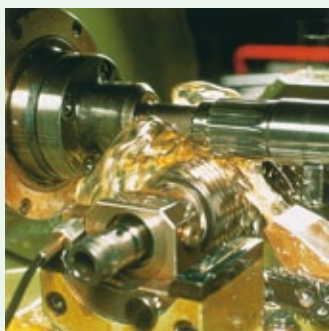


# Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie



**Stoffliche  
Nutzung von  
Agrar- und  
Holzrohstoffen  
in Deutschland**



Bundesministerium für  
Ernährung, Landwirtschaft  
und Verbraucherschutz





## Impressum

### Herausgeber:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)  
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow  
Tel.: 0 38 43/69 30 - 0 • Fax: 0 38 43/69 30 - 1 02  
info@fnr.de • www.fnr.de

Mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

### Autor:

Dr. Dietmar Peters, FNR  
unter Mitarbeit von  
Dr. Norbert Holst,  
Birgit Herrmann,  
Sönke Lulies und  
Henryk Stolte, FNR

### Danksagung:

Für die kritische Durchsicht einzelner Kapitel danken die Autoren Prof. Dr. Klaus-Dieter Vorlop, vTI und Dr. Björn Seintsch, vTI

### Bilder:

BMELV, Daimler AG, DIGITALstock, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Fotolia.com, Fuchs Petrolub AG, Land Sachsen-Anhalt, Lenzing AG, Theresa Fehrmann

### Gestaltung und Realisierung:

www.tangram.de, Rostock

### Druck und Verarbeitung:

www.druckerei-weidner.de, Rostock

3. vollständig überarbeitete Auflage, 2010

## Inhaltsverzeichnis

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | <b>Vorwort</b>  | 4  |
| 2   | <b>Stand der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland</b>                                | 6  |
| 3   | <b>Erzeugung land- und forstwirtschaftlicher Rohstoffe in Deutschland</b>                                   | 12 |
| 3.1 | Anbau pflanzlicher Rohstoffe  | 12 |
| 3.2 | Holzaufkommen   | 15 |
| 4   | <b>Verwendung landwirtschaftlicher Rohstoffe im industriellen Bereich</b>                                   | 22 |
| 4.1 | Einführung  | 22 |
| 4.2 | Oleochemische Anwendungen   | 26 |
| 4.3 | Biobasierte Werkstoffe  | 35 |
| 4.4 | Kohlenhydrat-basierte organische Grundchemikalien, Fein- und Spezialchemikalien, chemische Zwischenprodukte | 47 |
| 4.5 | Anwendungen und Produkte auf Basis von sonstigen nachwachsenden Rohstoffen                                  | 62 |
| 5   | <b>Verwendung von Holz im stofflichen Bereich</b>   | 66 |
| 5.1 | Einführung  | 66 |
| 5.2 | Sägeindustrie   | 70 |
| 5.3 | Holzwerkstoffindustrie  | 72 |
| 5.4 | Zellstoff- und Papierindustrie  | 74 |
| 6   | <b>Fazit und Ausblick</b>   | 76 |
| 7   | <b>Weiterführende Literatur</b>   | 80 |

# 1 Vorwort

Die Produktion nachwachsender Rohstoffe gehörte neben der Bereitstellung hochwertiger Nahrungs- und Futtermittel seit alters her zu den Hauptaufgaben der Landwirtschaft. In den zurückliegenden Jahrhunderten war es die Land- und Forstwirtschaft, die einen Großteil der Rohstoffe für Farbstoffe, Lampenöle, Schmier- und Reinigungsmittel sowie der Fasern für die Textilherstellung oder des Holzes für den Hausbau lieferte. Der Reichtum ganzer Regionen in Deutschland und Europa gründete auf dem Anbau der Pflanzen und dem Handel mit den aus ihnen gewonnenen Rohstoffen. Im Laufe der Zeit verschoben sich die Schwerpunkte deutlich. Fossile Rohstoffe wie Kohle, Erdöl oder Erdgas wurden entdeckt und eingesetzt. Synthetische Produkte rückten rasch an die Stelle der pflanzlichen.

Die chemische Industrie ist in vielen Bereichen ihrer Produktion auf kohlenstoffhaltige Rohstoffquellen angewiesen. Dies können fossile oder nachwachsende Rohstoffe sein. Jedoch nur die nachwachsenden Rohstoffe sind erneuerbare Rohstoffe, da sie immer wieder in Pflanzen gebildet werden. Heute weiß man um die Endlichkeit des Erdöls und spürt in Krisenzeiten die Auswirkungen der Importabhängigkeit. Auch ökologische Argumente gewinnen an Gewicht und lassen den Ruf nach nachhaltigen Produkten laut werden. Daneben hat ein verändertes Verbraucherverhalten mit steigendem Gesundheits- und Umweltbewusstsein und dem Ruf nach nachhal-

tig erzeugten Produkten dazu geführt, dass pflanzliche Rohstoffe wieder zunehmend in den Fokus des industriellen Interesses und der Verbraucher rücken.

An die jahrzehntelang praktizierte Verarbeitung fossiler Rohstoffe gewöhnt, muss sich die Industrie den Nutzen nachwachsender Rohstoffe erst wieder erschließen. Herkömmliche Verarbeitungsmethoden müssen umgestellt, neue entwickelt werden – eine lohnende Aufgabe in Anbetracht der ökologischen Vorteile, aber auch der interessanten Märkte für Produkte auf der Basis nachwachsender Rohstoffe. Die Pflanze als Rohstofflieferant gehört zu den als innovationspolitisch besonders wichtig identifizierten Zukunftsfeldern. Die deutsche Industrie, allen voran die chemische Industrie, verarbeitet heute wieder in bedeutendem Umfang land- und forstwirtschaftliche Rohstoffe. Weit mehr als zehn Prozent der organischen Rohstoffe der chemischen Industrie sind nachwachsend. Darüber hinaus ist die Holzverarbeitende Industrie ein bedeutender Wirtschaftszweig, der mit dem Rohstoff Holz eine Wertschöpfung erzielt, die über die anderer Industrien weit hinausgeht.

Ein wichtiger Impuls, um neben der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe auch die stoffliche Nutzung voranzubringen, ist der 2009 verabschiedete „Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe“. Der Aktionsplan ist ein

Gesamtkonzept sowohl für eine deutliche und anhaltende Steigerung des Biomasseanteils in der Industrie als auch der Verbesserung der Effizienz des Biomasseeinsatzes bei der Rohstoffversorgung in Deutschland unter Beachtung der Ziele und Anforderungen der Nachhaltigkeit. Damit soll zugleich die international führende Rolle Deutschlands bei der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe gesichert und ausgebaut werden.

Die Broschüre vermittelt einen Überblick über die Möglichkeiten der stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland und zeigt auf, welche bedeutende Rolle Agrarrohstoffe und Holz für die Industrie bereits heute spielen. Basierend auf verschiedenen aktuellen Studien, die durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) gefördert wurden, auf aktualisierten statistischen Daten von Eurostat und Destatis sowie auf neuen Erhebungen und Schätzungen der FNR sind nunmehr belastbare Daten für das Jahr 2007 und die Vorjahre sowie vorläufige Angaben für die Jahre 2008 und 2009 verfügbar.



Dr.-Ing. Andreas Schütte



## 2 Bedeutung und Stand der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland

Als „Nachwachsende Rohstoffe“ bezeichnet man land- und forstwirtschaftlich erzeugte Biomasse, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel Verwendung findet. Im Unterschied zu den nachwachsenden Rohstoffen werden unter dem Term Biomasse alle durch Lebewesen rezent<sup>1</sup> anfallenden bzw. erzeugten organischen Stoffe zusammengefasst. Biomasse verbleibt entweder im Ökosystem oder wird durch den Menschen als Rohstoff für die Ernährung bzw. die stoffwandelnde Industrie oder die Energieerzeugung genutzt.

Dank der Vielfalt der Natur gibt es eine große Bandbreite an nachwachsenden Rohstoffen. Fast alle gängigen Nutzpflanzen werden schon heute in der einen oder anderen Form auch als Energieträger zur Erzeugung von Wärme, Strom und anderen Energieformen oder als Rohstoff für die stoffliche Nutzung verwendet. Ständig entdeckt und erforscht man die Eignung dieser Pflanzen für neue Aufgaben oder prüft bislang noch gar nicht genutzte Arten auf ihr Potential. Dabei richtet sich das Forscherinteresse nicht nur auf Nutzpflanzen, auch Wildpflanzen und schließlich eine Reihe tierischer Produkte kommen in Frage. Darüber hinaus zählen auch

biogene Neben-, Rest- und Abfallstoffe (beispielsweise Stroh, Hanfschäben, Melasse, Glycerin aus der Fettsäurespaltung, Waldrestholz, Sägenebenprodukte, Molke, Gülle, Schlachtabfälle), die bei der land- und forstwirtschaftlichen Produktion anfallen zu den nachwachsenden Rohstoffen.

Bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe gehört Deutschland weltweit zu den führenden Ländern. Eine leistungsfähige Industrie und eine starke Forschungslandschaft bilden gute Ausgangsbedingungen, um diese Stellung auszubauen. Darüber hinaus kann die nachhaltige Produktion und Nutzung nachwachsender Rohstoffe dazu beitragen, Wertschöpfung und Beschäftigung auch im ländlichen Raum als Ort der Rohstoffherzeugung und Erstverarbeitung zu stärken. Eine sichere und nachhaltige Rohstoffversorgung hat für unser an eigenen Rohstoffvorkommen relativ armes Land besondere Bedeutung. Die Verfügbarkeit fossiler Rohstoffe ist begrenzt. Die zunehmende Knappheit fossiler Rohstoffe lässt tendenziell einen Preisanstieg erwarten. Hinzu kommt, dass ein Teil der in Deutschland genutzten fossilen Rohstoffe aus politisch instabilen Regionen stammt. Vor die-

sem Hintergrund kommt dem Dreieck aus Rohstoffeinsparung, Verbesserung der Rohstoffeffizienz und verstärkter Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland besondere Bedeutung zu.

Der Schutz des Klimas ist eine der großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Deutschland und die Europäische Union haben sich ambitionierte Klimaschutzziele gesetzt. Nachwachsende Rohstoffe können durch Substitution fossiler Rohstoffe zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen. Die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe führt in der Regel zur Einsparung fossiler Rohstoffe und zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen, wobei sie Kohlenstoff je nach Lebenszyklus des Produkts teilweise über einen langen Zeitraum binden. Allerdings variieren die Umweltwirkungen nachwachsender Rohstoffe in der stofflichen Nutzung maßgeblich in Abhängigkeit von den Verfahren und Erträgen des landwirtschaftlichen Anbaus, der Konversionstechnologie, dem Produkt und seiner Lebensdauer sowie von Recycling- und Entsorgungsverfahren. Produkte, die aus landwirtschaftlichen Reststoffen oder Nebenprodukten



hergestellt werden, schneiden in der Regel bei den Umweltwirkungen günstiger ab. Im Gegensatz zur Bioenergie gibt es allerdings für die stoffliche Nutzung bisher keine Gesamtabschätzung der realisierbaren CO<sub>2</sub>-Einsparungspotentiale.

In Deutschland wurden im Jahre 2008 etwa 14% des Erdöls und rund 4% der gesamten fossilen Rohstoffe (Erdöl, Erdgas, Kohle) in der chemischen Industrie stofflich genutzt, während jeweils der Rest zur Energiegewinnung (Strom, Wärme, Kraftstoffe) verwendet wurde (Abb. 2.1). Während es für die Energieerzeugung verschiedene erneuerbare Energieträger gibt, sind für die stoffliche Nutzung in der chemischen Industrie nachwachsende Rohstoffe die einzige Alternative zu fossilen Rohstoffen. Die chemische Industrie ist für die industrielle Stoffproduktion von organischen Chemikalien in großem Umfang auf Kohlenstoffquellen angewiesen. Durch photosynthetische Fixierung von Kohlendioxid durch Pflanzen gebildete Biomasse ist hier kurz- und mittelfristig die einzige erneuerbare Quelle.

<sup>1</sup> Im Falle von Biomasse umfasst rezent zeitlich einen Zeitraum vom einigen Hundert Jahren und grenzt sich so vom Begriff fossil ab.

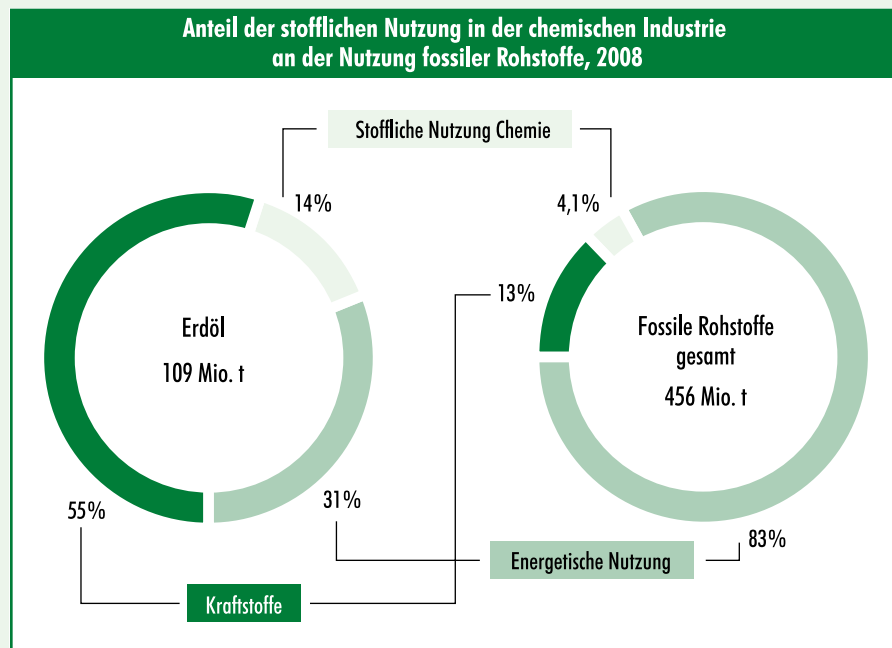


Abb. 2.1: Anteil der stofflichen Nutzung in der chemischen Industrie an der Nutzung fossiler Rohstoffe in Deutschland im Jahre 2008 (Quelle: (VCI)<sup>2</sup>; Stand: Februar 2010), prozentualer Anteil bezogen auf Tonnen Rohstoff

Nachwachsende Rohstoffe können eine wettbewerbsfähige Alternative zu fossilen Rohstoffen sein. Das zeigt der langjährige Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen in der chemischen Industrie. Dies ist bemerkenswert, da sich die stoffliche Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland bislang unter Marktbedingungen nahezu ohne staatliche Förderung behauptet hat. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass in vielen Bereichen der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe eine sehr hohe Technologietiefe herrscht. Die

Produkte müssen ein komplexes Anforderungs- und Eigenschaftsprofil erfüllen, und es bestehen hohe technologische Herausforderungen. Diese beiden Gegebenheiten sind – neben weiteren Faktoren – eine Erklärung für den in den letzten Jahren mengenmäßig geringeren Zuwachs der stofflichen Nutzung im Vergleich zum Zuwachs der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland.

Deutschland verfügt bei einer Gesamtfläche von 35,7 Mio. ha über rund 17 Mio. ha (= 53%) landwirtschaftliche Nutzfläche (etwa 12 Mio. ha Ackerland und 5 Mio. ha Grünland) und ca. 11 Mio. ha (= 29%) Waldfläche, die als Quelle von Agrarrohstoffen bzw. Holz zur Verfügung stehen. Die Land- und Forstwirtschaft liefert bereits heute mit pflanzlichen und tierischen Rohstoffen die materielle Grundlage für eine Vielzahl verschiedener Gewerbe und Industrien, die nicht zum Nahrungs- und Futtermittelbereich gehören. Die große wirtschaftliche Bedeutung dieser Wirtschaftsbereiche ist nicht für jeden gleich erkennbar, denn viele Produkte sind nicht unmittelbar sichtbar oder man weiß einfach nicht, dass sie aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt sind.

Im Bereich der stofflichen Nutzung finden etwa 15% der einheimischen Agrarrohstoffe und rund 60% des inländischen Holzaufkommens ihre Verwendung. Darüber hinaus werden zusätzlich beträchtliche Mengen an nachwachsenden Rohstoffen aus Europa und Übersee zur Verarbeitung in Deutschland importiert. Schätzungsweise werden in Deutschland mengenmäßig insgesamt etwa 15% der eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe für die stoffliche Nutzung impor-

tiert. In der Chemieindustrie beträgt der Importanteil bei nachwachsenden Rohstoffen gegenwärtig rund 60%. Man darf jedoch nicht vergessen, dass auch ein beträchtlicher Teil der auf Basis nachwachsender Rohstoffe hergestellten Produkte exportiert und nur ein gewisser Anteil im Inland verbraucht wird. Auch dies unterscheidet die stoffliche von der energetischen Nutzung.

Im industriellen Bereich<sup>3</sup> wurden in 2008 in Deutschland rund 3,6 Mio. t nachwachsende Rohstoffe stofflich genutzt, die sich in rd. 1,45 Mio. t Öle und Fette, rd. 1,48 Mio. t Kohlenhydrate und rd. 0,65 Mio. t sonstige nachwachsende Rohstoffe aufteilen (Abb. 2.2). Die chemisch-pharmazeutische Industrie setzt davon etwa 2,7 Mio. t ein. Hinzu kommen noch importierte chemische Zwischenprodukte/Halbwaren und Fertigwaren auf Basis nachwachsender Rohstoffe.<sup>4</sup>

Darüber hinaus benötigt auch die Holzverarbeitende Industrie in 2008 mit rund 72 Mio. Kubikmetern (etwa 36 Mio. t) beträchtliche Mengen an Holzrohstoffen. Hinzu kommen noch Altpapier und importierte Holzhalbwaren und Holzfertigwaren.

