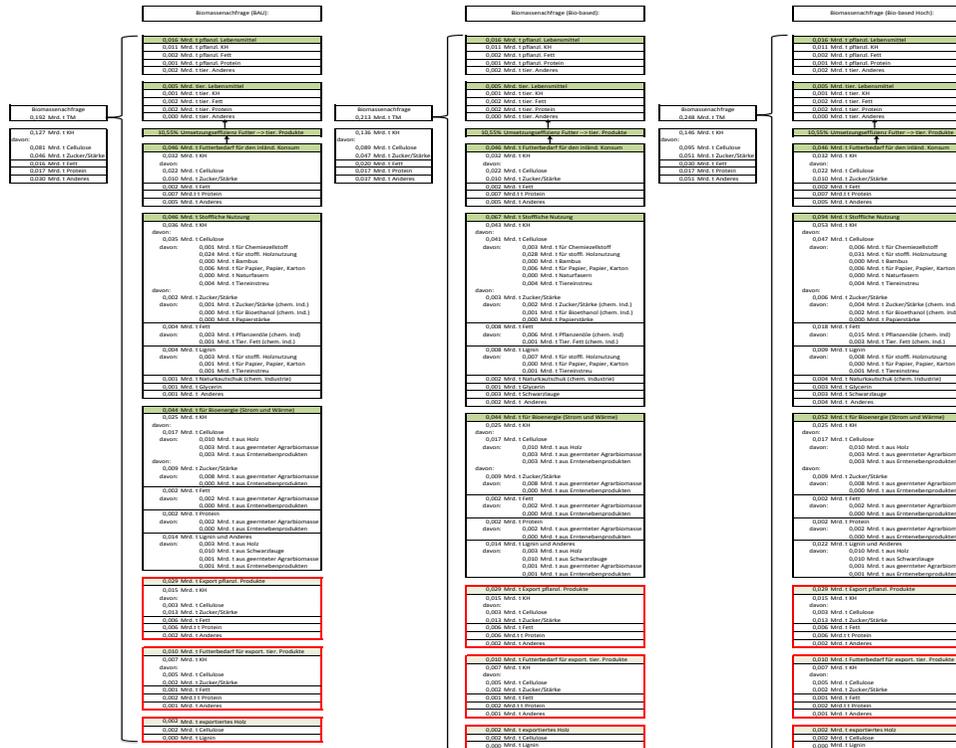
III.8 Angebotsszenarien 2050, Deutschland

Angebotsszenarien 2050, Deutschland:



III.9 Nachfrageszenarien 2050, Deutschland

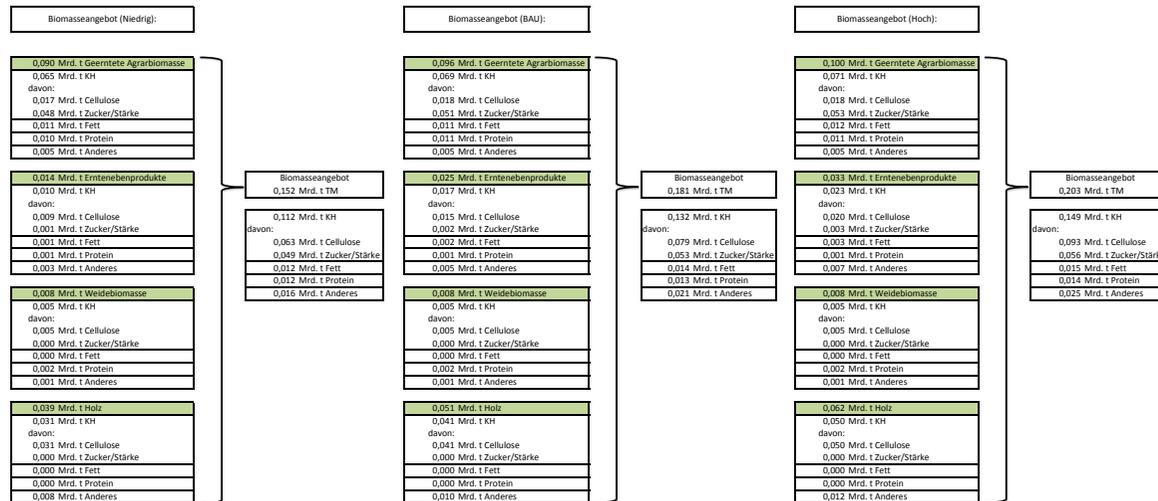
Nachfrageszenarien 2050, Deutschland:



*Die roten Umrahmungen markieren auf der Nachfrageseite Exportdaten, auf der Angebotsseite Importdaten

III.8 Angebotsszenarien 2050, Deutschland

Angebotsszenarien 2050, Deutschland:



Literaturverzeichnis

- AEBIOM (European Biomass Association) 2012: European Bioenergy Outlook 2012, Brüssel, November 2012.
- AEBIOM (European Biomass Association) 2013: European Bioenergy Outlook 2013, Brüssel, Dezember 2013.
- Aeschelmann, F. et al. 2015: Market study and Trend reports on bio-based Polymers and Building blocks in the World: Status Quo and Trends towards 2020, nova-Institute, Hürth 2015 (Download: <http://bio-based.eu/markets>)
- Alexandratos, N. und Bruinsma, J. 2012: World agriculture towards 2030/50: 2012 revision.
- Allen, P., D. van Dusen, J. Lundy, & S. Gliessman 1991: Expanding the definition of sustainable agriculture. *Journal of Alternative Agriculture* 6, 34 – 39
- Altmann, M.; Blandow, V.; Niebauer, P.; Schindler, J.; Schurig, V. ; Weindorf, W. ; Wurster, R.; Zittel, W. 2002: Vergleich verschiedener Antriebskonzepte im Individualverkehr im Hinblick auf Energie- und Kraftstoffeffizienz. L-B-Systemtechnik GmbH, Ottobrunn.
- Arvizu, D. et al. 2011: Technical Summary. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs- Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Bardi, U. 2013: Der geplünderte Planet – Die Zukunft des Menschen im Zeitalter schwindender Ressourcen. Oekom, München 2013.
- Bentsen, N.S und C. Felby 2012: Biomass for energy in the European Union - a review of bioenergy resource assessments, *Biotechnology for Biofuels* 2012, 5:25.
- Benzing, T. 2014: Quantification of renewable raw materials use in the EU chemical industry. Presentation 20 January 2014, Bioeconomy Task Team, Cefic.
- Bringezu, S. 2009: Biomass use for climate change mitigation and sustainable resource management, Präsentation, Workshop "Biomass and bioenergy ", 9. Dezember 2009, FH Eberswalde, Germany
- Bringezu, S. et al. 2010: Assessing global land use and soil management for sustainable resource policies, Scoping Paper of the WG Land & Soil of the International Panel for Sustainable Resource Management, November 2010.
- Bringezu, S. Schütz, H., Pengue, W., O'Brien, M. Garcia, F., Sims, R., Howarth, R.W., Kauppi, L., Swilling, M., und J. Herrick 2014: Assessing global land use: Balancing consumption with sustainable supply.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2012: Leitstudie 2011: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. (http://www.fvee.de/publikationen/publikation/?sb_damorder%5buid%5d=4636&cHash=06b2c3f1ab6b2757a44b77db72802b87, letzter Zugriff 2015-03-25.)
- Bouwman, A.F., Van der Hoek, K.W., Eickhout, B., Soenario, I. 2005: Exploring changes in world ruminant production systems, *Agricultural Systems* 84(2), Mai 2005, S. 121–153.
- BP 2011: BP Energy Outlook 2030, London, January 2011.
- Branch, T.A., Hively, D. J., Hilborn, R. 2013: Is the ocean food provision index biased?, in: *Nature*, Vol. 495, 28. März 2013, p. E5.
- Cayuela, R, 2013: The Future of the Chemical Industry by 2050, Wiley-VCH, June 2013.