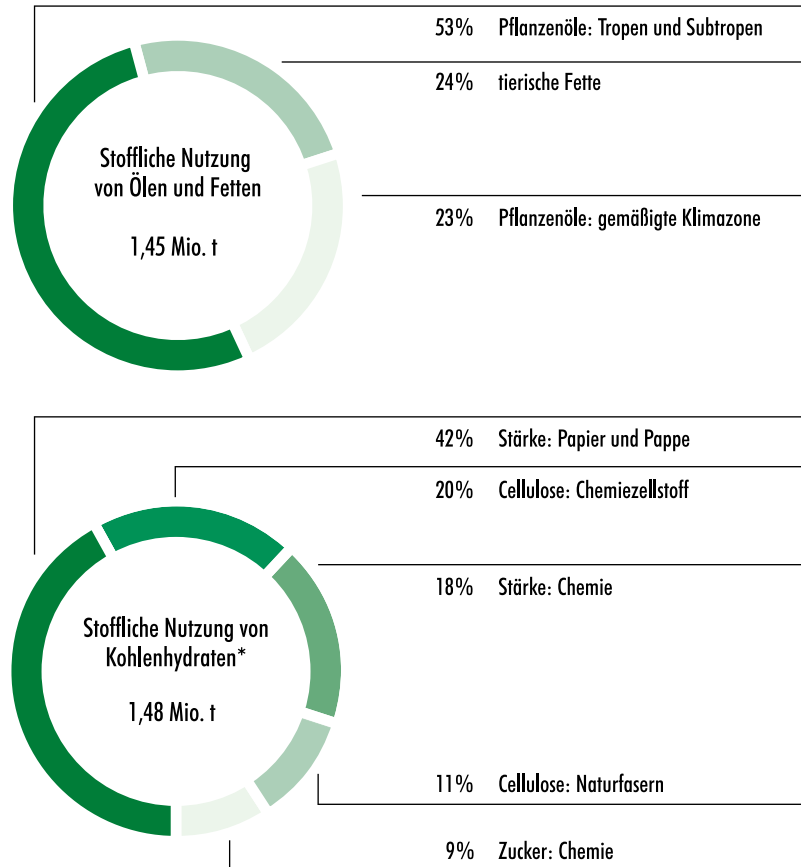
<sup>2</sup> Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI)

<sup>3</sup> Der industrielle Bereich umfasst hier einerseits die chemisch-pharmazeutische Industrie sowie andererseits Industrien außerhalb dieses Bereichs (insbesondere die papierstärkeverarbeitende und die naturfaserverarbeitende(n) Industrie(n)).

<sup>4</sup> Als Fertigwaren bzw. Halbwaren werden diese Produkte nicht zur Bilanz der Rohstoffe gezählt.



### Einsatzmengen von nachwachsenden Rohstoffen in der Industrie, 2008



\* ohne Papierzellstoff und Holz

Die stoffliche Nutzung der nachwachsenden Rohstoffe erfolgt besonders im chemisch-technischen und im pharmazeutischen Bereich, bei der Herstellung von Tensiden, Kunststoffen,

Schmierstoffen und Hydraulikflüssigkeiten, bei der Papierherstellung, im Baubereich, in Verbundwerkstoffen sowie bei der Herstellung von Holzprodukten und Holzwerkstoffen. Neben

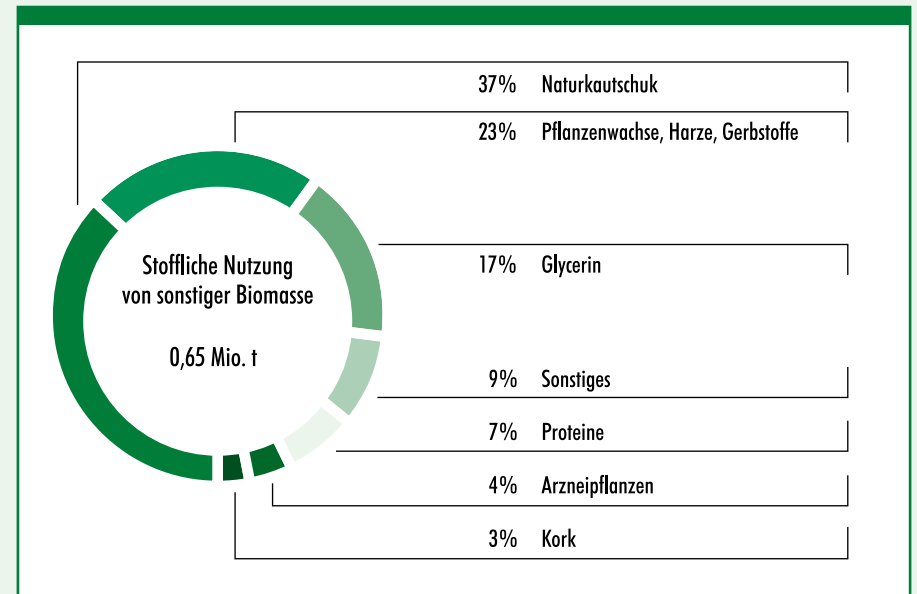


Abb. 2.2: Einsatzmengen von nachwachsenden Rohstoffen in der Industrie im Jahre 2008 (Quelle: FNR, Stand: Dezember 2009)

einer Vielzahl von Produkten, die nahezu ausschließlich oder überwiegend auf nachwachsenden Rohstoffen basieren, findet man auch oft eine Kombination von nachwachsenden mit fossilen oder mineralischen Rohstoffen.

Die Erzeugung und Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe sichert und schafft Beschäftigung und Wertschöpfung, auch für die Menschen in ländlichen Räumen. Im Vergleich zur alleinigen energetischen Nutzung sind Wertschöpfung und Beschäftigung pro Tonne Biomasse aufgrund der meist größeren Verar-

beitungstiefe und der Möglichkeit der Kaskadennutzung bei stofflicher Nutzung in der Regel größer. Die Erzeugung und Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe im Bereich der stofflichen, chemisch-technischen Nutzungen und der Werkstoffe (ohne Holz) liegt aktuell bei schätzungsweise 60.000 bis 100.000 direkten und indirekten Arbeitsplätzen. Im Bereich der stofflichen Nutzung von Holz (Forstwirtschaft, holzbearbeitende und -verarbeitende Industrie, Holz im Baugewerbe, Holzhandel, Papiergewerbe, Verlags- und Druckgewerbe) arbeiten rund 1,2 Mio. Beschäftigte.

### 3 Erzeugung land- und forstwirtschaftlicher Rohstoffe zur stofflichen Verwendung in Deutschland

#### 3.1 Anbau pflanzlicher Rohstoffe

Von den 17 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche in Deutschland sind etwa 12 Mio. ha Ackerfläche und rund 5 Mio. ha Grünland. Grundsätzlich sind alle Acker- und Grünlandflächen in Deutschland zur Erzeugung nachwachsender Rohstoffe geeignet. Grünlandflächen werden vergleichsweise jedoch nur in geringem Umfang für die Erzeugung

nachwachsender Rohstoffe genutzt. Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland für die stoffliche und energetische Nutzung hat sich in den letzten Jahren von ca. 246.000 ha (1993) auf etwa 2.000.000 ha (2009, vorläufige Schätzungen) signifikant erhöht, das sind derzeit etwa 17% der Ackerfläche bzw. 12% der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Abb. 3.1).

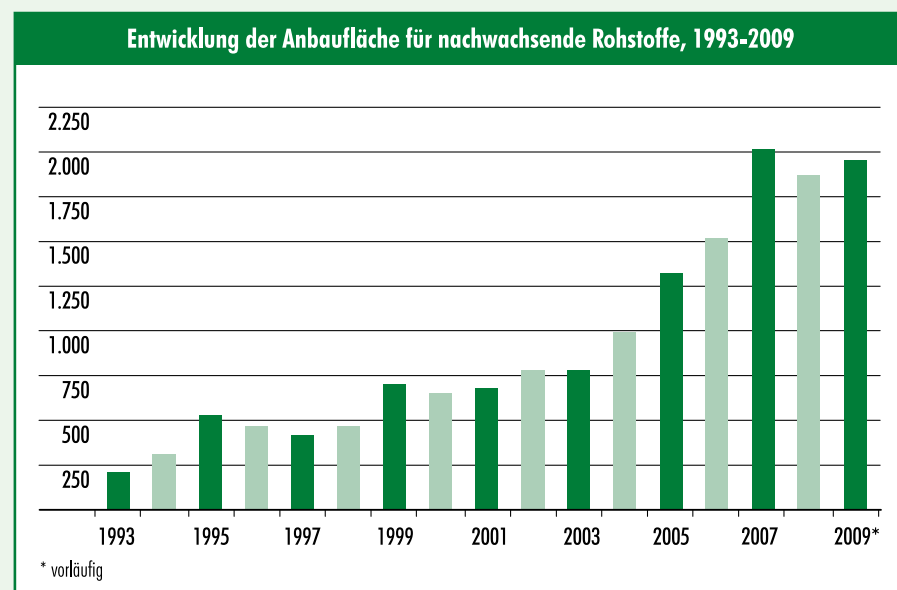


Abb. 3.1: Entwicklung der Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe von 1993-2009 (Quelle: FNR, BLE; Stand: Dezember 2009), Angaben in Tausend Hektar

Das rasante Wachstum der Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe im letzten Jahrzehnt in Deutschland wurde durch die Förderung der energetischen Nutzung angetrieben. Während 1998 noch über 80% der angebaute Fläche der stofflichen Nutzung diente, betrug der Anteil 2001 noch etwa 50% und von den 2009 angebaute nachwachsenden Rohstoffen werden ca. 15% stofflich genutzt. Die Anbaufläche für die stoffliche Nutzung stabilisierte sich 2005/2006 nach dem Zusammenbruch des Anbaus von Öllein in den Jahren 2001/2002.<sup>5</sup> Seit 2006 ist ein begrenztes Wachstum beim Anbau für die stoffliche Nutzung zu beobachten und 2008/2009 lag der Anbau bei etwa

300.000 ha (Abb. 3.2). Wichtigste einheimische Industriepflanzen sind Ölsaaten sowie Stärke- und Zuckerpflanzen. Das Stroh verschiedener Getreidearten (im Wesentlichen Weizen, Roggen, Gerste und Triticale) und Rapsstroh stellt ein Koppelprodukt dar, das bei der Ernte anfällt. Ein nur sehr geringer Anteil des Strohs wird allerdings bisher stofflich als nachwachsender Rohstoff verwendet und auch dessen energetische Nutzung ist noch von geringer Bedeutung.

| Rohstoff                                    | 1998         | 2005         | 2007         | 2008         | 2009 (vorläufige Schätzung) |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------|
| Industriestärke                             | 125,0        | 128,0        | 128,0        | 140,0        | 130,0                       |
| Industriezucker                             | 7,0          | 18,0         | 22,0         | 22,0         | 22,0                        |
| technisches Rapsöl                          | 133,0        | 105,2        | 100,0        | 120,0        | 120,0                       |
| technisches Sonnenblumenöl                  | 24,1         | 12,8         | 8,5          | 8,5          | 8,5                         |
| technisches Leinöl                          | 110,4        | 3,3          | 3,1          | 2,5          | 2,5                         |
| Faserpflanzen                               | 4,0          | 1,6          | 2,0          | 1,0          | 1,0                         |
| Heilpflanzen und sonstige Industriepflanzen | 4,9          | 10,2         | 10,0         | 10,0         | 10,0                        |
| <b>Insgesamt</b>                            | <b>408,4</b> | <b>279,1</b> | <b>273,6</b> | <b>304,0</b> | <b>294,0</b>                |

Abb. 3.2: Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe zur stofflichen Nutzung in Deutschland in ausgewählten Jahren (Quelle: FNR; Stand: Dezember 2009), Angaben in Tausend Hektar

<sup>5</sup> Ursache des Zusammenbruchs war der Wegfall spezieller Beihilferegulungen.



Es werden jedoch nur etwa 30-40% der in Deutschland insgesamt stofflich im Nichtnahrungsmittelbereich eingesetzten agrarischen Rohstoffe durch die deutsche Landwirtschaft bereitgestellt. Der übrige Teil des Bedarfs an Agrarrohstoffen für chemisch-technische Zwecke wird aus Importen gedeckt.

Raps ist die mit Abstand bedeutendste Ölpflanze in Deutschland. Auch Öllein und Sonnenblumen werden auf größeren Flächen angebaut. Weniger bedeutend sind Leindotter, Krambe und Nachtkerze.

Für die Stärkeherzeugung werden im wesentlichen Mais, Weizen und Kartoffeln genutzt. Sie enthalten neben Amylose einen bis zu 80% hohen Amylopektinanteil. Die Erbse spielt für die Stärkeherzeugung so gut wie keine Rolle. Aus stärkereichen Erbsensorten (Markerbsen) wird gegenwärtig in Deutschland nur in geringem Umfang amylosereiche Stärke erzeugt.

Zucker wird in Deutschland ausschließlich aus Zuckerrüben gewonnen. Der Anbau von Zuckerrohr oder anderen Zuckerpflanzen erfolgt aus klimatischen und wirtschaftlichen Gründen nicht. Topinambur wird in Deutschland nicht zur Inulingewinnung, sondern nur in geringem Umfang für den Nahrungsmittelbereich angebaut.

Der feldmäßige Anbau von Arzneipflanzen (beispielsweise Kamille, Mariendistel, Minze, Johanniskraut, Wolliger Fingerhut, Sonnenhut, Baldrian) stellt in Deutschland einen kleinen, aber durch-

aus interessanten Bereich der Landwirtschaft dar. Dennoch kommen nur 10% der in Deutschland verwendeten Arzneipflanzen aus heimischem Anbau. Der Großteil wird nach wie vor importiert und stammt zu 30% aus Anbau und zu 70% aus Wildsammlungen. Ein Vertragsanbau für Arzneipflanzen könnte zur Sicherung des Angebots durchaus attraktiv sein. Von den ca. 440 einheimischen Arzneipflanzen werden ca. 75 Arten in Deutschland angebaut, wobei 24 Arten 92% des Anbaus ausmachen.

Da die Industrie seit Ende des 19. Jahrhunderts die meisten Farbstoffe preiswert synthetisch erzeugt, wurde der Anbau von Färbepflanzen (beispielsweise Färberknöterich, Färberwaid, Färberwau, Krapp Safflor) fast völlig eingestellt. Einige Pflanzen werden heute in sehr geringem Umfang wieder angebaut. Sowohl Anbau als auch Ernte, Verarbeitung und Verwertung müssen noch optimiert werden, bevor Naturfarbstoffe einen signifikanten Anteil am Markt der Farbstoffe erlangen können.

Bei den Faserpflanzen kommt unter den Standortbedingungen in Deutschland nur der Anbau von Faserlein (Flachs), Hanf, Fasernessel und in wärmeren Gebieten Kenaf in Frage. Allerdings hat der Anbau von Faserpflanzen derzeit in Deutschland nur einen sehr bescheidenen Umfang. Dabei macht der Hanfanbau den größten Anteil aus. Faserlein (Flachs) und Fasernessel werden derzeit nur in geringerem Umfang angebaut.

Miscanthus, bekannter als Riesen-Chinaschilf, stellt in Deutschland eine noch

sehr junge Sonderkultur dar. Für die stoffliche Nutzung spielt er bislang nur eine untergeordnete Rolle.

Die bedeutendsten in Deutschland angebauten Proteinpflanzen sind Ackerbohne, Eiweißerbse und Lupine. Sie werden jedoch derzeit kaum als nach-

wachsende Rohstoffe für technische Zwecke genutzt, sondern dienen als Futter oder zur Gründüngung. Proteine fallen ansonsten als Koppelprodukt der Ölsaatenverarbeitung (z.B. Raps) oder der Weizenstärkegewinnung (Gluten) an.

## 3.2 Holzaufkommen

### Holzaufkommen der deutschen Forstwirtschaft

Die Waldfläche in Deutschland beträgt gegenwärtig ca. 11 Mio. ha. Zur Erfassung der großräumigen Waldverhältnisse und forstlichen Produktionsmöglichkeiten erfolgten in ganz Deutschland Bundeswaldinventuren auf Stichprobenbasis nach einem einheitlichen Verfahren. Die erste Bundeswaldinventur (BWI<sup>1</sup>) – ausschließlich für die alten Bundesländer – fand mit dem Stichjahr 1987 statt. Die zweite Bundeswaldinventur (BWI<sup>2</sup>) mit dem Stichjahr 2002 ist die Basis für die aktuellen Daten zum deutschen Wald. Für Teilbereiche liefert die Inventurstudie 2008 (IS 2008) zur Erfassung der Kohlenstoffvorräte in den deutschen Wäldern aktualisierte Daten. Die dritte Bundeswaldinventur (BWI<sup>3</sup>) mit dem Stichjahr 2012 wird gegenwärtig vorbereitet.

Nach BWI<sup>2</sup> verteilt sich die Holzbodenfläche des deutschen Waldes zu 40,1% auf Laubbäume, zu 57,6% auf Nadelbäume und zu 2,3% auf Lücken und Blößen (Abb. 3.3). Nach Eigentumsarten aufgeteilt sind 47% Privat-/Treuhand

wald, 30% Landeswald, 20% Körperschaftswald und 4% Bundeswald.

Wie die IS 2008 aufzeigt, ist im Zeitraum 2002-2008 der Laubholzanteil aufgrund des Waldumbaus und des Nutzungsverhaltens gestiegen. Die IS 2008 ermittelte rund 57% Nadelholz und 43% Laubholz auf der bestockten Waldfläche. Das flächengewogene Durchschnittsalter der Bäume ist in dieser Periode von 73 Jahre auf 77 Jahre gestiegen.