- Cefic (European Chemical Industry Council) 2012: Facts and Figures 2012 – The European chemicals industry in a worldwide perspective.
(<http://www.cefic.org/Documents/FactsAndFigures/2012/Facts-and-Figures-2012-The-Brochure.pdf>, letzter Zugriff 2015-03-30.)
- Cefic (European Chemical Industry Council) 2013: European chemistry for growth - Unlocking a competitive, low carbon and energy efficient future.
- Cefic (European Chemical Industry Council) 2014: Persönliche Mitteilung.
- Ceresana 2014: Marktstudie Beutel, Säcke und Tüten – Europa, zitiert nach: Absatz von Beuteln, Säcken und Tüten steigt, K-Zeitung, 2014-04-25, S. 3.
- CHEManager Europe 2013: Automotive: Plastics enable resource efficient mobility.
- CEPI (Confederation of European Paper Industries) 2011: Key Statistics 2011.
- CIRFS (Comité International de la Rayonne et des Fibres Synthétiques/European Man-made Fibres Association) 2014: World Man-Made Fibres Production.
(<http://www.cirfs.org/KeyStatistics/WorldManMadeFibresProduction.aspx>, letzter Zugriff 2015-03-04).
- Cordell und White 2011: Peak Phosphorus: Clarifying the Key Issues of a Vigorous Debate about Long-Term Phosphorus Security, Sustainability 2011, 3, S. 2027-2049.
- Council of the European Union 2009: EU Council Conclusions on EU position for the Copenhagen Climate Conference, 21. Oktober 2009.
- Davis, S. 2011: Chemical Economics Handbook Product Review: Petrochemical Industry Overview. SRI Consulting.
- Desso 2013: Closing the carpet production cycle. In: Research eu results magazine, No 28, page 42, December 2013, January 2014.
- DESTATIS (Statistisches Bundesamt) 2014: Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung (Deutschland).
- De Wildeman, S. 2014: „Decentralized biopolymer production based on many new building blocks“, Biowerkstoff-Kongress, Köln 2014.
- DIE ZEIT (1999): Der Erfinder der Nachhaltigkeit. In: DIE ZEIT 48/1999. Online abgerufen am 02.02.2015.
(http://www.zeit.de/1999/48/Der_Erfinder_der_Nachhaltigkeit, letzter Zugriff 2015-03-30)
- Dittrich, M., Giljum, S., Lutter, S., Polzin, C. 2012: Green economies around the world: Implications of resource use for development and the environment, Wien, Österreich, 2012.
- Dittrich, M., Giljum, S., Lutter, S., Polzin, C. 2013: Aktualisierung von nationalen und internationalen Ressourcenkennzahlen. Im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA).
- DLG (Deutsche Landwirtschaftliche Gesellschaft e.V.) 2013: DLG-Merkblatt 368: Nachhaltiger Ackerbau – Effizienz steigern, Image pflegen, Ressourcen schonen. DLG, Frankfurt am Main.
(http://www.nachhaltige-landwirtschaft.info/fileadmin/downloads/pdf/dlg-merkblatt_369.pdf, letzter Zugriff 2015-03-30.)
- DVT (Deutscher Verband Tiernahrung) 2014: Futter-Fakten.
- ECN (Energy research Centre of the Netherlands) 2012: Phyllis 2 – Database for biomass and waste,
(<https://www.ecn.nl/phyllis2/>, letzter Zugriff 2015-03-25)
- Economic Times India 2014: Technical textile may grow 20% annually for next 2 years. 20.03.2014
(http://articles.economictimes.indiatimes.com/2014-03-20/news/48402085_1_technical-textiles-sujit-gulati-next-sunrise-sector, letzter Zugriff 2015-03-30).
- EJF (Environmental Justice Foundation) 2007: The Deadly Chemicals in Cotton. In collaboration with Pesticide Action Network. London, UK 2007.

- El-Halwagi, M.M. 2012: Sustainable design through process integration, Elsevier, MA, USA.
- Ellis, E. C. und Ramankutty, N. (2008): Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6, doi:10.1890/070062.
- Europäische Kommission 2011: Mandate addressed to CEN, CENELEC and ETSI for the Development of Horizontal European Standards and other Standardisation Deliverables for bio-based Products (M/492). DG Enterprise and Industry, Brussels.
- Europäische Kommission 2012: Energy Roadmap 2050.
- Eurostat 2012: Economy-wide Material Flow Accounts (EW-MFA), Compilation Guide 2012.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2010: Global Forest Resources Assessment 2010 – Main Report, FAO Forestry Paper 163. (<http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf>, letzter Zugriff 2015-03-30).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2010a: Global Forest Resources Assessment 2010 – Terms and Definitions, Working paper 144/E (<http://www.fao.org/docrep/014/am665e/am665e00.pdf>, letzter Zugriff 2015-03-30)
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2013: Nutritive Factors (<http://www.fao.org/economic/the-statistics-division-ess/publications-studies/publications/nutritive-factors/ar/>, letzter Zugriff 2015-03-30)
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2014: Yearbook of Forest Products 2012. (<http://www.fao.org/docrep/019/i3732m/i3732m.pdf>, letzter Zugriff 2015-03-30)
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database) 2013: Metadata – Glossary. (<http://faostat.fao.org/site/375/default.aspx>, letzter Zugriff 2015-03-30)
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database) 2013a: Statistische Datenbank der FAO. (<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>, letzter Zugriff 2015-03-19).
- FEFAC (European Feed Manufacturers' Federation) 2012: Feed & Food, Statistical Yearbook 2012.
- Fiber Year GmbH 2014: The Fiber Year 2014. World Survey on Textiles and Nonwovens. Speicher, Switzerland 2014.
- Fischer, G., Hizsnyik, E., Prieler, S. und Van Velthuisen, H. 2007: Assessment of biomass potentials for bio-fuel feedstock production in Europe: Methodology and results, REFUEL: Work Package 2 - Biomass potentials for bio-fuels: sources, magnitudes, land use impacts.
- Fischer, G. 2009: How do climate change and bio-energy alter the long-term outlook for food, agriculture and resource availability?, Expert Meeting “How to Feed the World in 2050?”, 24-26 Juni 2009, FAO, Rom, Italien.
- Fischer, G., Van Velthuisen, H. and M. Shah, F.O. Nachtergaele 2002: Global Agro-eco-logical Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results. Research Report, IIASA, Laxenburg, Austria, FAO, Rome, Italy (2002).
- Fischer, G., Nachtergaele, F.O, Prieler, S., Teixeira, E., Tóth, G., van Velthuisen, H., Verelst, L. und D. Wiberg 2012: Global Agro-ecological Zones (GAEZ ver. 3), Model documentation.
- FNR (Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V.) 2015: Nachhaltigkeit. (<http://www.fnr.de/nachwachsende-rohstoffe/nachhaltigkeit/>, letzter Zugriff 2015-03-30)
- Fraunhofer ISI 2012: New Mobility Concepts Database (NMC-Database) – Version 2012, Karlsruhe.
- Fritz, T. 2013: Bread or Trough: Animal Feed, Competition for Land and Food Security. (http://fdcl-berlin.de/fileadmin/fdcl/Publikationen/Brot_oder_Trog/bread_or_trough_web.pdf, letzter Zugriff 2015-03-30)
- Frost & Sullivan 2011: Strategic Analysis of Carsharing Market in Japan. Mountain View.
- Frost & Sullivan 2014: Zitiert nach CHEManager 14-08.

- Fuglie, K.O. 2012: Productivity Growth and Technology Capital in the Global Agricultural Economy. In: Fuglie, K.O., Wang, S.L., Ball, V.E. (Eds.), Productivity Growth in Agriculture: An International Perspective. CAB International, Wallingford, UK. 335-368.
- Gillis, J. 2013: Climate Change Seen Posing Risk to Food Supplies, New York Times. 1. November 2013.
- GIZ (Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit) 2012: Was ist nachhaltige Landwirtschaft? Bonn, Eschborn, 2012.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U. und A. Emanuelsson 2013: The methodology of the FAO study: "Global food losses and food waste – extent, causes and prevention, SIK report No. 857, January 2013.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V. Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., Townshend, J. R. G. 2013: High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change, Science 342, 850 (2013)
- Hauff, V. (1987): Unsere gemeinsame Zukunft – der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung.
- Heckenmüller, M., Narita, D. und Klepper, G. 2014: Global Availability of Phosphorus and Its Implications for Global Food Supply: An Economic Overview, Working Paper No. 1897, Januar 2014, Kiel Institute for the World Economy.
- Holz-Zentralblatt 2012: FSC lässt Stimmung machen gegen PEFC, Holzzentralblatt vom 20. Dezember 2012, Jhr. 139. Nr. 51/52, Seite 1255.
- Hoogwijk, M., Faaij, A., Eickhout, B., de Vries, B. Turkenburg, W. 2005: Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios, Biomass and Bioenergy 29 (2005) 225–257
- IEA (International Energy Agency) 2012: Technology Roadmap: Bioenergy for heat and power.
- IEA (International Energy Agency) 2012a: Energy Technology Perspectives 2012 - Pathways to a Clean Energy System.
- IEA (International Energy Agency) 2013: World energy outlook 2013 – Renewable energy outlook.
- IEA (International Energy Agency) 2014: World Energy Outlook 2014.
- IEA (International Energy Agency) Bioenergy Task42 2012: Bio-based Chemicals Value Added Products from Biorefineries.
- IEEP (Institute for European Environmental Policy) 2013: Land as an environmental resource, Final report, Februar 2013.
- IFAD (International Fund for Agricultural Development) 2013: Tackling land degradation and desertification (http://www.ifad.org/events/wssd/gef/gef_ifad.htm, letzter Zugriff 2015-03-30)
- INRO (Initiative Nachhaltige Rohstoffbereitstellung für die stoffliche Biomassenutzung) 2013: Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche Biomassenutzung. (<http://www.inro-biomasse.de/documents/Nachhaltigkeitskriterien.pdf>, letzter Zugriff 2015-03-30)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2013: Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report 2013 - The physical science basis - Final Draft Underlying Scientific-Technical Assessment.
- Jochem, E., Schön, M., Angerer, G., Ball, M., Bradke, H., Celik, B., Eichhammer, W., Mannsbart, W., Marscheider-Weidemann, F., Nathani, C., Walz, R. und Wietschel, M. 2004: Werkstoffeffizienz – Einsparpotenzial bei Herstellung und Verwendung energieintensiver Grundstoffe. Fraunhofer IRB Verlag.
- Jölli, D. und Giljum, S. 2005: Unused biomass extraction in agriculture, forestry and fishery, SERI Studies, Nr. 3, März 2005.