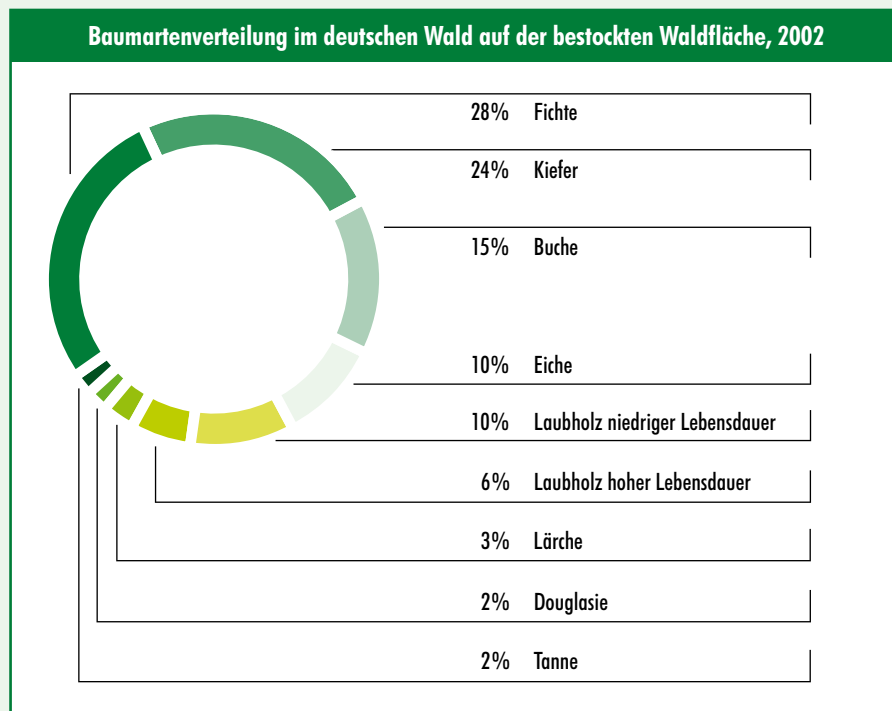


Abb. 3.3: Baumartenverteilung im deutschen Wald auf der bestockten Waldfläche im Jahre 2002 (Quelle: BWI<sup>2</sup>; Stand: 2003)

Die BWI<sup>2</sup> hat Holzvorräte im deutschen Wald von rund 3,4 Mrd. m<sup>3</sup> (320 m<sup>3</sup>/ha) ermittelt. Für den Zeitraum 2002 bis 2022 wird mit einem weiteren – wenn auch deutlich abgeschwächten – Vorratsaufbau gerechnet. Dies wird durch die IS 2008 bestätigt. Diese ermittelte einen durchschnittlichen Holzvorrat von 330 m<sup>3</sup>/ha.

Nach der BWI<sup>2</sup> finden sich die größten Vorräte mit 52% im Privat-/Treuhandwald (und dort besonders im Klein-

privatwald), gefolgt von Landeswald (28%), Körperschaftswald (20%) und Bundeswald (2%). Die höchsten absoluten Gesamtvorräte weisen die südlichen Bundesländer auf (Bayern und Baden-Württemberg). Der größte Vorrat nach Baumarten entfällt auf Fichte gefolgt von Kiefer sowie Buche. Die aktuelle Zuwachsschätzung der Inventurstudie 2008 ergab 11,1 Vorratsfestmeter pro ha und Jahr.

Auf Datenbasis der BWI<sup>2</sup> können die bisherigen Nutzungen des deutschen Waldes und das potenzielle Holzaufkommen in Zukunft abgeschätzt werden. Hierzu wird das Rohholzvolumen stehender Bäume bzw. Waldbestände zunächst in Vorratsfestmetern Derbholz mit Rinde (Vfm) berechnet. In der deutschen Forstwirtschaft ist es üblich das Holzvolumen bis zur Derbholzgrenze zu betrachten. Derbholz ist definiert als oberirdische Holzmasse mit einem Durchmesser von über 7 cm mit Rinde. Das verwendete Sortierungsmodell zieht dann die Rindenanteile und die üblicherweise auftretenden Verluste bei der Holzernte ab und

berücksichtigt die handelsüblichen Abschläge bei der Vermessung von Rohholz („sonstiges Derbholz inkl. unverwertbares Derbholz“ und „x-Holz“). Das Ergebnis ist das potentielle Aufkommen an „verwertbarem Derbholz“ in Erntefestmeter ohne Rinde (Efm o. R.) (Abb. 3.4).

Nach den Daten der BWI<sup>2</sup> wird für den Zeitraum 1987-2002 von einer durchschnittlichen Nutzung des Waldholzes von ca. 60 Mio. Erntefestmeter/Jahr ausgegangen. Für den Zeitraum 2002-2008 ergab die IS 2008 eine genutzte Waldholzmenge von ca. 70,5 Mio. Erntefestmeter/Jahr.

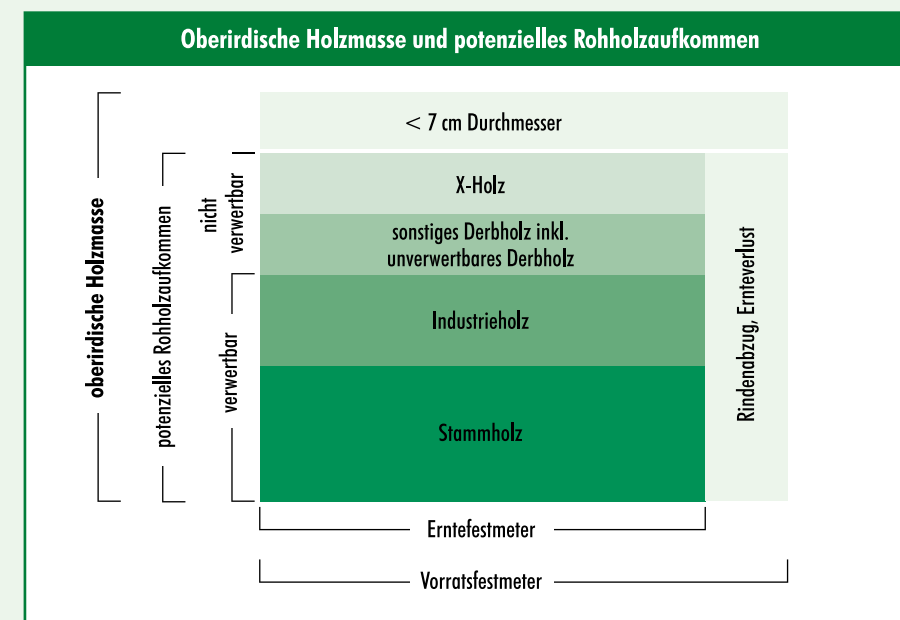


Abb. 3.4: Oberirdische Holzmasse und potenzielles Rohholzaufkommen (Quelle: BWI<sup>2</sup>)

Auf Datengrundlage der Bundeswaldinventuren können mit dem „Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodell“ (WEHAM) über ertragskundliche und waldbauliche Steuerungsgrößen Szenarien zum potentiellen Rohholzaufkommen in Zukunft berechnet werden. Hervorzuheben ist, dass diese WEHAM-Szenarien ein potentielles Rohholzaufkommen ausweisen und keine Holzernste- oder Holzmarktprognosen erstellt, welche das tatsächliche Holzaufkommen in der Zukunft prognostizieren. Die gebräuchlichsten WEHAM-Szenarien errechnen für die Periode 2008-2013 ein durchschnittliches Rohholzpotential in einer Größenordnung von 80-100 Mio. Erntefestmeter/Jahr.<sup>6</sup> Die Spanne resul-

tiert aus unterschiedlichen Annahmen und kann sich je nach Szenario und Betrachtungsperiode nach oben oder unten verschieben. Außerdem ist die Sortiments- und Altersklassenstruktur zu beachten. Das aus den Daten der BWI<sup>2</sup> abgeleitete potentielle Rohholzaufkommen liegt erheblich über dem der früheren Potentialschätzung in den 1990er Jahren aus den Daten der BWI<sup>1</sup>. Jedoch ist der zwischen 2002 und 2008 gestiegene Bedarf, besonders beim Nadelholz (hier insbesondere bei Fichte) zu berücksichtigen. Die IS 2008 macht bei Fichte eine starke Abschöpfung des Zuwachses deutlich. Potentialschätzungen sind auch immer unter dem Blickwinkel regionaler Verfügbarkeiten zu betrachten.

## Holzrohstoff- und Altpapieraufkommen in Deutschland

Neben dem Waldholz der Forstwirtschaft stellen die sonstigen Holzrohstoffe, wie z. B. Altholz oder die Kuppelprodukte der Waldholzbe- und -verarbeitung, wichtige Rohstoffe für holzbasierte Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland dar. Das deutsche Holzrohstoffaufkommen errechnet sich aus dem inländischen Aufkommen an Waldholz und an den sonstigen Holzrohstoffen unter Berücksichtigung der Exporte und Importe. Die Entwicklungen und die Strukturen der Holzrohstoffströme zeigt die Studie „Holzrohstoffbilanz Deutschland - Bestandsaufnahme 1987 bis 2005“ und deren Folgestudien auf.

Wie aus der tabellarischen Darstellung in Abb. 3.5 ersichtlich wird, hat das Holzrohstoffaufkommen seit 1987 stetig zugenommen. Infolge der Wirtschaftskrise seit 2008 kam es zu einer Nachfragedämpfung, insbesondere bei der stofflichen Nutzung und somit zu einem geringeren Holzaufkommen. Bis 2012 wird wieder mit einem erhöhten Bedarf und in Folge dessen mit einem höheren Holzrohstoffaufkommen gerechnet. Im energetischen Bereich muss aufgrund der allgemeinen Rahmenbedingungen mit einem steigenden Holzbedarf gerechnet werden. Die Entwicklung der stofflichen Nachfrage auf das Holzaufkommen bleibt abzuwarten.

| Holzrohstoffaufkommen                   | 1987<br>(BWI <sup>1</sup> ) | 2002<br>(BWI <sup>2</sup> ) | 2003        | 2005       | 2007         | 2008         | 2012<br>Prognose |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-------------|------------|--------------|--------------|------------------|
| Stamm- und Industrieholz & Waldrestholz | 32,5                        | 51,5                        | 55,8        | 69,7       | 79,6         | 78,3         | 81,7             |
| Sägenebenprodukte                       | 7,2                         | 11,2                        | 11,7        | 14,3       | 17,0         | 16,5         | 16,9             |
| Rinde                                   | 1,3                         | 2,0                         | 2,1         | 2,6        | 3,0          | 3,0          | 3,0              |
| sonst. Industrie-Restholz               | 1,9                         | 2,1                         | 5,1         | 3,5        | 11,1         | 7,6          | 7,8              |
| Altholz                                 | 2,6                         | 10,3                        | 9,5         | 12,2       | 10,5         | 10,5         | 10,7             |
| Sonstige und ggf. Bilanzausgleich       | 1,7                         | 2,2                         | 5,0         | 4,7        | 6,9          | 10,8         | 13,1             |
| <b>Insgesamt</b>                        | <b>47,2</b>                 | <b>79,3</b>                 | <b>89,2</b> | <b>107</b> | <b>128,1</b> | <b>126,7</b> | <b>133,2</b>     |

Abb. 3.5: Holzaufkommen in Deutschland (Quelle: Mantau/Universität Hamburg – Zentrum Holzwirtschaft; Stand: Dezember 2009), Angaben in Millionen Kubikmeter

<sup>6</sup> WEHAM-Szenario A, F ( Szenario A ist das Basisszenario und Szenario F ist ein Modellszenario unter der Annahme, dass der Vorrat auf den Stand von 1987 abgebaut wird)



Neben den in Abb. 3.5 vorgestellten Holzrohstoffen ist Altpapier ein weiterer bedeutender holzbasierter Rohstoff für die Wertschöpfung und die Beschäftigung in Deutschland. Vom gesamten Rohstoffeinsatz der deutschen Papierindustrie im Jahr 2008 entfielen bspw. 59% auf Altpapier. Das Inlandsaufkommen und der Inlandsverbrauch an Altpapier ist nachfolgend tabellarisch dargestellt (Abb. 3.6). Die deutsche Marktversorgung kann rechnerisch aus inländi-

| Altpapier          | 1987 | 2002 | 2003 | 2005 | 2007 | 2008 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|
| Altpapieraufkommen | 5,1  | 13,7 | 13,6 | 15,1 | 15,7 | 16,0 |
| Altpapierverbrauch | 4,6  | 12,0 | 12,5 | 14,4 | 15,8 | 15,5 |

Abb. 3.6: Altpapieraufkommen und -verbrauch in Deutschland (Quelle: VDP<sup>7</sup>; Stand: Dezember 2009), Angaben in Millionen Tonnen

### Gegenüberstellung von Holzrohstoffaufkommen und -verwendung im Jahr 2008

In Abb. 3.7 sind das Aufkommen und die Verwendung an Holzrohstoffen im Jahr 2008 einander gegenübergestellt. Bei der Holzrohstoffbilanz wird mit dem Verfahren der „verlängerten Bilanzierung“ gearbeitet. Hierbei wird der Rohstoffbedarf der einzelnen Verwender getrennt erfasst und summiert. „Physische Doppelzählungen“, wie z. B. die Anteile des Stammholzbedarfs der Sägeindustrie die als Sägenebenprodukte auch zur Versorgung der Verwender (z. B. Holzwerkstoff- oder Zellstoffindustrie) die-

schem Aufkommen erfolgen. Seit 2002 gibt es – mit Ausnahme von 2007 – einen Nettoexportüberschuss. Im Zeitverlauf hat das Altpapieraufkommen stetig zugenommen und die Verwertungsquote ein hohes Niveau erreicht. In Deutschland ist gegenwärtig Altpapier nur noch in geringen Anteilen und Mengen im Abfallstrom zu finden. Die einheimischen Potentiale sind somit nur noch relativ gering und in einigen Kommunen bereits nahezu ausgeschöpft.

nen, werden durch Bilanzverlängerung aufkommensseitig berücksichtigt.

Die Holzrohstoffbilanz 2008 verdeutlicht eindrucksvoll die zahlreichen Nutzungskaskaden, die mit Holzrohstoffen möglich sind. Beispielsweise kann mit dem Stammholz aus der Forstwirtschaft in der Sägeindustrie Schnittholz produziert werden. Das hierbei anfallende Kuppelprodukt Sägenebenprodukte kann in der Holzwerkstoffindustrie zur Produktion von Spanplatten, in der Zellstoffindustrie zur Erzeugung von Zellstoff oder in der Holzpelletindustrie zur Pelletierung eingesetzt werden. Die aus Schnittholz durch die Holzpackmittelindustrie hergestellten Holzpaletten

<sup>7</sup> Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP)

| Holzrohstoffaufkommen       | 2008         | 2008         | Holzrohstoffverwendung          |
|-----------------------------|--------------|--------------|---------------------------------|
| Stammholz                   | 42,8         | 42,5         | Sägeindustrie                   |
| sonstiges Derbholz          | 29,1         | 16,5         | Holzwerkstoffindustrie          |
| Waldrestholz                | 6,4          | 10,3         | Holz- und Zellstoffindustrie    |
| Sägenebenprodukte           | 16,5         | 2,7          | sonstige Holzindustrie          |
| Rinde                       | 3,0          | 0,0          | sonstige Industrie              |
| sonstiges Industrierestholz | 7,6          | 2,8          | EnergieproduktHersteller        |
| Schwarzlauge                | 3,5          | 19,8         | Energetisch > 1 MW              |
| Altholz                     | 10,5         | 5,0          | Energetisch < 1 MW              |
| Landschaftspflegeholz       | 4,6          | 25,2         | Hausbrand                       |
| Energieprodukte             | 2,8          | 0,1          | sonstige energetische Verwender |
| Bilanzausgleich             | 0,0          | 1,8          | Bilanzausgleich                 |
| <b>Insgesamt</b>            | <b>126,7</b> | <b>126,7</b> | <b>Insgesamt</b>                |

Abb. 3.7: Gegenüberstellung von Holzrohstoffaufkommen und -verwendung im Jahre 2008 (Quelle: Mantau/Universität Hamburg – Zentrum Holzwirtschaft; Stand: Dezember 2009), Angaben in Millionen Kubikmeter

können später als Altholz nochmals zur Spanplattenherzeugung durch die Holzwerkstoffindustrie oder zur Wärme- und Stromproduktion durch holzbasierte Biomasseheizkraftwerke genutzt werden.

Bedeutendste Quelle zur Aufrechterhaltung dieser Nutzungskaskaden von Holzrohstoffen ist Waldholz aus der klassischen Forstwirtschaft, während Holzrohstoffen aus der Landschaftspflege oder landwirtschaftlichen Kurzumtriebsplantagen bisher eine geringere Bedeutung zukommt. Die größten Nachfrager von Waldholz sind die Sägeindustrie und der private Hausbrand.

Vom gesamten Holzrohstoffaufkommen gehen knapp 60% in die stoffliche Verwendung.<sup>8</sup>

Vom verfügbaren inländischen Waldrohholz (Stamm- und Industrieholz) werden etwa drei Viertel stofflich genutzt.

Deutschland hatte in 2008 einen Nettoexportüberschuss beim Rohholz. Die deutsche Marktversorgung kann rechnerisch aus inländischem Aufkommen erfolgen. Die Importe von tropischem Rundholz zur Schnittholzproduktion in Deutschland sind mit rd. 35.000 m<sup>3</sup> Schnittholz marginal.

<sup>8</sup> vgl. Kapitel 5

## 4 Verwendung landwirtschaftlicher Rohstoffe im industriellen Bereich

### 4.1 Einführung

Im chemisch-technischen Bereich werden nachwachsende, landwirtschaftliche Rohstoffe schon lange eingesetzt. Dabei ist die industriell verarbeitete Menge stetig gestiegen, wenngleich auch nicht so rasant wie die Menge der Agrarrohstoffe in der energetischen Nutzung. Bei den Agrarrohstoffen dominieren mengenmäßig Öle und Fette. Darüber hinaus werden Kohlenhydrate (Stärke und Zucker aus Agrarrohstoffen sowie Cellulose aus Faserpflanzen oder in Form von Chemiezellstoff<sup>9</sup> aus Holz) in signifikanter Größenordnung verarbeitet. Zusammen machen beide Gruppen fast 80% der industriell verarbeiteten nachwachsenden Rohstoffe aus. In geringeren Mengen werden diverse andere nachwachsende Rohstoffe eingesetzt (insbesondere Proteine sowie Pflanzeninhaltsstoffe und -ausscheidungen, wie beispielsweise Pflanzenwachse, Lignin, Naturkautschuk und Naturkork).

Nachwachsende Rohstoffe sind insbesondere dort eine attraktive Alternative, wo die Syntheseleistung der Natur im Endprodukt zumindest teilweise erhalten wird oder für das Produkt kein geeigneter Zugang aus fossilen Rohstoffen besteht. Dies ist bei zahlreichen Vor- und Zwischenprodukten, Fein- und Spezialchemikalien sowie Biowerkstoffen im chemisch-industriellen Bereich gegeben.

Beispiele sind:

- Tenside in Wasch- und Reinigungsmitteln auf Basis von Fettsäuren, Fettalkoholen oder Zuckern,
- Schmelzklebstoffe auf der Basis von Fettsäuren,
- Lackrohstoffe auf Leinöl- oder Tallölbasis,
- Hydrauliköle, Getriebeöle, Formtrennmittel und Kühlschmierstoffe auf Basis von Fettsäureestern,
- Polyurethane auf der Basis von modifizierten Pflanzenölen,
- Cellulosefasern wie Rayon, Modal oder Lyocell aus Chemiezellstoff,
- Latexmatratzen aus Naturkautschuk, natürliche Duft- und Aromastoffe in Kosmetika,
- Funktionspolymere auf Basis von Cellulose, Automobilinnenteile aus naturfaserverstärkten Werkstoffen,
- chemische Zwischenprodukte durch biotechnologische und/oder chemische Verfahren auf Basis von Zucker/Stärke.

Darüber hinaus sind Baustoffe traditionell ein Einsatzschwerpunkt für nachwachsende Rohstoffe. Die Palette der in Frage kommenden Rohstoffe im Bau- und Wohnbereich reicht jedoch über das im Kap. 5 näher betrachtete Holz hinaus. Dämmstoffe aus Pflanzenfasern oder Schafwolle, Bindemittel und Klebstoffe aus Stärke, Zucker oder Lignin sowie

Lacke, Farben, Korkparkett, Fußbodenbeläge, Schalöle aus pflanzlichen Ölen und Betonverflüssiger aus Cellulosederivaten sind nur einige Beispiele.

Die Wertschöpfung je Mengeneinheit kann bei den einzelnen Produkten sehr unterschiedlich sein. Während bei Bulkchemikalien und Massenprodukten der Umsatz im Wesentlichen über die Menge generiert wird, können beispielsweise mit Spezialchemikalien oder Phytopharmaka trotz der begrenzten Menge hohe Umsätze erzielt werden. Die größten Wachstumschancen beim Umsatz liegen bei biobasierten Polymeren und Werkstoffen, bei Produkten der industriellen Biotechnologie, im Bereich Phytopharmaka und bei Naturfaserprodukten.

Im Jahre 2008 wurden ca. 3,6 Mio. t nachwachsende Rohstoffe stofflich genutzt (Abb. 4.1). In die chemische Industrie flossen davon rund 2,7 Mio. t (Abb. 4.1), d. h. ca. 13% der organischen Rohstoffe sind hier nachwachsend. Rund 0,9 Mio. t werden außerhalb des chemischen-pharmazeutischen Bereichs, insbesondere in

papierstärkeverarbeitenden und in naturfaserverarbeitenden Industrien verbraucht. Obwohl die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Vergleich zur energetischen Nutzung mengenmäßig geringer ist, so ist jedoch der Anteil nachwachsender Rohstoffe am Gesamtverbrauch organischen Rohstoffe der chemischen Industrie deutlich größer als der Anteil von biogenen Rohstoffen am Gesamtenergierohstoffverbrauch.



<sup>9</sup> Cellulose in Form von Chemiezellstoff wird aus den Rohstoffen Holz und Baumwoll-Linters gewonnen. Beide Rohstoffe werden in diesem Kapitel zusammen behandelt, da einerseits eine Trennung der Rohstoffpflanzen nicht praktikabel ist und andererseits ihre industrielle Verarbeitung in der chemischen Industrie erfolgt und nicht in der traditionellen Holzverarbeitenden Industrie. Aus ähnlichen Gründen werden hier auch Lignin, Holzinhaltstoffe und Baumexsudate behandelt.



| Rohstoffgruppe   | Rohstoff        | 2007         | 2008<br>(vorläufig) |
|------------------|-----------------|--------------|---------------------|
| Fette und Öle    | Fette und Öle   | 1.450        | 1.450               |
| Kohlenhydrate    | Stärke          | 934          | 886                 |
|                  | Zucker          | 102          | 136                 |
|                  | Chemiezellstoff | 312          | 300                 |
|                  | Naturfasern     | 160          | 160                 |
| Sonstige         | Proteine        | 53           | 45                  |
|                  | Sonstige        | 620          | 599                 |
| <b>Insgesamt</b> |                 | <b>3.631</b> | <b>3.576</b>        |

| Rohstoffgruppe   | Rohstoff        | 2007         | 2008<br>(vorläufig) |
|------------------|-----------------|--------------|---------------------|
| Fette und Öle    | Fette und Öle   | 1.450        | 1.450               |
| Kohlenhydrate    | Stärke          | 308          | 272                 |
|                  | Zucker          | 102          | 136                 |
|                  | Chemiezellstoff | 312          | 300                 |
| Sonstige         | Proteine        | 32           | 24                  |
|                  | Sonstige        | 573          | 525                 |
| <b>Insgesamt</b> |                 | <b>2.777</b> | <b>2.707</b>        |

Abb. 4.1: Stoffliche Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen (ohne Holz) in den Jahren 2007 und 2008 – oben: Deutschland insgesamt; unten: nur in der chemischen Industrie in Deutschland (Quelle: FNR; Stand: Dezember 2009), Angaben in Tausend Tonnen

| Rohstoff         | 1991         | 1998         | 2005         | 2007         | 2008<br>(vorläufig) | 2009<br>(Schätzung) |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|
| Fette und Öle    | 900          | 1.150        | 1.150        | 1.450        | 1.450               | 1.500               |
| Kohlenhydrate    | 747          | 846          | 1.166        | 1.508        | 1.482               | 1.500               |
| Sonstiges        | 350          | 460          | 487          | 673          | 644                 | 700                 |
| <b>Insgesamt</b> | <b>1.997</b> | <b>2.456</b> | <b>2.803</b> | <b>3.631</b> | <b>3.576</b>        | <b>3.700</b>        |

| Rohstoff         | 1991         | 1998         | 2005         | 2007         | 2008<br>(vorläufig) | 2009<br>(Schätzung) |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|
| Fette und Öle    | 900          | 1.150        | 1.150        | 1.450        | 1.450               | 1.500               |
| Kohlenhydrate    | 478          | 411          | 620          | 722          | 708                 | 700                 |
| Sonstiges        | 323          | 425          | 356          | 605          | 549                 | 600                 |
| <b>Insgesamt</b> | <b>1.701</b> | <b>1.986</b> | <b>2.126</b> | <b>2.777</b> | <b>2.707</b>        | <b>2.800</b>        |

Abb. 4.2: Stoffliche Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen (ohne Holz) in den Jahren 1991-2009 – oben: Deutschland insgesamt; unten: nur in der chemischen Industrie in Deutschland (Quelle: FNR; Stand: Dezember 2009), Angaben in Tausend Tonnen

Im Vergleich zu 1991 hat sich der industrielle Einsatz nachwachsender Rohstoffe in Deutschland erhöht. In früheren Erhebungen wurde bei den sonstigen nachwachsenden Rohstoffen der industrielle Einsatz von Lignin, Wachsen, Harzen und Gerbstoffen sowie Naturkautschuk und Naturkork stark unterschätzt bzw. gar nicht berücksichtigt. Letzteres be-

trifft insbesondere Naturkautschuk und Naturkork. Um eine Vergleichbarkeit der aktuellen Daten mit Daten aus den Vorjahren zu gewährleisten, wurden die Daten für die sonstigen nachwachsenden Rohstoffe daher neu ermittelt. Darüber hinaus wurde eine erste aktuelle Schätzung für das Jahr 2009 vorgenommen (Abb. 4.2).

Die aus nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland hergestellten Produkte werden sowohl im Inland vermarktet als auch weltweit exportiert.

Die bio-basierten<sup>10</sup> Produktgruppen/Anwendungsgebiete der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe lassen sich mengenmäßig grob in vier Bereiche einordnen:

- oleochemische Anwendungen und Produkte,
- Biowerkstoffe,
- Kohlenhydrat-basierte organische Grundchemikalien, Fein- und Spezialchemikalien, chemische Zwischenprodukte
- stoffliche Anwendungen und Produkte auf Basis von verschiedenen sonstigen nachwachsenden Rohstoffen

Diese Bereiche sollen nachfolgenden im Detail betrachtet werden. Dabei ist es unvermeidlich, dass sich Überschneidungen ergeben, wobei jedoch dann auf den entsprechenden vorausgehenden oder nachfolgenden Abschnitt im Text hingewiesen wird.

Die Angaben zur stofflichen Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland beziehen sich auf die Einsatzmenge der nachwachsenden Rohstoffe zur Produktion und Herstellung von Zwischenprodukten, Halbwaren und Produkten in Deutschland. Die Verbrauchsmengen von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland (in Zwi-

schenprodukten, Halbwaren und Produkten) können bedingt durch Exporte und zusätzliche zur Weiterverarbeitung in Deutschland importierte chemische Zwischenprodukte, Halbwaren und Produkte auf Basis nachwachsender Rohstoffe abweichen. Soweit bekannt, werden diese Daten nachfolgend als Verbrauchsmengen von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland zusätzlich angeführt.

## 4.2 Oleochemische Anwendungen

Pflanzenöle (pflanzliche Öle) sind aus Ölpflanzen gewonnene Fette und fette Öle. Ausgangsstoffe zur Herstellung von Pflanzenöl sind Ölsaaten und -früchte in denen das Öl zusammen mit anderen Lipiden vorliegt. Chemisch sind Pflanzenöle und Fette Ester des Glycerols mit drei Fettsäuren, sogenannte Triglyceride. Man kann bei den Pflanzenölen zwischen Triglyceriden mit vorwiegend kurzkettigen Fettsäuren (6 bis 14 C-Atome) und Triglyceriden mit größtenteils langkettigen Fettsäuren (16 bis 22 C-Atome) unterscheiden. Die Fettsäuren können außerdem gesättigt oder ungesättigt sein und zusätzliche funktionelle Gruppen (z.B. OH-Gruppen, Epoxy-Gruppen) enthalten. Als Pflanzenfett werden pflanzliche Öle bezeichnet, die bei Zimmertemperatur fest sind. Pflanzenöle werden durch Auspressen und Extrahieren von Ölfrüchten und -saaten gewonnen.

Die Pflanzenöle unterscheiden sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Zusammensetzung in einer Vielzahl von Eigenschaften. Nach dem Anteil an ungesättigten Fettsäuren unterscheidet man zwischen nichttrocknenden (beispielsweise Olivenöl), halbtrocknenden (beispielsweise Soja- oder Rapsöl) und

trocknenden Pflanzenölen (beispielsweise Lein- oder Mohnöl). Der Begriff ‚Trocknung‘ bezeichnet hierbei nicht Verdunstung, sondern das durch Oxidation und Polymerisation der ungesättigten Fettsäuren bedingte Erstarren (Verharzen) des Öls.

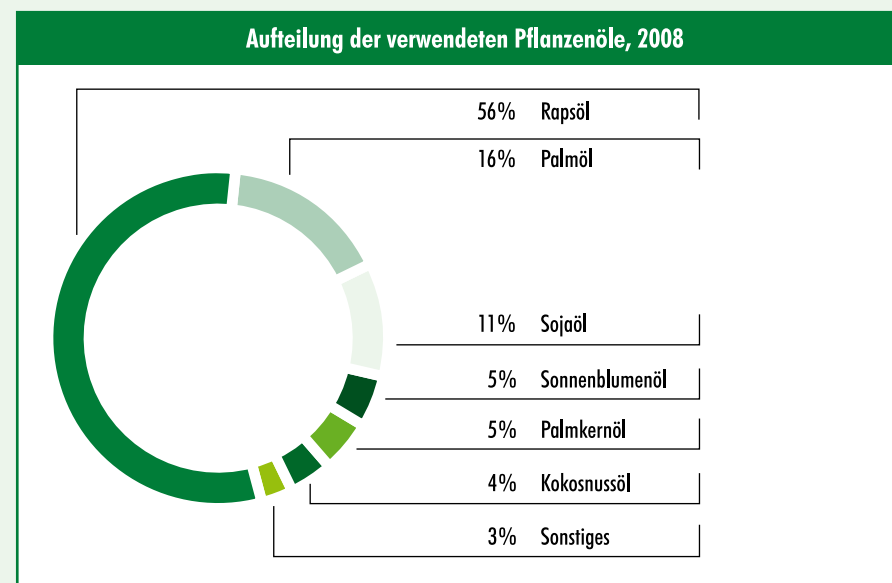


Abb. 4.3: Aufteilung der in Deutschland insgesamt im Jahre 2008 verwendeten Pflanzenöle (Quelle: OVID<sup>11</sup>)

<sup>10</sup> Im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe ist die Vorsilbe bio- die Kurzform für bio-basiert und dies wiederum bedeutet Biomasse-basiert.

<sup>11</sup> Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland e.V. (OVID)



Die in Deutschland verarbeiteten Pflanzenöle und Fette unterscheiden sich hinsichtlich Fettsäuremuster und Funktionalität und sind sowohl pflanzlichen als auch tierischen Ursprungs. Die in Deutschland im Jahre 2008 insgesamt verwendeten Pflanzenöle von 5,6 Mio. t (Abb. 4.3) werden nur zu einem kleineren Teil stofflich genutzt (Abb. 4.4). Die Bandbreite der in Deutschland stofflich verwendeten Öle und Fette veranschaulicht Abb. 4.5.

Einheimische Öle und Fette sind nicht für alle oleochemischen Anwendungsgebiete geeignet bzw. verfügen quali-

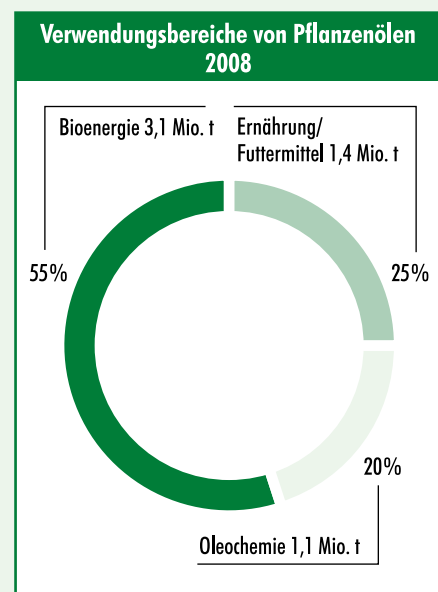


Abb. 4.4: Verwendungsbereiche von Pflanzenölen in Deutschland im Jahre 2008 (Quelle: FNR)

tativ oder quantitativ nicht oder nicht ausreichend über das gewünschte Fettsäuremuster. Dies führt zu einem relativ hohen Anteil an importierten Pflanzenölen, die aus einheimischen Ölpflanzen nicht gewonnen werden können, weil diese Ölpflanzen unter den klimatischen Bedingungen in Deutschland nicht wachsen oder weil deren Anbau in Deutschland nicht wirtschaftlich ist. Die Folge ist ein verhältnismäßig geringerer Anteil einheimischer Pflanzenöle an den Verwendungsbereichen der stofflichen Nutzung (Abb. 4.6).

Kurzkettige Fettsäuren (z.B. Laurinsäure und Myristinsäure) sind Inhaltsstoffe beispielsweise von Kokos- und Palmkernöl. In einheimischen Ölpflanzen kommen sie so gut wie nicht vor. Daraus resultiert die Notwendigkeit von Importen. In einheimischen Pflanzenölen sind dagegen langkettige sowie einfach und mehrfach ungesättigte Fettsäuren (z. B. Ölsäure, Linolsäure und Linolensäure) bevorzugt enthalten.

Wichtigstes einheimisches Pflanzenöl ist Rapsöl. In Deutschland wurde im Jahr 2008 auf insgesamt 1,37 Mio. ha Ackerfläche (11,5% der Gesamtfläche) Raps angebaut und es wurden 5,16 Mio. Tonnen Rapssaat geerntet. Der durchschnittliche Rapsertrag betrug damit 37,6 dt/ha. Mengenmäßig deutlich niedriger ist der Anteil von Sonnenblumenöl aus deutschem Anbau. Der Sonnenblumenanbau erlebte 2008 in Deutschland eine kleine Renaissance. Mit 25.000 Hektar wuchs die Anbaufläche um knapp ein Drittel gegenüber dem Vorjahr. Die Sonnenblumenernte betrug 2008 rund 50.000 t

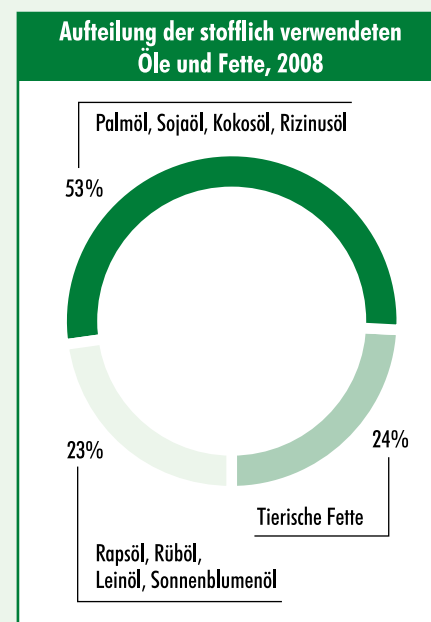


Abb. 4.5: Aufteilung der in Deutschland stofflich verwendeten Öle und Fette im Jahre 2008 (Quelle: FNR)

(20,2 dt/ha). Noch geringer ist der einheimische Anbau von Öllein. Bei Sonnenblumenöl und Leinöl sowie bei Sojaöl und Rizinusöl gibt es signifikante Importmengen. Ein nicht unerheblicher Teil des Verbrauchs für oleochemische Anwendungen wird auch durch einheimische und importierte tierische Fette gedeckt. Insgesamt machen Importe etwa 60% der im stofflichen Bereich verwendeten Öle und Fette aus; bei Pflanzenölen beträgt der Importanteil rund 70%.