- Kampman, B., Brouwer, F. und Schepers, B. 2008: Agricultural land availability and demand in 2020: A global analysis of drivers and demand for feedstock, and agricultural land availability, Delft, CE, 2008.
- Kastner, T., Schaffartzik, A., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Haberl, H., und Krausmann, F. 2013: Cropland area embodies in international trade: Contradictory results from different approaches, *Ecological Economics* (2013), (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon>, letzter Zugriff 2013-12-01)
- Kemp, C. 2013: Primeval planet: What if humans had never existed?, in: *New Scientist*, 14.11.2013.
- Kircher, M. 2014: The Emerging Bioeconomy: Industrial Drivers, Global Impact, and International Strategies. In: *Industrial Biotechnology*, Vol. 10, No. 1, 2014-02 (11-17).
- Kleinhanß, W. und Junker, F. 2012: Analyse und Abschätzung des Biomasse- Flächennutzungspotenzials, *Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie*, 03/2012.
- Krausmann, F., Erb, K.-H., Gingrich, S., Lauk, C. und Haberl H. 2008: Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints, *Ecological Economics* 65(2008), 471-487.
- Langeveld, J.W.A., Dixon, J., van Keulen, H. und Quist-Wessel, P.M.F. 2013: Analyzing the effect of biofuel expansion on land use in major producing countries: evidence of increased multiple-cropping, *Biofuels, Bioproducts & Biorefining* 2013, DOI:10.1002/bbb.1432.
- Lauri, P., Havlík, P., Kindermann, G., Forsell, N., Böttcher, H. und, Obersteiner, M. 2014: Woody biomass energy potential in 2050, in: *Energy Policy* 66 (2014), S. 19-31.
- Mantau, U. et al. 2010: Final report: Real potential for changes in growth and use of EU forests (EUwood).
- Mantau, U. 2014: Persönliche Mitteilung, September 2014.
- Maraz, L. 2014: Wie viel Holz braucht der Wald? – Entwicklungen & Trends 2013, in: *Kritischer Agrarbericht* 2014.
- Maslow, A. 1943: A Theory of Human Motivation. In *Psychological Review*, Vol. 50 #4: pp. 370–396
- Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J. & W.W. Behrens (1972): *The Limits to Growth*. Universe Books, New York.
- Mekonnen, M.M und Hoekstra, A.Y. 2010: The green, blue and grey water footprint of arm animals and animal products, Vol. 2: Appendices.
- Mühlenhoff, J., Kajimura, R. und Boenigk, N., Ziegler, D. und Witt, J. 2014: Holzenergie in Deutschland, Status Quo und Potenziale, *Renews Spezial, Sonderausgabe*, Februar 2014.
- Nexant 2014: *Renewable Chemicals & Materials Opportunity Assessment – Major Job Creation and Agricultural Sector Engine*. Prepared for USDA, January 2014.
- Noleppa, S. und Carlsburg, M. 2014: Another look at agricultural trade of the European Union: Virtual land trade and self-sufficiency, *HFFA Research Paper* 01/2014.
- Odrich, P. 2104: Briten wollen Titanpreis torpedieren. In: *VDI nachrichten* 14-01-10.
- OECD-FAO (Organisation for Economic Co-operation and Development- Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2012: *Agricultural Outlook 2009-2018*.
- OICA (International Organisation of Motor Vehicle Manufacturers) 2013: 2013 Frankfurt Motor Show OICA Press Conference. 65. Internationale Automobilausstellung, Frankfurt, 11. September 2013.
- OICA (International Organisation of Motor Vehicle Manufacturers) 2014: 2011 Production Statistics.. (<http://www.oica.net/category/production-statistics/2011-statistics/>, letzter Zugriff 2015-03-30)
- OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) 2012: *OPEC Annual Statistical Bulletin* 2012.
- OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) 2013: *OPEC World Oil Outlook* 2013.

- Philp, J. 2014: OECD Policies for Bioplastics in the Context of a Bioeconomy, 2013. In: Industrial Biotechnology, Vol. 10, No. 1, 14-02 (3 p).
- Pimentel, D. Soil erosion: A food and environmental threat, in: Environment, Development and Sustainability (2006), S. 119-137.
- Plastics 2013: Benchmarking Golf VII. In: Plastics – The Global Application Medium, Vol. 1, No. 10/13: 6-7.
- PlasticsEurope 2013: Plastics – the Facts 2013. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data, Brussels, 2013-10.
- Priefer, C., Jörissen, J. and K.-R. Bräutigam 2013: Technology options for feeding 10 billion people – Options for cutting food waste, study, October 2013. ([http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2013/513515/IPOL-JOIN_ET\(2013\)513515_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2013/513515/IPOL-JOIN_ET(2013)513515_EN.pdf), letzter Zugriff 2015-03-30)
- Qadir, M., Quillérou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R.J., Drechsel, P. and A.D. Noble 2014: Economics of salt-induced land degradation and restoration, Natural Resources Forum 38(4), S. 282–295, November 2014.
- Randers, J. 2012: 2052 - A Global Forecast for the Next Forty Years. Chelsea Green Publishing, Vermont 2012.
- Reinhard, J., Weidema, B. and Schmidt, J. 2010: Identifying the marginal supply of wood pulp. ([http://lca-net.com/files/Reinhard et al 2010 Identifying the marginal supply of pulp wood.pdf](http://lca-net.com/files/Reinhard_et_al_2010_Identifying_the_marginal_supply_of_pulp_wood.pdf), letzter Zugriff 2014-05-09)
- REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) 2012: Renewables 2012, Global Status Report, REN21 Secretariat, Paris, Frankreich.
- Reportlinker 2012: World Market Textiles, Apparel & Luxury Goods. Public Summary. May 2012. (<http://www.reportlinker.com/p016087-summary/Global-Textiles-Apparel-Luxury-Goods.html>, letzter Zugriff 2014-08-04).
- Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley. 2009 Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* **14**(2): 32
- Sachs, J. 2010: Rethinking macroeconomics, Special Report. (www.thebrokeronline.eu, letzter Zugriff 2015-03-30)
- Sakoff, N. 2013: Persönliche Mitteilung zu den Daten für Futterpflanzen in FAOSTAT, Februar 2013.
- Schade, W.; Zanker, C.; Kühn, A.; Kinkel, S.; Jäger, A.; Hettesheimer, T. & T. Schmall 2012: Zukunft der Automobilindustrie. TAB – Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht Nr. 152, Berlin.
- Schillings, C. 2013: Textbeitrag für den Tagungsband der FfE-Fachtagung 2013, Titel des Vortrages: BMU-Leitstudie „Deutschland 2050“.
- Schmitz, N. et al. 2014: Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe 34. Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow 2014.
- Schnieders, F. 2011: Zahlen und Daten rund um Kunststoff, Vortrag beim Fachpresstetag, Frankfurt, 30. März 2011 (PlasticsEurope).
- Scholz, R.W. und Wellmer, F.W. 2013: Approaching a dynamic view on the availability of mineral resources: What we may learn from the case of phosphorus?, Global Environmental Change, 23, (1), Februar 2013, S. 11-27.

- SERI (Sustainable Europe Research Institute) 2013: Global Material Flow database, Technical Report, Version 2013.1, Mai 2013.
(http://materialflows.net/fileadmin/docs/materialflows.net/MFA_technical_report_May_2013.pdf, letzter Zugriff 2015-03-30)
- Shen, L., Worrel, E., Patel, M. 2010: Present and future development in plastics from biomass. In: *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 4:25–40, 2010.
- Simon, C-J. 2013: Persönliche Mitteilungen (PlasticsEurope).
- Slade, R., Saunders, R., Gross, R. und Bauen, A. 2011: Energy from biomass: the size of the global resource, An assessment of the evidence that biomass can make a major contribution to future global energy supply, Imperial College Centre for Energy Policy and Technology and UK Energy Research Centre, London.
- Small, E. 2013: Cotton – Redeeming the world’s most vilified plant threat to biodiversity, *Biodiversity*, 2013, 14(4), 207–222.
- Smeets, E.M.W., Faaij, A.P.C., Lewandowski, I.M., Turkenburg, W.C. 2007: A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050, *Progress in Energy and Combustion Science* 33 (2007) 56–106
- Smil, V. 2002: Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and opportunities for novel food proteins, *Enzyme and Microbial Technology* 30 (2002), S. 305–311.
- Speedy, A. W. 2002: Overview of world feed protein needs and supply, in: Protein sources for the animal feed industry, Expert Consultation and Workshop, Bangkok, 29. April – 3. Mai 2002.
- Statista 2014: Durchschnittliches Gewicht von Personenkraftwagen ausgewählter Hersteller im Jahr 2010 (in Kilogramm). (<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/238004/umfrage/gewicht-von-pkw-nach-autoherstellern/>), letzter Zugriff 2015-03-30)
- Steinfeld, H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., de Haan C. 2006: *Livestock’s Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Rome: Food and Agri-culture Organization of the United Nations, 2006.
- Tilman, D. 2006: Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass, *Science* 314, 1598 (2006)
- Transparency Market Research 2013: Global Technical Textiles Market Will Reach USD 160.38 Billion By 2018. Public Summary. 17.07.2013 (<http://www.culrav.org/pr/global-technical-textiles-market-will-reach-usd-160-38-billion-by-2018-transparency-market-research.php>, letzter Zugriff 2014-08-04).
- UBA (Umweltbundesamt) 2012: Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. UBA, Dessau-Roßlau.
- UFZ (Helmholz-Zentrum für Umweltforschung) 2011: Wasser und Landnutzung, Schwerpunktthema August 2011. (<http://ufz.de/index.php?de=21978>, letzter Zugriff 2015-03-30)
- Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2012: Paper and Paperboard 3: Chemical Additives, John Wiley and Sons.
- UN (United Nations) 2014: Forest Products – Annual Market Review 2013-2014. Geneva Timber and Forest Study Paper 36. United Nations, Geneva
- UNEP (United Nations Environment Programme) 2008: Detailed assessment: Material efficiency, Chapter 6.
- UNEP (United Nations Environment Programme) 2013: Global Chemicals Outlook - Towards Sound Management of Chemicals – United Nations Environment Programme (UNEP), 2013.
- UNEP (United Nations Environment Programme) 2013a: Global Environment Outlook 5: Environment for the future we want.
- U.S. Geological Survey 2008: Global Land Cover Characterization. (<http://edc2.usgs.gov/glcc/glcc.php>, letzter Zugriff 2015-03-30)

- Van de Sand, I.; Acosta-Fernandez, J. & S. Bringezu 2007: Abschätzung von Potenzialen zur Verringerung des Ressourcenverbrauchs im Automobilssektor. Wuppertal Institut, Wuppertal.
- Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D. und G. Knothe 2004: Biodiesel production technology, NREL Subcontractor report NREL/SR-510-36244.
- van Huis, A., van Itterbeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. and Van-tomme, P. 2013: Edible insects: Future prospects for food and feed security, FAO Forestry Paper 171.
- VCI (Verband der Chemischen Industrie) 2013: Die deutsche chemische Industrie 2030 (VCI-Prognos-Studie) sowie ergänzende persönliche Informationen von Tilman Benzing 2013).
- VCI (Verband der Chemischen Industrie) 2013a: Rohstoffbasis der chemischen Industrie, Sept. 2013.
- VCI (Verband der Chemischen Industrie) 2014: Chemiewirtschaft in Zahlen 2014.
- VDP (Verband Deutscher Papierfabriken e.V.) 2014: Statistische Kurzinformation deutscher Zellstoff- und Papierfabriken, 11/2014.
- Vennestrøm, P. N. R., C. M. Osmundsen, C. H. Christensen, E. Taarning 2011: Beyond Petrochemicals: The Renewable Chemicals Industry. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2011, 50, 10502 – 10509.
- Von Carlowitz, H.C. 1713: SILVICULTURA OECONOMICA oder Haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur Wilden Baum-Zucht. Verlegt von Johann Friedrich Braun, Leipzig. (http://digital.slub-dresden.de/fileadmin/data/380451980/380451980_tif/jpegs/380451980.pdf, letzter Zugriff 2015-02-02)
- Von Witzke, H., Noleppa, S., Zhirkova, I. 2011: Fleisch frisst Land, 4. unveränderte Ausgabe vom September 2011, Hrsg.: WWF Deutschland, Berlin.
- WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) 2005: Vehicle technologies other than propulsion systems.
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) 2008: Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. WBGU, Berlin
- WCED (World Commission on Environment and Development) 1987: Our Common Future.
- Wirsenius, S. 2000: Human use of Land and Organic materials – Modeling the Turnover of Biomass in the Global Food System, Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, Chalmers University of Technology und Universität Göteborg, Schweden.
- Wirsenius, S., Azar, C. und Berndes, G. 2010: How much land is needed for global food production under scenarios of dietary changes and livestock productivity increases in 2030?, *Agricultural Systems*, 2010.
- WWF (World Wide Fund For Nature) 1999: The impact of cotton on fresh water resources and ecosystems. A preliminary synthesis Background paper. World Wide Fund for Nature, Glande, Schweiz.
- Zeddies, J., Bahrs, E., Schönleber, N., Gamer, W. 2012: Globale Analyse und Abschätzung des Biomasse-Flächennutzungspotenzials, Bericht des Instituts für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Universität Hohenheim, August 2012.