Die stofflichen Verwendungsbereiche für Pflanzenöle und Fette sind zahlreich

und vielfältig (Abb. 4.7). Allerdings gestaltet sich die Erhebung von Daten zur Verwendung schwierig. Die Gründe hierfür sind vielgestaltig. Sie reichen von sehr stark variierenden Angaben in unterschiedlichen Quellen, über ungenaue oder fehlende Herstellerangaben bis hin zu Fehleinschätzungen. Jedoch liegen für viele Teilbereiche Daten vor oder können abgeschätzt werden, so dass ein guter selektiver Einblick möglich ist, wenn auch Lücken bleiben. Oleochemische Anwendungen stellen nichtsdestotrotz einen vergleichsweise gut erfassten Bereich der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen dar.

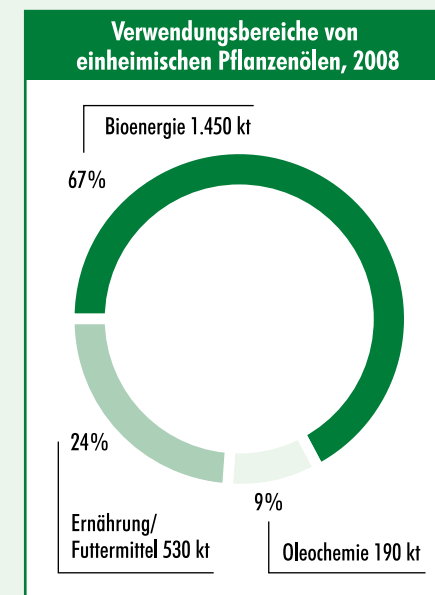


Abb. 4.6: Verwendungsbereiche von einheimischen Pflanzenölen in Deutschland im Jahre 2008 (Quelle: FNR)

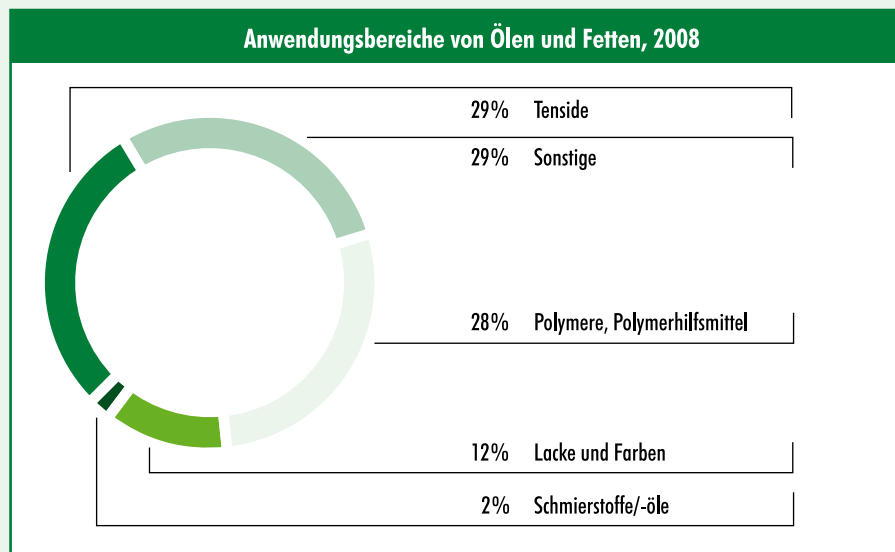


Abb. 4.7: Anwendungsbereiche von Ölen und Fetten im Jahre 2008 (Quelle: méo, FNR)

Etwa ein Drittel der verwendeten Öle und Fette fließen in die Herstellung von Tensiden, u. a. für Wasch- und Reinigungsmittel oder für Schaummittel zur Brandbekämpfung. Ein knappes weiteres Drittel wird für die Herstellung von Polymeren und Polymeradditiven eingesetzt. Bei den sonstigen oleochemischen Anwendungen spielen Öle und Fette u. a. für Lacke und Farben sowie Bioschmierstoffe und -öle eine wichtige Rolle.

## Tenside

Tenside bilden die bedeutendste Produktgruppe in der Oleochemie. Die Haupteinsatzbereiche von Tensiden sind Wasch- und Reinigungsmittel (ca. 64%), Kosmetika und Pharmaka (ca. 9%), Textil- und Lederhilfsmittel (ca. 8%) sowie zahlreiche andere Bereiche (ca. 19%). Die Wasch-, Pflege- und Reinigungsmittelindustrie in Deutschland verwendet für die Herstellung ihrer Produkte sowohl anorganische als auch organische Inhaltsstoffe. Die organischen Inhaltsstoffe können auf Basis von fossilen oder nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden.

Die Gesamtverbrauchsmenge der Inhaltsstoffe (ohne Wasser) in Wasch-, Pflege- und Reinigungsmitteln in Haushalt, Gewerbe und Industrie beträgt in Deutschland ca. 600.000 t (IKW<sup>12</sup>). Hierbei spielen die Tenside eine wichtige Rolle, denn ihre Menge von etwa 250.000 t stellt fast die Hälfte der Gesamtinhaltsstoffmenge dar.

Die mengenmäßig wichtigste Tensidklasse bilden die anionischen Tenside, gefolgt von den nichtionischen Tensiden. Tenside werden sowohl aus petrochemischen als auch aus oleochemischen Grundstoffen gewonnen. Der oleochemische Anteil beträgt gegenwärtig ca. 50%. Tenside werden vorrangig aus den kurzkettigen laurinischen Fettsäuren aus dem Kokosöl und dem Palmkernöl hergestellt. Denn sie bringen damit für die betreffenden Anwendungen

bessere Eigenschaften mit als die langkettigen und ungesättigten Fettsäuren. Eine wichtige Rolle bei der Wahl der Rohstoffe spielt außerdem der Preis. Da bei der Herstellung der Tenside oleochemische und petrochemische Grundstoffe im technologischen Prozess kompatibel sind, konkurrieren sie miteinander. Rund 430.000 t pflanzlicher Öle gehen jährlich in die Herstellung von Tensiden. Da erhebliche Mengen an Tensiden exportiert werden, liegt der inländische Verbrauch niedriger.

## Herstellung von Polymeren und Polymeradditiven, Lacken und Farben

Die Herstellung von Polymeren und Polymeradditiven, Lacke/Farben und Beschichtungen sowie Lösungsmitteln sind neben den Tensiden weitere bedeutende Produktgruppen in der Oleochemie. Rund 400.000 t pflanzlicher Öle und Fette werden in diesen Anwendungsbereichen eingesetzt. Jedoch können nicht alle diese Teilbereiche auch exakt quantifiziert werden.

Zur Produktion von Linoleum kommen ca. 13.000 t Leinöl im Jahr zum Einsatz. Linoleum besteht aus polymerisiertem Leinöl (ca. 30%), Naturharzen (ca. 7%), Kork- oder Holzmehl (ca. 35-40%) sowie anorganischen Füllstoffen und Farbstoffen (ca. 25%). Hinzu kommt ein Jutegewebe als Trägerschicht. Alternativ zum Leinöl können heute auch andere chemisch funktionalisierte Pflanzenöle verwendet werden, zudem können je nach Hersteller und Linoleum-Typ auch

<sup>12</sup> ndustrieverband Körperpflege- und Waschmittel e. V. (IKW)



Anteile von Kautschuk oder Kunststoffen enthalten sein.

Etwa 70.000 t Pflanzenöl (Rizinusöl, Sonnenblumenöl und Sojaöl) werden chemisch modifiziert zu Pflanzenölpolyolen, die dann als Komponenten zur Herstellung von Polyurethanen und Polyestern eingesetzt werden. Außerdem werden insbesondere Rizinusöl und Leinöl auch zur Herstellung von Polyamiden und Epoxidharzen eingesetzt. Beispiele sind die Herstellung der Polyamide PA 11 und PA 6.10.

Im Werkstoffbereich setzt man bei den Bioverbunden (werden nachfolgend im Abschnitt 'Naturfaserverstärkte Werkstoffe' behandelt) neben Pflanzenfasern eine Kunststoffmatrix aus acylierten Pflanzenölen als biobasierte Polymere ein.

Als Polymeradditive verbessern Pflanzenöle die Einseigenschaften von Kunststoffen. In diesem Bereich werden jährlich ca. 80.000 t Sojaöl und ca. 40.000 t erucasäurereiches Rapsöl als Weichmacher in petrochemisch basierten Kunststoffen wie beispielsweise PVC verwendet.

Etwa 83.000 t Pflanzenöl werden zur Herstellung von Lacken und Farben sowie rund 10.000 t Leinöl als sogenanntes selbst trocknendes Öl zur Herstellung von Naturfarben verwendet. Mit etwa 77.000 t fließen weitere bedeu-

tende Mengen an Pflanzenölen in die Produktion von Druckfarben.

Außerdem gibt es in den Bereichen Polymere sowie Lacke und Farben weitere Verwendungen, die nur sehr ungenügend erfasst sind, beispielsweise der Einsatz in Klebstoffen und Beschichtungen.

### **Sonstige oleochemische Anwendungen**

Bei den sonstigen oleochemischen Anwendungen gibt es nur für die Herstellung von Bioschmierstoffen und Bioölen konkrete Erhebungen.

Der vom Mineralölwirtschaftsverband (MWV) veröffentlichte Inlandsabsatz für Schmierstoffe lag im Jahr 2003 bei 1,066 Mio. t. Der Anteil von Bioschmierstoffen betrug mit etwa 46.400 t ca. 4% des Gesamtmarktes. Die vom MWV jährlich veröffentlichten Zahlen für Mineralöle zeigen, dass der Gesamtmarkt nur geringe Wachstumsraten verzeichnet (für 2008 insgesamt 1,109 Mio. t). Für Bioschmierstoffe existieren keine vergleichbaren Statistiken. Die bisherigen Verbrauchszahlen für Bioschmierstoffe basieren auf einer Studie des ISI<sup>13</sup> von 2000/2001 und nachfolgenden Abschätzungen der FNR auf Grundlage von Fachgesprächen mit Vertretern der betreffenden Schmierstoffindustrie. Die in der Marktanalyse nachwachsende Rohstoffe von 2005/2006 veröffentlichten Recherchen von méo<sup>14</sup>

zum Verbrauch an Bioschmierstoffen in Deutschland bestätigten den bis zu diesem Zeitpunkt abgeschätzten Gesamtmarkt von ca. 46.000 t Bioschmierstoffen. Allerdings wurde bei diesen Recherchen auch deutlich, dass der biogene Anteil in den einzelnen Schmierstoffprodukten sehr unterschiedlich ist und Produkte am Markt sind, die weniger als 50% an biogenem Anteil enthalten. Für die Bioschmierstoffe mit einem biogenen Anteil von mehr als 50% (entsprechend der Anforderung an Produkte zur Förderung im Rahmen des ausgelaufenen Markteinführungsprogramms<sup>15</sup>) betrug der Gesamtmarkt an Bioschmierstoffen ca. 7.100 t und damit weniger als 1% des gesamten Schmierstoffmarktes in Deutschland. Entsprechend den Angaben in der betreffenden Studie von méo<sup>14</sup> ist der Markt für Hydrauliköle am größten, gefolgt von Metallbearbeitungsölen, Sägekettenölen, Schmierölen, Getriebeölen und Motorenölen.

Die Ermittlung des realen Verbrauchs von Pflanzenölen im Schmierstoffbereich wird durch mehrere Faktoren beeinflusst und erschwert. Einerseits sind die Anwendungsbereiche sehr vielfältig und andererseits wird der Begriff Bioschmierstoff bei Herstellern und Anwendern nicht einheitlich verwendet. Eine vollständige Erfassung ist daher sehr schwierig.

Die Recherche von Verbrauchszahlen für Bioschmierstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wird insbesondere dadurch erschwert, dass der Begriff „Bioschmierstoff“ sowohl bei Herstellern der Produkte als auch bei den Kun-

den für „biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe“ verwendet wird. Für die Herstellung dieser biologisch schnell abbaubaren Schmierstoffe ist der Einsatz nachwachsender Rohstoffe nicht zwingend erforderlich. Biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe werden auch aus fossilen Rohstoffen hergestellt. Durch entsprechende chemische Modifizierungen entstehen sowohl aus Mineralöl als auch aus Pflanzenöl synthetische Esteröle, die trotz unterschiedlicher Rohstoffe als Endprodukt biologisch schnell abbaubar sind und entsprechend der Klassifikation für Hydrauliköle die gemeinsame Bezeichnung HEES (Hydraulic Oil Environmental Ester Synthetic) besitzen.

Aufgrund der geschilderten Unschärfen bei der Erfassung von Bioschmierstoffen wird deutlich, dass die bisherigen Verbrauchszahlen von insgesamt ca. 46.000 t auch Anteile an biologisch schnell abbaubaren Schmierstoffen auf Basis von Mineralöl enthalten. Die in der Marktrecherche von méo<sup>14</sup> dargestellten Schmierstoffmengen auf Basis nachwachsender Rohstoffe von insgesamt 7.100 t erscheinen dagegen jedoch zu klein. Der aktuelle Gesamtmarkt an Bioschmierstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen wird in einer aktuelleren Studie des nova-Instituts<sup>16</sup> von 2008/2009 auf etwa 24.000 t geschätzt.

Wahrscheinlich liegt der wirkliche Verbrauch aufgrund der o.g. Unschärfen bei der Erfassung bei etwa 35.000 t (ca. 3% des Inlandsabsatzes von Schmierstoffen), zwischen der ursprünglich abgeschätzten Menge der ISI-Studie von 46.000 t und den Schätzungen der nova-

<sup>13</sup> Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI)

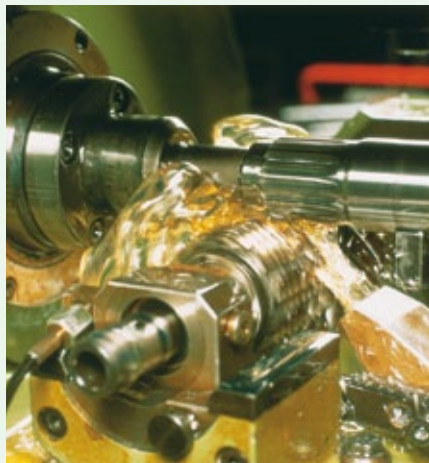
<sup>14</sup> méo Consulting Team (méo)

Studie von 24.000 t. Zur Herstellung von Bioschmierstoffen und Bioölen werden aufgrund ihrer besseren Schmiereigenschaften vorrangig langkettige Fettsäuren beispielsweise aus Rapsöl, Sonnenblumenöl oder tierischen Fetten eingesetzt.

Nur ein Teil der eingesetzten Schmierstoffe wird nach dem Gebrauch über die Altölsammlung zurückgewonnen und aufgearbeitet oder zur Energieerzeugung weiterverwendet. Ein beträchtlicher Rest gelangt systembedingt oder durch Unfälle und Leckagen in die Umwelt und kann zu Umweltbelastungen führen. Aufgrund der Umweltvorteile von Bioschmierstoffen und -ölen und ihrer technischen Vorteile ist daher von einem hohen Potential auszugehen. Nach aktuellen Schätzungen der Schmierstoffindustrie (Fa. Fuchs, 2009) könnten vom technischen Standpunkt mehr als 90% aller Schmierstoffe Produkte auf biogener Basis sein. Das Hauptproblem beim breiten Einsatz dieser entwickelten marktreifen biogenen Schmierstoffe ist der höhere Preis gegenüber den etablierten Produkten auf Basis von Mineralöl. Hinzu kommen Akzeptanzprobleme der potentiellen Anwender aufgrund von Informationsdefiziten und mangelnder Einsatzerfahrungen in der Praxis. Neben den Umweltvorteilen haben Bioschmierstoffe und -öle auch technische Vorteile. Sie wiegen deren

Mehrkosten gegenüber konventionellen, erdölbasierten Schmierstoffen bei weitem auf, so dass sich über die Gesamtnutzungsdauer keine Kostennachteile ergeben.

Sonstige oleochemische Anwendungen sind quantitativ und teilweise auch qualitativ nicht erfasst. Als Beispiele seien der Einsatz als Bitumenersatz (u.a. Rapsöl in Rapsasphalt), Nutzungen in Kosmetika und Pharmaka sowie die Verwendung in Pflege- und Wellnessprodukten genannt. Außerdem werden fettsäurebasierte Stearine und Wachse zur Herstellung von Kerzen, Schuhcreme, Polituren und Imprägnierungen sehr vielfältig eingesetzt.



<sup>15</sup> Markteinführungsprogramm „Biogene Treib- und Schmierstoffe“ des BMELV von 2000 bis 2008

<sup>16</sup> nova-Institut für politische und ökologische Innovation GmbH

### 4.3 Biobasierte Werkstoffe

Man unterscheidet im Allgemeinen fünf Werkstoffgruppen: Metalle, Nichtmetalle, organische Werkstoffe, anorganische nichtmetallische Werkstoffe und Halbleiter. Eine weitere Einteilungsmöglichkeit differenziert nach Konstruktions- bzw. Strukturwerkstoffen und Funktionswerkstoffen. Die Verbundwerkstoffe stellen eine Kombination aus Werkstoffen mehrerer Werkstoffgruppen dar (Beispiele: glas- und naturfaserverstärkte Kunststoffe).

Organische Werkstoffe bestehen häufig aus makromolekularen oder polymeren Stoffen (Beispiele: Polyethylen, Polymilchsäure, organisches Glas, Lignincomposite) können jedoch auch aus niedermolekularen nicht-polymeren Stoffen (Beispiele: Paraffin, Stearin, Seife, Zuckerglas) sein.

Polymere organische Werkstoffe werden auch als Kunststoffe bezeichnet. Sie können sowohl natürlichen, biogenen als auch künstlichen Ursprungs sein. Man unterscheidet nach den physikalischen Eigenschaften duroplastische Kunststoffe (nach dem Aushärten für immer fest), thermoplastische Kunststoffe (lassen sich durch Erwärmen verformen) und Elastomere (dehnbar oder gummielastisch). Die thermoplastischen Kunststoffe sind mit einem Marktanteil von 80% am weitesten verbreitet.

Unter Biobasierten Werkstoffen versteht man polymere organische Werkstoffe und Verbundwerkstoffe auf Basis von Biomasse. Dazu zählen Biobasierte

Kunststoffe und naturfaserverstärkte Werkstoffe einschließlich Holz-Polymer-Werkstoffe. Hinzu kommen noch biogene, nicht-polymere Werkstoffe. Biobasierte Werkstoffe werden sowohl sortenrein als auch als Blends oder in Materialverbünden eingesetzt; in den letzten beiden Fällen meist in Kombination mit konventionellen Kunststoffen.

Natürliche, biogene Materialien waren über Jahrtausende die primären Werkstoffe der Menschen. Holz diente zum Haus- und Schiffbau, Flachs- und Hanffasern wurden zu Tauen und technischen Textilien wie Segeln und Getreidesäcken verarbeitet. In der Neuzeit und während der industriellen Revolution kamen neue Anwendungsgebiete hinzu. Chemiker entwickelten Bindemittel, mit deren Hilfe Naturfasern zu stabilen Bauteilen verarbeitet und für die junge Automobilindustrie zugänglich gemacht werden konnten. Henry Ford präsentierte 1911 ein Fahrzeug, dessen Karosserie weitgehend aus harzgebundenen Hanffasern bestand. Mit Phenolharz gebundene Holz- und Baumwollfasern waren bis in die 80er Jahre hinein wichtige Werkstoffe für Kraftfahrzeuge. In Westdeutschland wurden sie vor allem für den Innenausbau eingesetzt, im ostdeutschen Trabant dienten sie sogar für die rostfreie und besonders leichte Außenhaut. Seit Jahrzehnten werden auch nahezu sämtliche LKW-Fahrerkabinen aus Baumwollfasern und Phenolharzen produziert. Heute haben sich die alten Naturwerkstoffe längst zu High-Tech-Verbünden für die Mittel- und Oberklassefahrzeuge der Automobilindustrie weiterentwickelt. Aufgrund ihrer guten



Gebrauchseigenschaften werden sie den momentan noch dominierenden synthetischen, mineralölbasierten Werkstoffen nach und nach Marktanteile abnehmen und dabei nicht minder vielseitig und hochwertig sein.

### Biobasierte Kunststoffe

Biobasierte Kunststoffe – d. h. Kunststoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe – werden nicht nur aus oder durch Modifizierung von natürlichen Biopolymeren (beispielsweise Stärke, Cellulose, Chitosan, Casein, Gluten, Kollagen, Naturkautschuk) hergestellt, sondern sie werden auch aus Polymeren und Polymermonomeren hergestellt, die synthetisch (fermentativ oder chemisch) auf Basis nachwachsender Rohstoffe (meist Kohlenhydrate und Pflanzenöle) gewonnen werden.

Bei den natürlichen Biopolymeren sind Cellulose, Naturkautschuk und Stärke die wichtigsten Rohstoffe für biobasierte Kunststoffe. Auf Basis nachwachsender Rohstoffe synthetisch hergestellte Kunststoffe werden fermentativ meist aus Stärke und Zucker sowie chemisch aus Pflanzenölen produziert. Möglich ist auch eine Kombination aus fermentativen und chemischen Verfahrensschritten, wie beispielsweise im Falle der Polymilchsäure (PLA), bei der zuerst fermentativ Milchsäure hergestellt wird, die anschließend chemisch zu PLA umgesetzt wird.

Biobasierte Kunststoffe können – je nach gewünschtem Anforderungsprofil – biologisch abbaubar sein oder auch nicht

und somit eine kurze oder lange Gebrauchsdauer haben. Leider werden die beiden Aspekte von biobasierten Kunststoffen – die funktionale biologische Abbaubarkeit und die biogene Herkunft des Rohstoffs – oft miteinander verwechselt oder vermischt.

Der Bereich Kunststoffe/Polymere umfasst die folgenden drei Produktionszweige:

- Produktion von thermoplastischen und duroplastischen Kunststoffprodukten,
- Produktion von Kautschukprodukten,
- Produktion von Chemiefasern.

Entsprechend dieser Übersicht soll auch der Bereich biobasierte Kunststoffe/Biopolymere nachfolgend betrachtet werden.

Biobasierte Kunststoffe werden bisher weltweit und auch in Deutschland nur in vergleichsweise kleinen Mengen hergestellt (Abb. 4.8). Die Marktentwicklung in diesem Bereich hängt stark von technologischen Entwicklungen ab. Außerdem – besonders in Deutschland – haben die ordnungspolitischen Rahmenbedingungen einen Einfluss.

Der Marktanteil von biobasierten Kunststoffen in Deutschland lag 2007 bei etwa 5% der Gesamtproduktion in den drei genannten Produktionszweigen des Bereichs Kunststoffe/Polymere. Für die einzelnen Produktionszweige sind die Marktanteile jedoch signifikant unterschiedlich. In den Produktionszweigen

der Kautschukprodukte und Chemiefasern gibt es mit Marktanteilen im zweistelligen Prozentbereich (Details finden sich weiter unten im Text) bereits einen höheren Anteil, während im größten Segment – den Thermo- und Duroplasten – der Verbrauch nur bei etwa 2% liegt.

| Produktgruppe   | Rohstoffbasis              | Rohstoff(e)   | 2007         | 2008 (vorläufig) |
|---|----------------------------|---|--------------|------------------|
| Cellulosederivate und cellulosische Chemiefasern  | Cellulosebasiert           | Chemiezellstoff   | 312          | 300              |
| Naturgummi  | Naturkautschuk             | Naturkautschuk  | 290          | 239              |
| Pflanzenöl-basierte Polyurethane, Polyester, Polyamide, Polyacrylate, Epoxide und Linoleum  | Pflanzenöl-basiert         | Leinöl, Rizinusöl, Sonnenblumenöl, Sojaöl <sup>17</sup> | 419          | 419              |
| Stärke- und Stärkeblend-basierte Kunststoffe, PLA, PHA und sonstige biobasierte Kunststoffe | Zucker- und Stärke-basiert | Stärke, Zucker  | << 1         | << 1             |
| <b>Insgesamt</b>  |                            |   | <b>1.022</b> | <b>959</b>       |

Abb. 4.8: Einsatzmenge von nachwachsenden Rohstoffen für die Herstellung von biobasierten Kunststoffprodukten in Deutschland in den Jahren 2007 und 2008 (Quelle: FNR; Stand: Dezember 2009), Angaben in Tausend Tonnen

<sup>17</sup> Die Mengenangaben sowohl für 2007 als auch 2008 in dieser Position enthalten 19.000 t nachwachsender Rohstoffe, die für die Herstellung von Linoleum verarbeitet werden, aber bei denen es sich nicht um Pflanzenöle handelt.

### Biogene Thermo- und Duroplaste

Die Kunststoffproduktion in Deutschland betrug im Jahre 2007 etwa 20,5 Mio. t (PE<sup>18</sup>). Die Export/Importbilanz ergab einen Exportüberschuss von 4,65 Mio. t. Die Produktion von Kunststoff in Deutschland ging im Jahr 2008 um 2,2% auf nun rund 20 Mio. t zurück.

Der Kunststoffverbrauch für Thermo- und Duroplaste in Deutschland betrug im Jahre 2007 etwa 15,85 Mio. t und setzt sich zusammen aus rund 12,5 Mio. t Polymeren, die zu werkstofflich verwendeten Kunststoffprodukten weiterverarbeitet werden, und etwa 3,35 Mio. t Polymeren für Klebstoffe, Lacke, Bindemittel und Harze. Der größte Verwendungsbereich von thermoplastischen und duroplastischen Kunststoffen ist der Sektor Verpackungen gefolgt vom Baubereich einschließlich Möbel. Weitere wichtige Anwendungsbereiche sind der Automobilbau, die Elektroindustrie sowie die Möbel- und Haushaltswarenherstellung. Deutschland ist in der EU der größte Kunststoffverarbeiter.

Im Bereich der werkstofflich verwendeten Kunststoffprodukte lag der Marktanteil von Biokunststoffen im Jahre 2007 – bei einer Verbrauchsmenge von etwa 45.000 t – nicht einmal bei 1%.

Neben den Pflanzenöl-basierten Kunststoffen, die in diesem Segment den bei

weitem größten Anteil haben (bereits im Kapitel 4.2 'Oleochemische Anwendungen' behandelt), werden insbesondere biobasierte Kunststoffe auf Basis von Stärke verwendet. Thermoplastische Cellulose wird werkstofflich nur in sehr geringen Mengen verarbeitet.

Stärke wird für biobasierte Kunststoffe einerseits in modifizierter Form direkt eingesetzt oder dient in hydrolysierte Form als Fermentationsrohstoff für die Herstellung von Polymermonomeren. Gegenwärtig liegen in Deutschland die Anteile der verschiedenen werkstofflich verwendeten biogenen Thermo- und Duroplaste auf Stärkebasis bei etwa 70% für PLA und PLA-Blends sowie rund 30% für Biokunststoffe auf Basis Stärke und Stärkeblends. Der Anteil von Polyhydroxyfettsäuren (PHA) ist marginal.



Nichtsdestotrotz haben werkstofflich verwendete biobasierte Kunststoffprodukte bereits Platz in verschiedenen Bereichen gefunden:

- Verpackungen (Leicht- und Lebensmittelverpackungen, Blister, Loose-Fill, Tragetaschen, Beschichtungen von Papier- und Kartonverbunden);
- Catering (Becher, Teller, Besteck), Bio-Abfallsäcke;
- Agrarbereich, Garten- und Landschaftsbau (Abdeckfolien, Mulchfolien, Pflanz- und Anzuchttöpfe, Bindegarne, Friedhofsartikel);
- Hygieneartikel und Convenience-Produkte (Windeln, Inkontinenzartikel, Damenhygiene, Einmalhandschuhe);
- Spiel-, Sport- und Büroartikel (Baukästen/-steine, PlayMais, Golf-Tees, Kugelschreiber);
- Textilien, Haushaltsartikel (T-Shirts, Matratzen);
- Medizintechnik (Operationsmaterial, Nähfaden, Schrauben, Kapseln, Implantate).
- Strukturbauteile im Automobilbau, der Elektronikindustrie und Haushaltswarenherstellung (Profile, Rohre, Schläuche, technische Gewebe);

In einigen dieser Teilmärkte (Bioabfallsäcke, LooseFill) konnten bereits signifikante Anteile erreicht werden. So haben LooseFill-Materialien für den Verpackungsbereich in Deutschland ein Marktvolumen von ca. 750.000 m<sup>3</sup>, wobei der Anteil der biogenen LooseFill-Materialien (auf Basis von Stärke) bei ca. 35% liegt.

Im Bereich der nicht-werkstofflich verwendeten Kunststoffprodukte wurde mit ungefähr 340.000 t im Jahre 2007 die überwiegende Menge der biogenen Thermo- und Duroplaste eingesetzt. Diese Menge entspricht rund 10% des Verbrauchs in diesem Teilbereich. Zur Anwendung kommen hier insbesondere Cellulosederivate und Kunststoffe auf Basis von Pflanzenöl. Produkte in diesem Bereich sind beispielsweise:

- Celluloseether als Wasserrückhaltmittel im Baubereich,
- Cellulosenitrat und pflanzenöl-basierte Polymere als Bindemittel für Lacke und Farben,
- pflanzenöl-basierte Klebstoffkomponenten,
- pflanzenöl-basierte Epoxidharze.

Da pflanzenöl-basierte, nicht-werkstofflich verwendete Kunststoffprodukte bereits im Kapitel 4.2 'Oleochemischen Anwendungen' behandelt wurden, werden hier nur Cellulosederivate diskutiert.

<sup>18</sup> *PlasticsEurope Deutschland e.V. (PE) vormals Verband Kunststoff-erzeugende Industrie e.V. (VKE)*



| Cellulosederivate        |                                    | 2007 |     | 2008 |     |
|--------------------------|------------------------------------|------|-----|------|-----|
| Celluloseester           | Celluloseacetate                   | 14   | 53  | 14   | 54  |
|                          | Cellulosenitrate                   | 35   |     | 35   |     |
|                          | sonstige Celluloseester            | 4    |     | 5    |     |
| Celluloseether           | CMC und ähnliche Cellulosederivate | 14   | 129 | 16   | 123 |
|                          | Ethylcellulose                     | 1    |     | 1    |     |
|                          | Hydroxypropylcellulose             | 1    |     | 1    |     |
|                          | sonstige Celluloseether            | 113  |     | 105  |     |
| andere Celluloseprodukte |                                    | 20   |     | 20   |     |
| Gesamt                   |                                    | 202  |     | 197  |     |

Abb. 4.9: Gesamtproduktion von Cellulosederivaten in Deutschland in den Jahren 2007 und 2008 (Quelle: Eco Sys<sup>19</sup>; Stand: Dezember 2009), Angaben in Tausend Tonnen

Cellulosederivate unterteilen sich in Celluloseether und Celluloseester. Deutschland ist einer der führenden Produzenten von Cellulosederivaten. Rohstoff für die Herstellung von Cellulosederivaten ist importierter Chemiezellstoff. Die Produktion von Cellulosederivaten in Deutschland betrug insgesamt 202.000 t (Eco Sys<sup>19</sup>) im Jahre 2007 und 197.000 t (Eco Sys<sup>19</sup>) im Jahre 2008. Die Produktion in Deutschland ist vornehmlich auf die Herstellung von Celluloseethern ausgerichtet, obwohl auch Celluloseester und andere Celluloseprodukte produziert werden (Abb. 4.9).

Bei einem Anteil der technischen Nutzung von 92% wurden somit insgesamt 186.000 t im Jahre 2007 und 181.000 t im Jahre 2008 für den technischen Bereich produziert.<sup>20</sup> Mit Ausnahme von Celluloseacetaten sind die Importe für alle anderen Cellulosederivate gering und Deutschland exportiert rund 50% seiner Inlandsproduktion. Der inländische Verbrauch von Cellulosederivaten im technischen Bereich betrug daher nur 108.000 t (Eco Sys<sup>19</sup>) im Jahre 2007 bzw. 112.000 t (Eco Sys<sup>19</sup>) im Jahre 2008.

<sup>19</sup> ECO SYS Gesellschaft für Analytik und Projektmanagement mbH (Eco Sys)

<sup>20</sup> Bei den Mengenangaben ist die Derivatisierung der Cellulose zu berücksichtigen. Die ungefähren zugrundeliegenden Chemiezellstoffmengen (nur für die Produktionsmenge für die Nutzung im technischen Bereich) betragen für die Herstellung der Cellulosederivate 110.000 t (2007) und 107.000 t (2008).

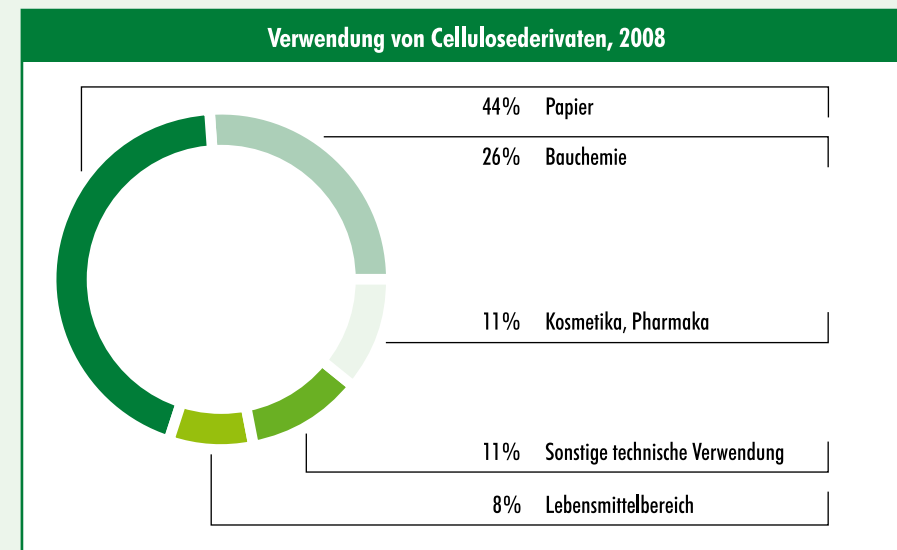


Abb. 4.10: Verwendung von Cellulosederivaten in Deutschland im Jahre 2008 (Quelle: Eco Sys<sup>19</sup>; Stand: Dezember 2009)

Die typischen Einsatzgebiete von Cellulosederivaten sind in der Papierherstellung, in der Baustoffchemie sowie in der Erdölindustrie. Letzteres Einsatzgebiet spielt allerdings in Deutschland keine Rolle. Die Nutzung im Pharmabereich oder in der Kosmetik ist vergleichsweise gering. Lebensmittelanwendungen oder der Einsatz in der Tierfutterherstellung sind marginal. Die Verwendungsstruktur von Cellulosederivaten in Deutschland zeigt Abb. 4.10.

#### Biogene Elastomere

Elastomere sind formfeste, aber elastisch verformbare Kunststoffe. Elastomere basieren auf Naturkautschuk (biogene Elastomere) oder/und Synthesekaut-

schuk (auf der Basis petrochemischer Rohstoffe hergestellte Elastomere).