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------|---|----|
| ABBILDUNG 1: | SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER VORGEHENSWEISE..... | 12 |
| ABBILDUNG 2: | Globale Rohstoffentnahme und Wachstumsraten nach Rohstoffkategorien..... | 22 |
| ABBILDUNG 3: | WELTWEITE RESSOURCENNUTZUNG 2008 NACH ROHSTOFFGRUPPEN | 23 |
| ABBILDUNG 4: | PRODUKTION WICHTIGER MINERALSTOFFE | 27 |
| ABBILDUNG 5: | Globale Betonproduktion | 27 |
| ABBILDUNG 6: | WELTWEITES BIOMASSEANGEBOT 2011 | 29 |
| ABBILDUNG 7: | GESCHÄTZTE VERÄNDERUNG DER LANDNUTZUNG ZWISCHEN 1700 UND 1995 | 30 |
| ABBILDUNG 8: | BESTIMMUNGSGRÜNDE FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE PRODUKTIONSSTEIGERUNGEN IN ENTWICKLUNGSLÄNDERN UND WELTWEIT | 30 |
| ABBILDUNG 9: | ENTWICKLUNG DER WELTWEITEN AGRARFLÄCHE, 1961-2011 | 33 |
| ABBILDUNG 10: | PROZENTUALE ENTWICKLUNG DER AGRARFLÄCHEN NACH KATEGORIEN IM ZEITRAUM VON 2000 BIS 2011 | 33 |
| ABBILDUNG 11: | WELTWEITE VERTEILUNG UND ENTWICKLUNG DER WALDFLÄCHE..... | 34 |
| ABBILDUNG 12: | WELTWEITE VERTEILUNG DES PLANTAGENWALDES, 1990-2010 | 35 |
| ABBILDUNG 13: | WELTWEITE GEERTNETE AGRARBIOMASSE 2011 | 38 |
| ABBILDUNG 14: | WELTWEIT GENUTZTE ERNTENEBCENPRODUKTE 2011..... | 40 |
| ABBILDUNG 15: | ABLEITUNG DER WEIDEBIOMASSE (<i>GRAZING GAP</i>) AUS DEM FUTTERBEDARF DES TIERBESTANDES . | 41 |
| ABBILDUNG 16: | WELTWEITE GENUTZTE WEIDEBIOMASSE 2011..... | 42 |
| ABBILDUNG 17: | WELTWEITES HOLZAUFKOMMEN 2011..... | 43 |
| ABBILDUNG 18: | WELTWEITES HOLZAUFKOMMEN IM JAHR 2011 – VERGLEICH VON FAO-DATEN MIT BANDBREITEN NACH KRAUSMANN ET AL. 2008..... | 45 |
| ABBILDUNG 19: | WELTWEITES BIOMASSEANGEBOT 2011 | 46 |
| ABBILDUNG 20: | WELTWEITES BIOMASSEANGEBOT 2011 | 46 |
| ABBILDUNG 21: | BIOMASSEANGEBOT IN DER EU-27 IM JAHR 2011 | 47 |
| ABBILDUNG 22: | AGRARHANDELSBILANZ DER EU-27 IM JAHR 2011 | 50 |
| ABBILDUNG 23: | AGRARHANDELSBILANZ DER EU-27 IM JAHR 2011 | 51 |
| ABBILDUNG 24: | AGRARHANDELSBILANZ DER EU-27 IM JAHR 2011 | 52 |
| ABBILDUNG 25: | AGRARHANDELSBILANZ DER EU-27 IM JAHR 2011 | 53 |
| ABBILDUNG 26: | BIOMASSEANGEBOT IN DEUTSCHLAND IM JAHR 2011 | 56 |
| ABBILDUNG 27: | AGRARHANDELSBILANZ DER DEUTSCHLANDS IM JAHR 2011 | 59 |
| ABBILDUNG 28: | AGRARHANDELSBILANZ DEUTSCHLANDS IM JAHR 2011 | 60 |
| ABBILDUNG 29: | AGRARHANDELSBILANZ DEUTSCHLANDS IM JAHR 2011 | 61 |
| ABBILDUNG 30: | WELTWEITE BIOMASSENACHFRAGE 2011 (NACH SEKTOREN) | 64 |
| ABBILDUNG 31: | WELTWEITE BIOMASSENACHFRAGE 2011 (NACH BIOMASSEARTEN) | 65 |
| ABBILDUNG 32: | WELTWEITE NAHRUNGSMITTELVERLUSTE UND –VERSCHWENDUNG ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE IM JAHR 2011 | 66 |
| ABBILDUNG 33: | WELTWEITE DURCHSCHNITTLICHE FUTTEREFFIZIENZ NACH TIERARTEN..... | 67 |
| ABBILDUNG 34: | WELTWEITE DURCHSCHNITTLICHE FUTTEREFFIZIENZ NACH TIERARTEN UND PRODUKTIONSVERFAHREN | 68 |
| ABBILDUNG 35: | WELTWEITE STOFFLICHE NUTZUNG NACH SEKTOREN (2011) | 70 |
| ABBILDUNG 36: | PETROCHEMIKALIEN AUS ROHÖL UND ERDGAS..... | 76 |
| ABBILDUNG 37: | WICHTIGSTE BIO-BASIERTE BUILDING-BLOCKS MIT PRODUKTIONSKAPAZITÄTEN IN 2013..... | 79 |
| ABBILDUNG 38: | ROHSTOFFMIX IN DER DEUTSCHEN CHEMIE; JÄHRLICHE WACHSTUMSRATEN 2011-2030..... | 80 |
| ABBILDUNG 39: | STEIGERUNG DER RESSOURCENEFFIZIENZ DER DEUTSCHEN CHEMIE | 81 |
| ABBILDUNG 40: | WACHSTUM DER BASISCHEMIE IN DEUTSCHLAND UND DER WELT | 82 |
| ABBILDUNG 41: | WELTWEITE KUNSTSTOFFPRODUKTION 1950-2012 | 83 |
| ABBILDUNG 42: | LEBENSWEG VON KUNSTSTOFFEN 2012 (EU-27+N/CH)..... | 85 |
| ABBILDUNG 43: | ENTWICKLUNG VON RECYCLING, ENERGETISCHER NUTZUNG UND DEPONIERUNG VON KUNSTSTOFFABFÄLLEN IN EUROPA 2006 – 2012 (EU-27+N/CH) | 85 |
| ABBILDUNG 44: | BEHANDLUNG DER POST-CONSUMER-KUNSTSTOFFABFÄLLE IM JAHR 2012 IN DER EU-27+2..... | 86 |
| ABBILDUNG 45: | PRODUKTIONSKAPAZITÄTEN BIO-BASIERTER KUNSTSTOFFE IM JAHR 2013..... | 87 |
| ABBILDUNG 46: | ÜBERBLICK ÜBER ALLE ARTEN VON POLYMEREN INKLUSIVE FUNKTIONELLE KUNSTSTOFFE, SYNTHETISCHE FASERN UND KAUTSCHUK..... | 88 |
| ABBILDUNG 47: | BIOMASSENACHFRAGE DER EU-27 (2011, NACH SEKTOREN) | 93 |
| ABBILDUNG 48: | NAHRUNGSMITTELVERLUSTE UND –VERSCHWENDUNG ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE IN DER EU-27 IM JAHR 2011 | 94 |
| ABBILDUNG 49: | PRODUKTION TIERISCHER PRODUKTE, EU-27, 2011 | 96 |

| | | |
|---------------|--|-----|
| ABBILDUNG 50: | BILANZ VON ANGEBOT UND NACHFRAGE NACH FUTTERMITTELN ZUR HERLEITUNG DES FUTTERBEDARFS FÜR DEN INLÄNDISCHEN KONSUM TIERISCHER PRODUKTE..... | 96 |
| ABBILDUNG 51: | BIOMASSENACHFRAGE DEUTSCHLANDS (2011, NACH SEKTOREN) | 101 |
| ABBILDUNG 52: | NÄHRUNGSMITTELVERLUSTE UND – VERSCHWENDUNG ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE IN DEUTSCHLAND IM JAHR 2011 | 102 |
| ABBILDUNG 53: | BIOMASSEANGEBOT (WELT): VERGLEICH ZWISCHEN 2011 UND SZENARIEN FÜR 2050..... | 109 |
| ABBILDUNG 54: | NETTOPOTENZIALE FÜR REGENFELDBANAU NACH WELTREGIONEN | 111 |
| ABBILDUNG 55: | AUSDEHNUNG DER WELTWEITEN AGRARFLÄCHE (ACKER- UND DAUERKULTUREN): BAU- SZENARIEN UND <i>SAFE OPERATING SPACE</i> | 117 |
| ABBILDUNG 56: | ZUSAMMENFASSUNG DER WELTWEITEN FLÄCHENVERÄNDERUNGEN IM SZENARIO „2050 – BAU“..... | 118 |
| ABBILDUNG 57: | GRÜNDE FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE PRODUKTIONSSTEIFERUNGEN IN ENTWICKLUNGSLÄNDERN UND WELTWEIT | 119 |
| ABBILDUNG 58: | ENTWICKLUNG DES <i>MULTI-CROPPING-INDEX</i> , WELTWEIT UND KONTINENT-BEZOGEN | 121 |
| ABBILDUNG 59: | HISTORISCHE ENTWICKLUNG UND SZENARIEN DES <i>MULTI-CROPPING-INDEX</i> (WELT) | 122 |
| ABBILDUNG 60: | BIOMASSEANGEBOT (EU-27): VERGLEICH ZWISCHEN 2011 UND SZENARIEN FÜR 2050 | 132 |
| ABBILDUNG 61: | ZUSAMMENFASSUNG DER FLÄCHENVERÄNDERUNGEN IN DER EU-27 IM SZENARIO | 135 |
| | „2050 – BAU“ | 135 |
| ABBILDUNG 62: | HISTORISCHE ENTWICKLUNG DES <i>MULTI-CROPPING-INDEX</i> (EU-27) | 136 |
| ABBILDUNG 63: | BIOMASSEANGEBOT (DEUTSCHLAND): VERGLEICH ZWISCHEN 2011 UND SZENARIEN FÜR 2050 | 141 |
| ABBILDUNG 64: | ZUSAMMENFASSUNG DER FLÄCHENVERÄNDERUNGEN IN DEUTSCHLAND IM SZENARIO „2050 – BAU“ | 144 |
| ABBILDUNG 65: | HISTORISCHE ENTWICKLUNG DES <i>MULTI-CROPPING-INDEX</i> (DEUTSCHLAND) | 145 |
| ABBILDUNG 66: | WELTWEITE BIOMASSENACHFRAGE 2011 UND IN DEN SZENARIEN FÜR 2050 (NACH SEKTOREN)..... | 150 |
| ABBILDUNG 67: | WELTWEITE BIOMASSENACHFRAGE 2011 UND IN DEN SZENARIEN FÜR 2050 (NACH ROHSTOFFEN). | 151 |
| ABBILDUNG 68: | WELTWEITE VERLUSTE ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE DER AGRARPRODUKTION (2050) | 152 |
| ABBILDUNG 69: | WELTWEITE VERLUSTE ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE DER AGRARPRODUKTION (2050) | 152 |
| ABBILDUNG 70: | ANTEIL TIERISCHER KALORIEN AN DER DURCHSCHNITTLICHEN PRO-KOPF KALORIENVERSORGUNG (WELT) | 153 |
| ABBILDUNG 71: | WELTWEITER FUTTERBEDARF 2050: AUSWIRKUNGEN EINZELNER ANNAHMEN..... | 154 |
| ABBILDUNG 72: | FASERKONSUM NACH FASERART 2050, BAU UND BIO-BASIERTES SZENARIO..... | 165 |
| ABBILDUNG 73: | ZWEI UNTERSCHIEDLICHE WERTSCHÖPFUNGSKETTEN ZUR NUTZUNG VON BIOMASSE IN DER CHEMIE | 168 |
| ABBILDUNG 74: | BIOGENE ROHSTOFFARTEN, KONVERSIONSWEGE UND PRODUKTE BASIEREND AUF DER KLASSIFIZIERUNG VON BIORAFFINERIEEN NACH IEA BIOENERGY TASK42 2012..... | 170 |
| ABBILDUNG 75: | WELTWEITE BIOMASSE-NACHFRAGE DER CHEMISCHEN INDUSTRIE IN 2010 UND VERSCHIEDENEN SZENARIEN FÜR 2050 | 172 |
| ABBILDUNG 76: | ROHSTOFFBEDARF DER CHEMISCHEN INDUSTRIE WELTWEIT IM BAU-SZENARIO | 173 |
| ABBILDUNG 77: | WELTWEITE NACHFRAGE NACH CHEMISCHEN ROHSTOFFEN 2010 UND 2050 IN UNTERSCHIEDLICHEN SZENARIEN..... | 173 |
| ABBILDUNG 78: | WELTWEITE ENERGIENACHFRAGE 1971 BIS 2050 | 175 |
| ABBILDUNG 79: | ENERGIENACHFRAGE DER EU-27 1990 BIS 2050, AUSGEDRÜCKT IN MIO. T ERDÖLÄQUIVALENTEN | 176 |
| ABBILDUNG 80: | BIOENERGIENACHFRAGE DER EU-27 GEMÄß DER AUSBAUPLÄNE DER MITGLIEDSTAATEN | 177 |
| ABBILDUNG 81: | PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH DEUTSCHLAND 2050 IN DEN LEITSTUDIEN-SZENARIEN | 177 |
| ABBILDUNG 82: | ENTWICKLUNG DER WELTWEITEN NACHFRAGE NACH BIOMASSE FÜR DIE STOFFLICHE NUTZUNG IN DEN SZENARIEN FÜR 2050..... | 179 |
| ABBILDUNG 83: | BIOMASSENACHFRAGE DER EU-27 2011 UND IN DEN SZENARIEN FÜR 2050 (NACH SEKTOREN) | 184 |
| ABBILDUNG 84: | BIOMASSENACHFRAGE DER EU-27 2011 UND IN DEN SZENARIEN FÜR 2050 (NACH ROHSTOFFEN) | 184 |
| ABBILDUNG 85: | NÄHRUNGSMITTELVERLUSTE UND -VERSCHWENDUNG ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE IN DER EU-27 IM JAHR 2050 | 185 |
| ABBILDUNG 86: | ENTWICKLUNG DER NACHFRAGE DER EU-27 NACH BIOMASSE FÜR DIE STOFFLICHE NUTZUNG IN DEN SZENARIEN FÜR 2050 | 188 |

| | | |
|-----------------|---|-----|
| ABBILDUNG 87: | BIOMASSENACHFRAGE DEUTSCHLAND 2011 UND IN DEN SZENARIEN FÜR 2050 (NACH SEKTOREN) . | 192 |
| ABBILDUNG 88: | BIOMASSENACHFRAGE DEUTSCHLAND 2011 UND IN DEN SZENARIEN FÜR 2050 (NACH ROHSTOFFEN) | 192 |
| ABBILDUNG 89: | NÄHRUNGSMITTELVERLUSTE UND - VERSCHWENDUNG ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE IN DEUTSCHLAND IM JAHR 2050 | 193 |
| ABBILDUNG 90: | ENTWICKLUNG DER NACHFRAGE DEUTSCHLANDS NACH BIOMASSE FÜR DIE STOFFLICHE NUTZUNG IN DEN SZENARIEN FÜR 2050 | 196 |
| ABBILDUNG 91: | ÜBEREINSTIMMUNG VON ANGEBOT UND NACHFRAGE 2011, WELT | 200 |
| ABBILDUNG 92: | VERGLEICH ZWISCHEN BIOMASSEANGEBOTS- UND NACHFRAGESZENARIEN | 201 |
| ABBILDUNG 93: | ÜBEREINSTIMMUNG VON ANGEBOT UND NACHFRAGE 2011, EU-27 | 202 |
| ABBILDUNG 94: | VERGLEICH ZWISCHEN BIOMASSEANGEBOTS- UND NACHFRAGESZENARIEN (NACH BIOMASSEQUELLEN UND -VERWENDUNG) | 203 |
| ABBILDUNG 95: | ÜBEREINSTIMMUNG VON ANGEBOT UND NACHFRAGE 2011, DEUTSCHLAND | 204 |
| ABBILDUNG 96: | ÜBEREINSTIMMUNG VON ANGEBOT UND NACHFRAGE 2011, DEUTSCHLAND | 205 |
| ABBILDUNG 97: | WELTWEITES BIOMASSEANGEBOT 2011 | 212 |
| ABBILDUNG 98: | WELTWEITES BIOMASSEANGEBOT 2011 | 212 |
| ABBILDUNG 99: | WELTWEITE BIOMASSENACHFRAGE 2011 (NACH SEKTOREN) | 213 |
| ABBILDUNG 100: | VERGLEICH ZWISCHEN BIOMASSE-ANGEBOTS- UND -NACHFRAGESZENARIEN (NACH BIOMASSEQUELLEN UND -VERWENDUNG) | 214 |
| ABBILDUNG 101: | VERGLEICH ZWISCHEN BIOMASSE-ANGEBOTS- UND -NACHFRAGESZENARIEN (NACH HAUPTKOMPONENTEN) | 215 |
| ABBILDUNG 102: | VERGLEICH ZWISCHEN BIOMASSE-ANGEBOTS- UND -NACHFRAGESZENARIEN (NACH BIOMASSEQUELLEN UND -VERWENDUNG) | 221 |
| ABBILDUNG 103: | VERGLEICH ZWISCHEN BIOMASSE-ANGEBOTS- UND -NACHFRAGESZENARIEN (NACH BIOMASSEQUELLEN UND -VERWENDUNG) | 223 |
| | | |
| ABBILDUNG I.1: | WELTFASERMARKT 2011, ANTEILE VON SYNTHETIK-, CELLULOSE- UND NATURFASERN | 226 |
| ABBILDUNG I.2: | WELTWEITER KUNSTFASERMARKT 2011 NACH FASERTYP | 227 |
| ABBILDUNG I.3: | ANTEILE DER NATURFASERARTEN 2011 | 229 |
| ABBILDUNG I.4: | WELTWEITER FASERVERBRAUCH 1980 – 2013 | 229 |
| ABBILDUNG I.5: | MARKTANTEILE DER WICHTIGSTEN FASERARTEN 1965 – 2013. | 230 |
| ABBILDUNG I.6: | WELTWEITE PRODUKTION VON BAUMWOLLE, WOLLE, NATURFASERN UND KUNSTFASERN 1981— 2013 | 231 |
| ABBILDUNG I.7: | PRODUKTION VON CELLULOSEFASERN 1930-2010 (QUELLE: THE FIBER YEAR 2014) | 232 |
| ABBILDUNG I.8: | WELTWEITE PRODUKTION VON VLIESSTOFFEN 2000 – 2013 | 233 |
| ABBILDUNG I.9: | WACHSTUMSPROJEKTION FÜR DEN TEXTILMARKT 2005 – 2020 NACH REGIONEN | 234 |
| ABBILDUNG I.10: | FASERKONSUM NACH FASERART 2050, BAU UND BIO-BASIERTES SZENARIO | 236 |
| | | |
| ABBILDUNG II.1: | ANZAHL DER WELTWEIT IN NUTZUNG BEFINDLICHEN KRAFTFAHRZEUGE NACH REGION UND TYP IM JAHR 2011 | 237 |
| ABBILDUNG II.2: | WACHSTUMSPROGNOSEN DER WELTWEITEN PKW-PRODUKTION (QUELLE: SCHADE ET AL. 2012) | 238 |
| ABBILDUNG II.3: | VERÄNDERUNG DER MATERIALZUSAMMENSETZUNG IM AUTOMOBIL IM ZEITRAUM VON 1975 BIS 2000 | 240 |
| ABBILDUNG II.4: | ENTWICKLUNG DES KUNSTSTOFFEINSATZES IM AUTOMOBIL IN EUROPA VON 2009 BIS 2019 | 241 |
| ABBILDUNG II.5: | PROGNOSTIZIERTER UMSATZANTEIL WICHTIGER KUNSTSTOFFTYPEN IN AUTOMOBILANWENDUNGEN IN EUROPA 2019 | 241 |
| ABBILDUNG II.6: | ENTWICKLUNG DER LEERGEWICHTE VERSCHIEDENER PKW IM ZEITRAUM VON 1970 BIS 2002 | 242 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------|---|-----|
| TABELLE 1: | NACHHALTIGKEITSANFORDERUNGEN NACH BIOStNACHV UND BIOKRAFT-NACHV | 17 |
| TABELLE 2: | GENÜBERSTELLUNG DER WELTWEITEN ACKER- UND DAUERKULTURFLÄCHEN MIT ZERTIFIZIERTEN FLÄCHEN UNTERSCHIEDLICHER ZERTIFIZIERUNGSSYSTEME (AUSWAHL) | 18 |
| TABELLE 3: | ABSCHÄTZUNG DER WELTWEITEN FLÄCHEN, DIE DURCH ZERTIFIZIERUNGSSYSTEME AN EINE NACHHALTIGE BEWIRTSCHAFTUNG GEBUNDEN SIND | 20 |
| TABELLE 4: | BEISPIELE FÜR GROßVOLUMIG PRODUZIERTE ANORGANISCHE CHEMIKALIEN | 25 |
| TABELLE 5: | CHLOR, BROM UND FLOR: GLOBALE PRODUKTION, PRODUZENTEN UND VERBRAUCHER | 26 |
| TABELLE 6: | BEISPIELE FÜR HALOGENVERBINDUNGEN | 26 |
| TABELLE 7: | BASISDATEN: GLOBALE LANDFLÄCHE 2010/11 | 31 |
| TABELLE 8: | WELTWEITE GEERNTETE AGRARBIOMASSE 2011 | 37 |
| TABELLE 9: | WELTWEITES AUFKOMMEN UND GENUTZTE MENGE AN ERNTENEHENPRODUKTEN 2011 | 40 |
| TABELLE 10: | BASISDATEN: LANDFLÄCHE DER EU-27 2011 | 48 |
| TABELLE 11: | GEERNTETE AGRARBIOMASSE IN DER EU-27 IM JAHR 2011 | 49 |
| TABELLE 12: | AUFKOMMEN UND GENUTZTE MENGE AN ERNTENEHENPRODUKTEN IN DER EU-27 (2011) | 54 |
| TABELLE 13: | BASISDATEN: LANDFLÄCHE DEUTSCHLANDS 2010/11 | 57 |
| TABELLE 14: | GEERNTETE AGRARBIOMASSE IN DEUTSCHLAND IM JAHR 2011 | 57 |
| TABELLE 15: | VERGLEICH GEERNTETER FUTTERPFLANZEN IN DEUTSCHLAND 2011 NACH BMEL UND FAO | 58 |
| TABELLE 16: | AUFKOMMEN UND GENUTZTE MENGE AN ERNTENEHENPRODUKTEN IN DEUTSCHLAND 2011 | 62 |
| TABELLE 17: | WELTWEITE DURCHSCHNITTLICHE VERSORGUNG MIT NÄHRSTOFFEN IM JAHR 2011 | 66 |
| TABELLE 18: | WELTWEITE DURCHSCHNITTLICHE FUTTERMITTELEFFIZIENZ JE NÄHRSTOFF | 69 |
| TABELLE 19: | WELTWEITE NACHFRAGE NACH BIOMASSE FÜR DIE STOFFLICHE NUTZUNG (IN Mio. t TM) | 69 |
| TABELLE 20: | ORGANISCHER ROHSTOFFBEDARF DER CHEMISCHEN INDUSTRIE WELTWEIT (2010 +/- 2 JAHRE) | 72 |
| TABELLE 21: | VERWENDUNG DES ERDÖLS IN VERSCHIEDENEN SEKTOREN WELTWEIT IN 2010 | 73 |
| TABELLE 22: | ROHSTOFFBEDARF DER CHEMISCHEN INDUSTRIE IN DEUTSCHLAND (2011), EUROPA (2011) UND DER WELT (2010) | 74 |
| TABELLE 23: | DIE SIEBEN WICHTIGSTEN ORGANISCHEN MASSEN-CHEMIKALIEN UND IHRE VIELFÄLTIGEN ANWENDUNGEN | 77 |
| TABELLE 24: | PRODUKTIONSVOLUMEN UND TRENDS FÜR DIE SIEBEN WICHTIGSTEN ORGANISCHEN BASISCHE- CHEMIKALIEN IN 1990 UND 2010 | 78 |
| TABELLE 25: | BASIS-CHEMIKALIEN: GRÖßTE PRODUZENTEN UND ABNEHMER | 78 |
| TABELLE 26: | BASIS-CHEMIKALIEN: PROGNOSTIZIERTES DURCHSCHNITTLICHES WACHSTUM DER NACHFRAGE IN VERSCHIEDENEN REGIONEN | 79 |
| TABELLE 27: | ANZAHL VON PRODUZENTEN UND STANDORTEN SOWIE PRODUKTIONSKAPAZITÄTEN BIO- BASIERTER KUNSTSTOFFE IM JAHR 2013 | 87 |