Naturkautschuk wird weltweit aus dem Milchsaff (Latex) des tropischen Kautschukbaums (*Hevea brasiliensis*) gewonnen und für Elastomere genutzt, obwohl auch einige weitere Kautschukpflanzen bekannt sind (Chicle, Guttapercha, Guayule). Der Milchsaff wird vor Ort eingedickt und stabilisiert oder vorvulkanisiert und kommt dann flüssig in den Handel. Der Milchsaff kann auch in ein feines Pulver überführt werden. Naturkautschuk wird darüber hinaus auch als festes Material gehandelt. Hierzu wird die Flüssigkeit durch Koagulation – oft nach national standardisierten Verfahren – verfestigt und dann in Form von

sogenannten „sheets“ (Kautschukfelle) oder „crepes“ (Kreppkautschuk) sowie als Ballen oder Blöcke verkauft.

Der Verbrauch von Kautschuk und Kautschuk-basierten Elastomeren in Deutschland betrug 790.000 t im Jahre 2007 und 591.000 t im Jahre 2008 (wdk<sup>21</sup>), von denen rund 489.000 t (2007) bzw. 355.000 t (2008) zu Reifen und etwa 301.000 t (2007) bzw. 236.000 t (2008) zu Technischen Elastomer-Erzeugnissen (TEE) verarbeitet wurden. Dabei wurden gut 290.300 t (2007) bzw. 239.000 t (2008) Naturkautschuk und rund 500.000 t (2007) bzw. 352.000 t (2008) Synthetikautschuk eingesetzt, d.h. etwa 37% (2007) bzw. 40% (2008) sind biogene Elastomere. Die Exportquote der Branche lag 2007 und 2008 bei 30%.

Naturkautschuk kann entweder sortenrein oder in Mischungen mit Synthetikautschuk eingesetzt werden. Die Anteile für die einzelnen Reifensektoren an synthetischem und natürlichem Kautschuk werden durch die Anforderungen an das Material bestimmt. So wird für die Produktion von LKW- oder Flugzeugreifen ein höherer Anteil an Naturkautschuk aufgewendet als für die Produktion von PKW-Reifen; ebenso haben Winterreifen einen höheren Anteil an Naturkautschuk als Sommerreifen. Typische TEE sind Schläuche, Förderbänder, Klebebänder, Schuhe, Tauchsportmittel, Ballons, Gummihandschuhe und Kondome.

<sup>21</sup> Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e.V. (wdk)

<sup>22</sup> Unter Regeneration versteht man die Rückgewinnung der Cellulose aus dem Cellulosederivat.

### Biogene Chemiefasern

Chemiefasern sind auf chemischem Weg aus synthetischen oder natürlichen Polymeren hergestellte Fasern, die für Textilien oder für technische Zwecke verwendet werden. Prinzipiell unterscheidet man zwischen synthetischen und cellulosischen Chemiefasern. Zu den Chemiefasern aus synthetischen Polymeren gehören z.B. Polyacrylfasern, Polyamidfasern und Polyesterfasern. Zu den Chemiefasern aus cellulosischen Polymeren gehören Viskose-, Lyocell- und Acetatfasern.

Rohstoff für cellulosische Chemiefasern ist hochreine Cellulose in Form von Chemiezellstoff oder Baumwolllinters. Die Cellulose wird direkt oder in Form eines Cellulosederivats in Lösung gebracht und diese anschließend durch Spinn-düsen gepresst. Dabei werden Cellulosefäden gebildet oder regeneriert<sup>22</sup>.

Wichtigstes Direktlöseverfahren ist das Acetatverfahren. Regeneratfasern werden nach dem Viskose- oder Lyocellverfahren gewonnen.

Die Produktion cellulosischer Chemiefasern in Deutschland aus importiertem Chemiezellstoff betrug insgesamt 202.000 t (IVC<sup>23</sup>) im Jahre 2007 und 193.000 t (IVC<sup>23</sup>) im Jahre 2008. Deren Anteil an der gesamten Chemiefaserproduktion in Deutschland beträgt etwa ein Viertel. Der Verbrauch von Chemie-

fasern in Deutschland betrug unter Berücksichtigung von Ex- und Importen (lt. Eurostat<sup>24</sup>) rd. 299.000 t (FNR) im Jahre 2007 und rd. 285.000 t (FNR) im Jahre 2008.

### Naturfaserverstärkte Werkstoffe

Werden besonders feste und stabile Konstruktionswerkstoffe benötigt, greift man auf teure Spezialkunststoffe zurück oder verstärkt Standardkunststoffe wie Polypropylen durch Fasern. Dabei werden hauptsächlich Glasfasern eingesetzt. Jedes Jahr werden in Europa knapp eine Million Tonnen glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) verbraucht und können je nach Anforderung sogar Metallkonstruktionen ersetzen. Glasfasern können prinzipiell durch Naturfasern ersetzt werden und man erhält dann naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK), die aus einem Kunststoff bestehen, der seine Stabilität durch eingearbeitete Naturfasern erhält. Bauteile aus NFK weisen hohe Steifigkeiten und Festigkeiten sowie eine geringe Dichte als GFK auf. Einfach gesagt: Sie sind mechanisch stark belastbar und gleichzeitig leicht, also ideal für den modernen Automobilbau. Diese relativ neuen Naturfaserverwerkstoffe wurden in den 80er Jahren vor allem in Deutschland entwickelt. In den 90er Jahren begann ihre Erfolgsgeschichte in der Automobilindustrie und nun fassen sie auch nach und nach in anderen Branchen Fuß.

Naturfasern sind Pflanzenfasern unterschiedlichen Ursprungs, die somit auch vielfältige Eigenschaften aufweisen. Bei Flachs, Hanf, Jute und Kenaf, den so genannten Bastfaserpflanzen, wachsen die Fasern aus den Sprossachsen. Bastfasern bilden sich im äußeren Teil des Pflanzenstängels und stabilisieren den schlanken und hohen Stängel, um z.B. ein Abknicken der Pflanzen bei starkem Wind zu verhindern. Der Fasergehalt dieser Pflanzen konnte von ursprünglich 5 bis 10 Prozent durch Züchtung auf heute 25 bis 30 Prozent gesteigert werden. Bei Sisal und Abaca dagegen stammen die Fasern aus Blattscheiden und verstärken die großen Blätter, bei der Baumwollpflanze wachsen die Fasern als Samenhaar aus dem Samen. Baumwollfasern können einfach von der Pflanze gepflückt, entkörnt und von Schmutz und Reststoffen gereinigt werden. Bei Bastfasern wie Flachs und Hanf ist der Vorgang der Fasergewinnung erheblich aufwändiger und dies ist einer der wichtigsten Gründe, warum sich Baumwolle weltweit mit großem Abstand an der Spitze der Naturfasern platzieren konnte.



<sup>23</sup> Industrievereinigung Chemiefaser e. V. (IVC)

<sup>24</sup> Statistische Amt der Europäischen Union (Eurostat)



In Deutschland wurden 2007 rund 160.000 t (nova<sup>16</sup>) Naturfasern (ohne Holzfasern) in Form von Rohfasern, Garnen und Geweben verarbeitet.<sup>25</sup>

Hiervon stammen etwa 3.000 t aus deutschem Anbau. Der verbleibende größere Teil wird importiert. Hier sind besonders Baumwolle und nichteuropäische, exotische Naturfasern (Jute, Abaca, Kenaf, Ramie, Kokos, Sisal) zu nennen. Hanf resultiert überwiegend aus einheimischem Anbau, während Flachs weitgehend importiert wird. Einheimische Fasernessel spielt nur eine sehr untergeordnete Rolle. Die Anteile der in Deutschland werkstofflich verwendeten Naturfasern zeigt Abb. 4.11. Darüber hinaus werden auch Holzfasern verarbeitet. Die hier

verarbeiteten Mengen an Holzfasern sind unter der Verwendung von Holz im Kap. 5 bilanziert und werden daher nachfolgend separat ausgewiesen.

Naturfaserverstärkte Werkstoffe – vorwiegend im Automobilbau eingesetzt – sind der Hauptanwendungsbereich von Naturfasern in Deutschland. Signifikante Mengen an Naturfasern werden auch außerhalb des NFK-Segments im Textilbereich, in Spezialpapieren und in anderen Bereichen (bes. als Dämmstoffe im Baubereich) eingesetzt (Abb. 4.12). Diese Bereiche werden später im Kapitel 4.5 'Anwendungen und Produkte auf Basis von sonstigen nachwachsenden Rohstoffen' behandelt.

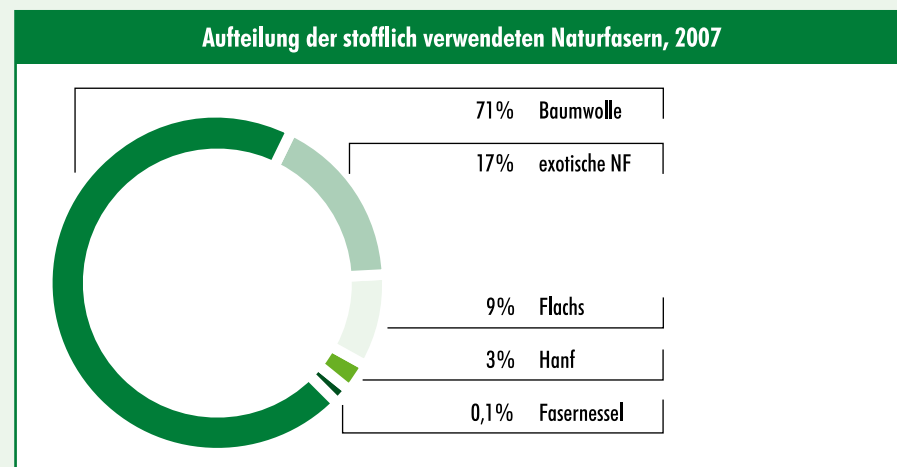


Abb. 4.11: Aufteilung der in Deutschland stofflich verwendeten Naturfasern im Jahre 2007 (Quelle: (nova<sup>16</sup>))

<sup>25</sup> Für 2008 liegen noch keine exakten Daten vor, aber es wird eine ähnliche Menge geschätzt (nova<sup>16</sup>).

Naturfasern im NFK-Bereich werden derzeit hauptsächlich in drei Verbundwerkstofflinien eingesetzt: Thermo- und duroplastische Formpressteile, Naturfaser-Polypropylen-Spritzgussteile sowie Holz-Polymer-Werkstoffe (engl. Wood-Plastic-Composites – WPC).

In der Automobilindustrie, in deutschen Mittel- und Oberklassewagen, ist der Einsatz von Naturfasern meist als Formpressteile heute Standard. In Kleinwagen ist der Einbau noch zu teuer. Etwa 19.000 t Naturfasern werden in thermo- und duroplastischen Formpressteilen (Vliese/Filze plus Kunststoff-Matrix) pro Jahr in der Automobilindustrie für Türinnenverkleidungen, Hutablagen, Kofferraumauskleidungen, Dachhimmel, Sitzpolster und andere Innenraumteile im PKW verwendet. Dabei handelt es sich um 12.200 t Flachsfasern, 5.000 t exotische Fasern und 1.800 t Hanffasern. Weitere 45.000 t Baumwollfasern (Reißbaumwolle) werden zur Verstärkung von LKW-Fahrerkabinen eingesetzt sowie 27.000 t Holzfasern vor allem im PKW-Bereich. Insgesamt werden also etwa 91.000 t Naturfasern (incl. Holzfasern) in der deutschen Automobilindustrie verwendet (Abb. 4.13). Beispiele hierfür sind Türinnenverkleidungen aus mit Kenaffasern verstärktem Polypropylen, Hutablagen aus einem Holzfaser-Polypropylen-Verbundwerkstoff und Abaca-Polypropylen-Bauteile im Pkw-Unterbodenschutz. Der Einsatz von Naturfasern ist seit 1996 jährlich um 10-20% gestiegen, in den letzten Jahren hat sich der Wachstumstrend etwas abgeschwächt.

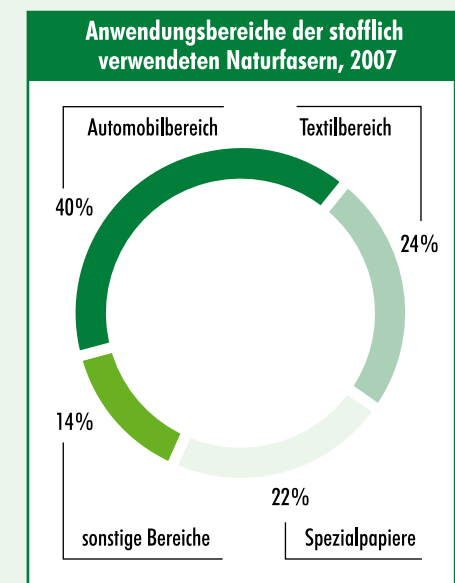


Abb. 4.12: Anwendungsbereiche der in Deutschland stofflich verwendeten Naturfasern im Jahre 2007 (Quelle: (nova<sup>16</sup>))

Außerhalb der Automobilindustrie werden einzelne Entwicklungen zu Strukturbauteilen vorangetrieben. Dabei wird besonderer Wert auf die Herstellung so genannter Bioverbunde gelegt. Nicht nur die Fasern, sondern auch die Matrix stammt dabei aus nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Pflanzenöl-basierte Acrylate). Nach den ersten Entwicklungen (kleinere Teile für Innenanwendungen) im Verkleidungsbereich und der Konstruktion eines Arbeitsschutzhelms sind nun Außenanwendungen in den Fokus gerückt.

Im Bereich der Naturfaser-Polypropylen-Spritzgussteile ist der industrielle Durchbruch noch nicht gelungen. Diese neuen Werkstoffe sind für eine Vielzahl von Anwendungen und Branchen interessant. Technisch sind die meisten Probleme gelöst, Preise und mechanische Eigenschaften stimmen – nun hat die Markteinführung begonnen.

Holz-Polymer-Werkstoffe (engl. Wood-Plastic-Composite – WPC) sind Verbundwerkstoffe mit veränderlichen Anteilen von Holz und Kunststoff (meist Polyethylen oder PVC), die die Eigenschaften beider Bestandteile vereinen. Der Markt in Deutschland ist noch klein und wird auf etwa 20.000 bis 30.000 t WPC mit einem Holzfaseran- teil von etwa 12.000 bis 15.000 t (nova<sup>16</sup>) geschätzt. In Deutschland konzentriert man sich neben Anwendungen im Außenbereich, wie Terrassenbeläge, Fensterahmen und Zaunsysteme, auf den WPC-Einsatz im automobilen Innenbereich sowie Konsumgüter und Kleinteile für die Möbelindustrie.

| Naturfasern      | Verbrauchsmenge |
|------------------|-----------------|
| Baumwollfasern   | 45,0            |
| Holzfasern       | 27,0            |
| Flachfasern      | 12,2            |
| Exotische Fasern | 5,0             |
| Hanf fasern      | 1,8             |
| <b>Insgesamt</b> | <b>91,0</b>     |

Abb. 4.13 Verwendung von Naturfasern in der Automobilindustrie in Deutschland im Jahr 2007 (Quelle: nova<sup>16</sup>; Stand: September 2009), Angaben in Tausend Tonnen



#### 4.4 Kohlenhydrat-basierte organische Grundchemikalien, Fein- und Spezialchemikalien, chemische Zwischenprodukte

Der chemischen und fermentativen Konversion von Kohlenhydraten zu organischen Grundchemikalien, chemischen Zwischenprodukten sowie zu Fein- und Spezialchemikalien oder Pharmaprodukten kommt große Bedeutung zu. Darüber hinaus sind Polymer-, Lack- und Textilhilfsstoffe, Bauchemikalien sowie Papieradditive und Papierhilfsstoffe wichtige Anwendungsbereiche. Hier werden insbesondere Stärke und Zucker<sup>26</sup> sowie geringe Mengen anderer Kohlenhydrate eingesetzt. Die chemisch-technische Nutzung von Cellulose erfolgt nahezu ausschließlich für Struktur- und Funktionspolymere und wurde daher bereits im Kapitel 4.3 'Biobasierte Werkstoffe' behandelt.

Zucker wird überwiegend in der chemisch-pharmazeutischen Industrie eingesetzt. Stärke wird zwar auch im chemisch-industriellen Bereich verwendet, aber die Hauptmenge wird in der Papierindustrie genutzt. Ein Großteil der im chemisch-industriellen Bereich eingesetzten Stärken und Zucker wird biotechnologisch durch mikrobielle oder enzymatische Verfahren umgewandelt. Fermentationen sind im industriellen Maßstab bereits seit langem bekannt.

Kohlenhydrate aus nachwachsenden Rohstoffen stehen als Substrate in großen Mengen (z. B. Saccharose, Dicksaft, Melasse, Glucose, Stärkehydrolysate) zur Verfügung. Beispiele für in Deutschland existierende Fermentationen im industriellen Maßstab sind die Herstellung von Isomalt, von Vitaminen und Antibiotika oder auch von Bioethanol. Weitere bedeutende Anwendungsfelder für Zucker im chemisch-industriellen Bereich sind beispielsweise die Herstellung von Zuckertensiden für Wasch- und Reinigungsmittel bzw. Kosmetika, Verwendungen als Tablettierungshilfsmittel in der Pharmaindustrie, Nutzungen im Polymerbereich und im Baubereich.



<sup>26</sup> Unter Zucker im industriellen, chemisch-technischen Sinne versteht man Saccharose und deren Folgeprodukte.



| Rohstoff                   | 2007         | 2008         |
|----------------------------|--------------|--------------|
| Chemiezucker               | 102          | 136          |
| Papier-/Wellpappestärke    | 626          | 614          |
| Chemiestärke <sup>27</sup> | 308          | 272          |
| <b>Insgesamt</b>           | <b>1.036</b> | <b>1.022</b> |

Abb. 4.14: Stoffliche Verwendung von Kohlenhydraten (ohne Cellulose) in Deutschland in den Jahren 2007 und 2008 (Quelle: Eco Sys<sup>19</sup>, FNR; Stand: Dezember 2009), Angaben in Tausend Tonnen

Im industriellen Bereich wurden im Jahre 2008 in Deutschland rd. 136.000 t Zucker (kristalline Saccharose, Dicksaft) und rd. 886.000 t Stärke (native und modifizierte Stärke, Stärkehydrolysate, Glucose, Zuckeralkohole) verarbeitet (Abb. 4.14).