| TABELLE 28: | WELTWEITE NUTZUNG VON BIOMASSE FÜR STROM UND WÄRME 2011 | 91 |
| TABELLE 29: | UMRECHNUNG DER WELTPRODUKTION VON BIODIESEL UND BIOETHANOL IN BIOMASSEBEDARF | 92 |
| TABELLE 30: | DURCHSCHNITTLICHE VERSORGUNG MIT NÄHRSTOFFEN IN DER EU-27 IM JAHR 2011 | 94 |
| TABELLE 31: | NACHFRAGE NACH BIOMASSE FÜR DIE STOFFLICHE NUTZUNG IN DER EU-27 (IN Mio. t TM) | 98 |
| TABELLE 32: | NUTZUNG VON BIOMASSE FÜR STROM UND WÄRME IN DER EU-27 IM JAHR 2011 | 99 |
| TABELLE 33: | UMRECHNUNG DES INLANDSVERBRAUCHS UND EXPORTS | 100 |
| TABELLE 34: | DURCHSCHNITTLICHE VERSORGUNG MIT NÄHRSTOFFEN IN DEUTSCHLAND IM JAHR 2011 | 102 |
| TABELLE 35: | NACHFRAGE NACH BIOMASSE FÜR DIE STOFFLICHE NUTZUNG IN DEUTSCHLAND (IN Mio. t TM) | 104 |
| TABELLE 36: | NUTZUNG VON BIOMASSE FÜR STROM UND WÄRME IN DEUTSCHLAND IM JAHR 2011 | 106 |
| TABELLE 37: | UMRECHNUNG DES INLANDSVERBRAUCHS UND EXPORTS VON BIOKRAFTSTOFFEN IN DEUTSCHLAND | 107 |
| TABELLE 38: | MODELLANNAHMEN FÜR DIE BELEGUNG DER GLOBALEN LANDFLÄCHE IN 2050 IM VERGLEICH ZU DEN BASISDATEN 2011 | 110 |
| TABELLE 39: | LAND MIT POTENZIAL FÜR REGENFELDBAU | 111 |
| TABELLE 40: | JÄHRLICH DURCH DEGRADATION VERLOREN GEHENDE AGRARFLÄCHE | 113 |
| TABELLE 41: | HEKTARERTRÄGE WICHTIGER ACKERKULTUREN: ENTWICKLUNG UND PROGNOSEN | 120 |
| TABELLE 42: | ERGEBNISSE AUF BASIS DER MODELLANNAHMEN IM BAU-SZENARIO ZUR GEERNTETEN AGRARBIOMASSE 2050 (WELT) | 123 |
| TABELLE 43: | ZUSAMMENFASSUNG ALLER BASISDATEN UND MODELLANNAHMEN FÜR 2011 UND 2050 | 128 |
| TABELLE 44: | ZUSAMMENFASSUNG ALLER BASISDATEN UND MODELLANNAHMEN FÜR 2011 UND 2050 (WELT) | 130 |
| TABELLE 45: | LANDFLÄCHEN DER EU-27 IN DEN SZENARIEN FÜR 2050 GEGENÜBER 2011 | 132 |
| TABELLE 46: | LAND MIT POTENZIAL FÜR REGENFELDBAU (WEIZEN, EU-27) | 133 |
| TABELLE 47: | ERGEBNISSE ZUR GEERNTETEN AGRARBIOMASSE IN DER EU-27 IM JAHR 2050 AUF BASIS DER MODELLANNAHMEN IM BAU-SZENARIO | 137 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| TABELLE 48: | ZUSAMMENFASSUNG ALLER BASISDATEN UND MODELLANNAHMEN FÜR 2011 UND 2050 (EU-27) | 140 |
| TABELLE 49: | LANDFLÄCHEN DEUTSCHLANDS IN DEN SZENARIEN FÜR 2050 GEGENÜBER 2011 | 141 |
| TABELLE 50: | LAND MIT POTENZIAL FÜR REGENFELDBAU (WEIZEN, DEUTSCHLAND) | 142 |
| TABELLE 51: | ERGEBNISSE ZUR GEERNTETEN AGRARBIOMASSE IN DEUTSCHLAND IM JAHR 2050 AUF BASIS DER MODELLANNAHMEN IM BAU-SZENARIO | 146 |
| TABELLE 52: | ZUSAMMENFASSUNG ALLER BASISDATEN UND MODELLANNAHMEN FÜR 2011 UND 2050 (DEUTSCHLAND)..... | 149 |
| TABELLE 53: | JÄHRLICHE WACHSTUMSRATEN FÜR DIE CHEMIEPRODUKTION FÜR VERSCHIEDENE ZEITSPANNEN UND REGIONEN | 155 |
| TABELLE 54: | JÄHRLICHE WACHSTUMSRATEN FÜR DIE PRODUKTION VON KUNSTSTOFFEN UND ÄHNLICHEN MATERIALIEN FÜR VERSCHIEDENE SEKTOREN, ZEITSPANNEN UND REGIONEN | 157 |
| TABELLE 55: | WACHSTUMSRATEN UNTERSCHIEDLICHER POLYMERE BIS 2015 | 161 |
| TABELLE 56: | ABSCHÄTZUNG DER KUNSTSTOFFNACHFRAGE IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE IM JAHR 2011 UND 2050. | 162 |
| TABELLE 57: | FASERKONSUM NACH FASERART 2050, BAU UND BIO-BASIERTES SZENARIO | 164 |
| TABELLE 58: | NUTZUNG VON NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN IN DER CHEMIE..... | 166 |
| TABELLE 59: | US-MARKTPOTENZIAL BIO-BASIERTER CHEMIKALIEN | 167 |
| TABELLE 60: | GRUNDSÄTZLICHE UNTERSCHIEDE VON DROP-IN- UND DEDIZIERTEN STRATEGIEN FÜR DIE STÄRKERE EINFÜHRUNG VON BIOMASSE IN DIE CHEMIE | 169 |
| TABELLE 61: | PRODUKTION FOSSILER KOHLENSTOFFTRÄGER WELTWEIT IN 2010 UND 2030 | 174 |
| TABELLE 62: | SZENARIEN ZUR ENTWICKLUNG DER ENERGIENACHFRAGE..... | 174 |
| TABELLE 63: | ANNAHMEN ZUR ENTWICKLUNG DER NACHFRAGE NACH BIOMASSE FÜR DIE STOFFLICHE NUTZUNG IN DEN SZENARIEN FÜR 2050 | 179 |
| TABELLE 64: | WELTWEITE NUTZUNG VON BIOMASSE FÜR STROM UND WÄRME 2050 (SZENARIO BAU)..... | 181 |
| TABELLE 65: | WELTWEITE NUTZUNG VON BIOMASSE FÜR STROM UND WÄRME 2050 (SZENARIEN BIO-BASED UND BIO-BASED HOCH)..... | 182 |
| TABELLE 66: | ZUSAMMENFASSUNG DER BASISDATEN UND ANNAHMEN ZUR WELTWEITEN BIOMASSENACHFRAGE . | 183 |
| TABELLE 67: | ANNAHMEN ZUR ENTWICKLUNG DER NACHFRAGE DER PRODUZIERENDEN INDUSTRIE ZUR DECKUNG DER BINNEN- UND EXPORTNACHFRAGE NACH BIOMASSE FÜR DIE STOFFLICHE NUTZUNG IN DEN SZENARIEN FÜR 2050 (EU-27) | 187 |
| TABELLE 68: | NUTZUNG VON BIOMASSE FÜR STROM UND WÄRME IN DER EU-27 IM JAHR 2050 (SZENARIO BAU) | 189 |
| TABELLE 69: | NUTZUNG VON BIOMASSE FÜR STROM UND WÄRME IN DER EU-27 IM JAHR 2050 (SZENARIEN BIO- BASED UND BIO-BASED HOCH)..... | 190 |
| TABELLE 70: | ZUSAMMENFASSUNG DER BASISDATEN UND ANNAHMEN ZUR BIOMASSENACHFRAGE DER EU-27 | 191 |
| TABELLE 71: | ANNAHMEN ZUR ENTWICKLUNG DER NACHFRAGE DER PRODUZIERENDEN INDUSTRIE ZUR DECKUNG DER BINNEN- UND EXPORTNACHFRAGE NACH BIOMASSE FÜR DIE STOFFLICHE NUTZUNG IN DEN SZENARIEN FÜR 2050 (DEUTSCHLAND) | 195 |
| TABELLE 72: | NUTZUNG VON BIOMASSE FÜR STROM UND WÄRME IN DEUTSCHLAND IM JAHR 2050 (SZENARIO BAU) | 197 |
| TABELLE 73: | NUTZUNG VON BIOMASSE FÜR STROM UND WÄRME IN DEUTSCHLAND 2050 (SZENARIEN BIO-BASED UND BIO-BASED HOCH) | 198 |
| TABELLE 74: | ZUSAMMENFASSUNG DER BASISDATEN UND ANNAHMEN ZUR BIOMASSENACHFRAGE DEUTSCHLANDS..... | 199 |
| TABELLE 75: | TRENDS, DIE ZUR NUTZUNG WEITERER LANDFLÄCHEN FÜHREN, DIE BISHER NICHT ERSCHLOSSEN WERDEN KONNTEN | 206 |
| TABELLE 76: | TRENDS, DIE ZUR NUTZUNG VON WASSERFLÄCHEN UND NEUEN BIOMASSESTRÖMEN FÜHREN, DIE BISHER NICHT ERSCHLOSSEN WERDEN KONNTEN..... | 207 |
| TABELLE 77: | TRENDS, DIE ZU HÖHERER BIOMASSEPRODUKTION FÜHREN KÖNNEN | 208 |
| TABELLE 78: | TRENDS, DIE ZU EINER REDUZIERUNG DER NACHFRAGE FÜHREN..... | 209 |
| TABELLE 79: | WELCHE MENGEN AN BIOMASSE (IN MRD. T TM) BLEIBEN WELTWEIT FÜR BOKRAFTSTOFFE IM JAHR 2050 ÜBRIG?..... | 218 |
| TABELLE I.1: | KUNSTFASERN NACH FASERGRUPPE, POLYMEREN UND MARKEN..... | 228 |
| TABELLE I.2: | MARKTPROJEKTIONEN FÜR DEN FASER- UND TEXTILMARKT | 234 |
| TABELLE I.3: | FASERKONSUM NACH FASERART 2050, BAU UND BIO-BASIERTES SZENARIO | 235 |

| | | |
|---------------|--|-----|
| TABELLE II.1: | DURCHSCHNITTLICHE MATERIALZUSAMMENSETZUNG VON AUTOMOBILEN DER MITTELKLASSE | 239 |
| TABELLE II.2: | ABSCHÄTZUNG DER KUNSTSTOFFNACHFRAGE IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE IM JAHR 2011 UND 2050 | 243 |

Danksagung

Wir danken für ihre Unterstützung bei der Erstellung einzelner Kapitel dieser Studie:

MSc. Agr. Economics Elke Breitmayer, Dr. rer. nat. Asta Eder, M.A. Mathias Lederle, MA Materialwissenschaften Adriana Sanz Mirabal, Dipl.-Biol. Achim Raschka, Dipl. Wirtsch.-Ing. Lena Scholz

Des Weiteren danken wir allen Experten, die als Interviewpartner sowie durch ihre Teilnahme an Expertenworkshops in Berlin (16.12.2013), Köln (03.07.2014) und Berlin (24.11.2014) und weiteren Workshops im Rahmen anderer Projekte (z. B. SCAR Foresight Exercise Bioeconomy) dazu beigetragen haben, die diese Studie zu optimieren.



Das nova-Institut wurde 1994 als privates und unabhängiges Institut gegründet und ist im Bereich der Forschung und Beratung tätig. Der Fokus liegt auf der bio-basierten und der CO₂-basierten Ökonomie in den Bereichen Rohstoffversorgung, technisch-ökonomische Evaluierung, Marktforschung, Ökobilanzen (LCA), Öffentlichkeitsarbeit, B2B-Kommunikation und politischen Rahmenbedingungen. Mit einem Team von 25 Mitarbeitern erzielt das nova-Institut einen jährlichen Umsatz von über 2 Mio. €.