Zusätzlich zu diesen Rohstoffmengen wurden darüber hinaus Zwischenprodukte zur Weiterverarbeitung (insbesondere Fermentationsprodukte und technischer Bioethanol) importiert und im chemisch-technischen Bereich verarbeitet. Dies betrifft rd. 147.000 t Zwischenprodukte auf Zuckerbasis<sup>28</sup>, 10.000 t Zwischenprodukte auf Stärkebasis<sup>28</sup> und etwa 200.000-300.000 t Zuckeräquivalente in Form von Bioethanol für Chemiezwecke.

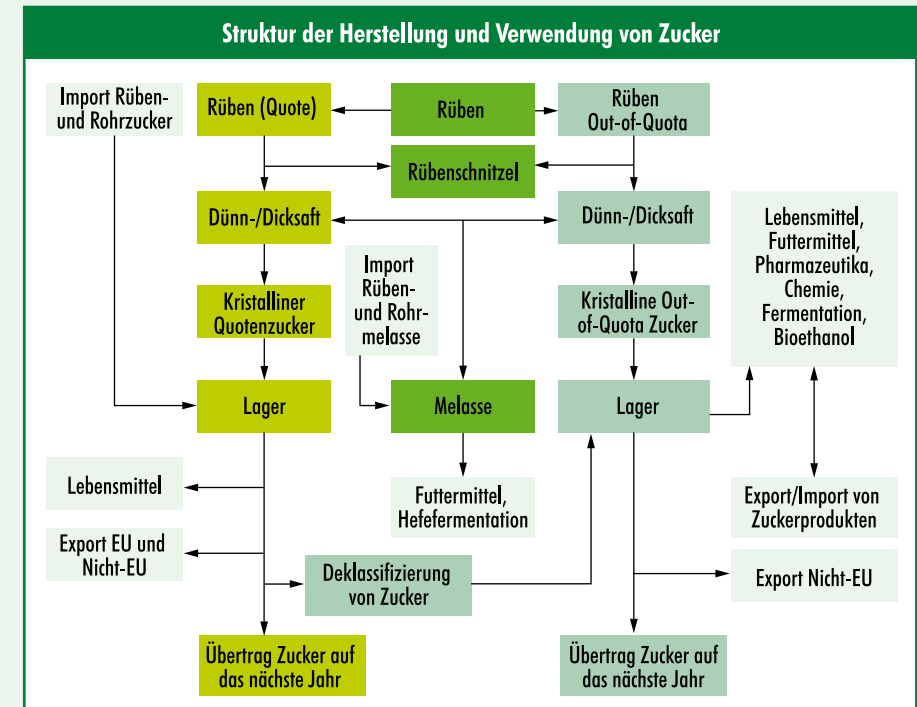


Abb. 4.15: Struktur der Herstellung und Verwendung von Zucker (Quelle: Eco Sys<sup>19</sup>, FNR)

<sup>27</sup> Einschließlich der Stärkeäquivalente aus der Bioethanolherstellung direkt aus Getreide.

<sup>28</sup> Die Mengen geben den Nettoimportüberschuss an.





Kristallzucker ist der typische Zucker im Ernährungsbereich und wurde 2008 in einer Menge von rund 3,07 Mio. t für Lebensmittelanwendungen verbraucht. In einer Größenordnung von 0,57 Mio. t Zuckeräquivalenten wird Zucker für Fermentationen im Lebensmittel- und Futtermittelbereich und zur Herstellung von Futtermitteln verwendet. Hier wird – neben Dicksaft – überwiegend Melasse eingesetzt. Neben dem direkten Zusatz von Melasse als Futtermittel erfolgt die Anwendung als Bindemittel in der Herstellung von Futtermittelpellets. Beide Anwendungen zusammen sind für mehr als 80% der Melasseverwendung verantwortlich. 10% entfallen auf die Nutzung von Melasse als Fermentationsrohstoff für Hefe. Dicksaft wird als für Fermentationsrohstoff für Futterhefe und Bioethanol eingesetzt. Eine Größenordnung von

0,53 Mio. t Zuckeräquivalenten als Dicksaft wurden zur Herstellung von Bioethanol verwendet. In Abhängigkeit der Preiswürdigkeit gegenüber Getreide wurden hier in den letzten Jahren wechselnde Mengen eingesetzt (Details werden im Abschnitt 'Stärke' behandelt). Die für die Herstellung des im chemisch-technischen Bereich verwendeten Bioethanols verwendeten Zuckeräquivalente betrugen im Jahre 2008 rund 70.000 t. Etwa 66.000 t Kristallzucker wurden für technische Fermentations- und Zuckerchemiezwecke eingesetzt.

Die Hauptmenge des Zuckers für chemisch-technische Zwecke wird in der Fermentation und in Form von Bioethanol verwendet. Die Nutzung von Zucker in der Bauchemie, für Pharmazeutika oder in der Kosmetikherstellung ist gering. Einen Überblick gibt Abb. 4.18.

| Anwendungsbereich      | 2007       | 2008       |
|------------------------|------------|------------|
| Fermentation           | 48         | 50         |
| Pharma & Kosmetik      | 11         | 12         |
| Bauchemie & Tenside    | 3          | 4          |
| Technischer Bioethanol | 40         | 70         |
| <b>Insgesamt</b>       | <b>102</b> | <b>136</b> |

Abb. 4.18: Stoffliche Verwendung von Zucker<sup>30</sup> in Deutschland in den Jahren 2007 und 2008 (Quelle: Eco Sys<sup>19</sup>, FNR; Stand: Dezember 2009), Angaben in Tausend Tonnen

Unter Berücksichtigung der Zuckeräquivalente für die Herstellung von technischem Bioethanol ergibt sich für das Jahr 2007 eine Einsatzmenge von 102.000 t und für das Jahr 2008 von 136.000 t Zuckeräquivalenten im stofflichen Bereich in Deutschland (Abb. 4.18).

Zuckerprodukte zur Weiterverarbeitung, insbesondere Fermentationsprodukte (vor allem Aminosäuren, Milchsäure, Zitronensäure, Gluconsäure und die Ester und Salze dieser organischen

Säuren) wurden darüber hinaus in einer Größenordnung von 130.000 t (FNR, Eurostat<sup>24</sup>) im Jahre 2007 und 147.000 t (FNR, Eurostat<sup>24</sup>) im Jahre 2008 importiert und im chemisch-technischen Bereich verarbeitet<sup>28</sup>. Bioethanol zur technischen Weiterverarbeitung wurde außerdem in einem Umfang von rund 100.000-150.000 t (entspricht etwa 200.000-300.000 t Zuckeräquivalenten) importiert und im chemisch-technischen Bereich verbraucht.



## Stärke

Aus der Ernte 2008 resultierte eine Getreidemenge von etwa 50 Mio. t.<sup>31</sup> Hier von entfielen auf Weizen 26 Mio. t und auf Mais 5 Mio. t. Gerste, Hafer, Roggen und Triticale sind für die Differenz verantwortlich. Die Kartoffelernte 2008 ergab gut 11 Mio. t Speise-, Stärke- und Industriekartoffeln. Zusätzlich zur einheimischen Produktion gab es Importe und Exporte und ggf. ist eine Lagerhaltung zu berücksichtigen. Darüber hinaus wurden geringe Mengen als Saatgut zurückgestellt oder als Verluste abgeschrieben. Für die Inlandsverwendung standen aufgrund dessen 41 Mio. t Getreide und 11 Mio. t Kartoffeln zur Verfügung.

Die Stärkeherstellung basiert in Deutschland nahezu überwiegend auf Weizen, Mais und Kartoffeln und macht nur einen geringen Teil der Verwendung von Körnergetreide (Abb. 4.19) bzw. Kartoffeln (Abb. 4.20) in Deutschland aus. Für die Stärkeherstellung wurden 1,7 Mio. t Getreide und 2,7 Mio. t Kartoffeln verarbeitet. Der extrahierbare Stärkegehalt beträgt etwas über 50% bei Weizen (bei einem Stärkegehalt in Weizenkörnern von rund 58-60% und bei einer Extraktionsrate von 88-90%), etwa 60% bei Mais (bei einem Stärkegehalt in den Maiskörnern zwischen 62 und 64% und bei einer Extraktionsrate von 88-90%) und rund 19% bei Kartoffeln. Darüber hinaus wird in geringem Umfang Erbsenstärke aus Erbsen hergestellt. Aus

<sup>31</sup> Getreideernte nur Körnergetreide ohne Ernte von Ganzpflanzengetreide und Silomais.

<sup>32</sup> Maniok wird auch Cassava genannt.

### Verwendungsbereiche von Getreide, 2008

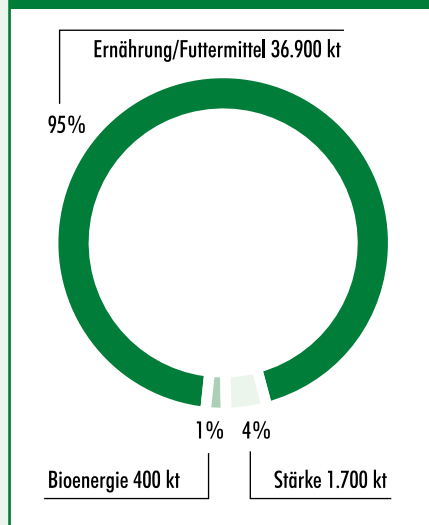


Abb. 4.19: Verwendungsbereiche von Getreide<sup>31</sup> in Deutschland im Jahre 2008 (Quelle: Eco Sys<sup>19</sup>, FNR)

Importen werden auch geringe Mengen an Maniok<sup>32</sup>- und Reisstärke verwendet. Wie bei den Rohstoffen zur Stärkeherstellung sind auch bei der Stärke selbst zusätzlich zur einheimischen Produktion Importe und Exporte sowie ggf. die Lagerung zu berücksichtigen – dies ergibt die Inlandsverfügbarkeit von Stärke in Deutschland. Insgesamt standen rund 1,5 Mio. t Stärkeäquivalente als Einsatzmenge in Deutschland zur Verfügung (Abb. 4.21).

Stärke wird einerseits als native oder als modifizierte Stärke und andererseits als hydrolysierte Stärke für Verzuckerungsprodukte (beispielsweise Dextrose, Glucose, Fructose, Zuckeralkohole) verwendet. Die Hydrolyse von Stärke liefert drei Produktgruppen, die sich im Grad der Hydrolyse<sup>33</sup> unterscheiden und als Ausgangsmaterial für die Herstellung weiterer Stärkezuckerderivate verwendet werden: Maltodextrine (Stärkehydrolysate mit einem DE Gehalt von weniger als 20), Glucosesirup (Stärkehydrolysate mit einem DE Gehalt von mehr als 20 und weniger als 80), Dextrosesirup (Stärkehydrolysate mit einem DE Gehalt von mehr als 80). Diese drei Produktgruppen werden entweder direkt verwendet oder weiterverarbeitet. So wird Dextrosesirup beispielsweise zum Herstellung des Zuckeralkohols Sorbitol und zur Synthese von Tensiden (sogenannte Alkylpolyglycoside, kurz APG) verwendet.

Auf der Ebene der nativen Stärken kann noch eine eindeutige Zuordnung der Stärkerohstoffe zur späteren Verwendung erfolgen (Abb. 4.22). Dies ist bei Stärkemodifikaten und Verzuckerungsprodukten der Stärke nicht mehr vollständig möglich (Abb. 4.23).

<sup>33</sup> Der Grad der Hydrolyse der Stärke wird in Dextroseäquivalenten (Abkürzung DE vom englischen Begriff Dextrose Equivalent) angegeben. Dextrose ist eine ältere Bezeichnung für Glucose, die jedoch in der Stärkeindustrie noch eigenständig für glucosereiche Sirupe (> 80%) verwendet wird.

### Verwendungsbereiche von Kartoffeln, 2008

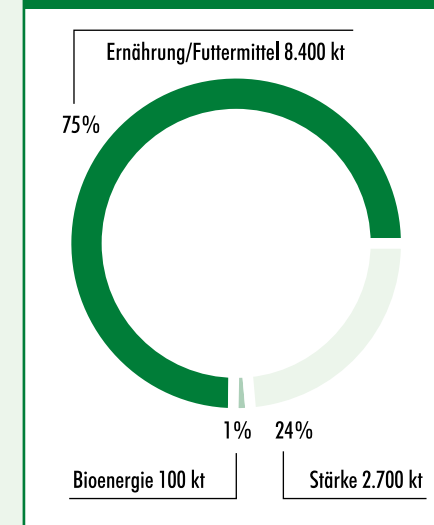


Abb. 4.20: Verwendungsbereiche von Kartoffeln in Deutschland im Jahre 2008 (Quelle: Eco Sys<sup>19</sup>, FNR)



Der Anteil des Maises der für die Herstellung von Stärke verwendet wird, beträgt ca. 20% der Ernte an Körnermais. Ein wesentlicher Teil hiervon wird nicht als native Stärke sondern in der Weiterverarbeitung zu Stärkemodifikaten und zu Verzuckerungsprodukten eingesetzt. Allerdings werden auch erhebliche Mengen an nativer Maisstärke importiert und geringe Mengen exportiert.

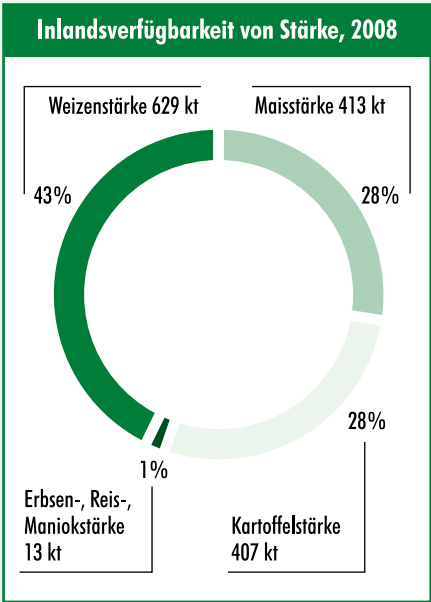


Abb. 4.21: Inlandsverfügbarkeit von Stärke in Deutschland im Jahre 2008 (Quelle: Eco Sys<sup>19</sup>, FNR; Stand: Dezember 2009)

Der Anteil an Weizen, der für die Herstellung von Stärke verwendet wird, beträgt seit Jahren rund eine Million Tonnen und liegt somit deutlich unter 5% der Weizenernte. Ein wesentlicher Teil hiervon wird als native Stärke verwendet oder zu Verzuckerungsprodukten verarbeitet. Im Unterschied zu Mais wird Weizenstärke nur gering zur Modifikatherstellung verwendet. Zusätzlich zur inländischen Herstellung gibt es auch Ex- und Importe.

| Stärkequelle           | Anwendungsbereich       | 2008           |
|------------------------|-------------------------|----------------|
| native Maisstärke      | Papierstärke            | 59.000         |
|                        | Wellpappe & Stärkeleime | 28.000         |
|                        | Chemie & Fermentation   | 5.000          |
|                        | <b>Insgesamt</b>        | <b>92.000</b>  |
| native Weizenstärke    | Papierstärke            | 141.000        |
|                        | Wellpappe & Stärkeleime | 15.000         |
|                        | Chemie & Fermentation   | 12.000         |
|                        | <b>Insgesamt</b>        | <b>168.000</b> |
| native Kartoffelstärke | Papierstärke            | 48.000         |
|                        | Wellpappe & Stärkeleime | 10.000         |
|                        | Chemie & Fermentation   | 1.000          |
|                        | <b>Insgesamt</b>        | <b>59.000</b>  |
| native Erbsenstärke    | Papierstärke            | 6.000          |
|                        | Wellpappe & Stärkeleime | 0              |
|                        | Chemie & Fermentation   | 0              |
|                        | <b>Insgesamt</b>        | <b>6.000</b>   |
| native Reisstärke      | Papierstärke            | 0              |
|                        | Wellpappe & Stärkeleime | 0              |
|                        | Chemie & Fermentation   | 300            |
|                        | <b>Insgesamt</b>        | <b>300</b>     |
| Summe native Stärke    | Papierstärke            | 254.000        |
|                        | Wellpappe & Stärkeleime | 53.000         |
|                        | Chemie & Fermentation   | 18.300         |
|                        | <b>Insgesamt</b>        | <b>325.300</b> |

Abb. 4.22: Stoffliche Verwendungsbereiche von nativer Stärke in Deutschland im Jahre 2008 (Quelle: Eco Sys<sup>19</sup>, FNR; Stand: Dezember 2009), Angaben in Tausend Tonnen

| Stärkequelle                           | Anwendungsbereich       | 2008       |
|--|-------------------------|------------|
| Summe Stärkemodifikate                 | Papierstärke            | 230        |
|  | Wellpappe & Stärkeleime | 77         |
|  | Chemie & Fermentation   | 27         |
|  | <b>Insgesamt</b>        | <b>334</b> |
| Summe Verzuckerungsprodukte der Stärke | Papierstärke            | -          |
|  | Wellpappe & Stärkeleime | -          |
|  | Chemie & Fermentation   | 148        |
|  | <b>Insgesamt</b>        | <b>148</b> |

Abb. 4.23: Stoffliche Verwendungsbereiche von Stärkemodifikaten und Verzuckerungsprodukten der Stärke in Deutschland im Jahre 2008 (Quelle: Eco Sys<sup>19</sup>, FNR; Stand: Dezember 2009), Angaben in Tausend Tonnen



<sup>34</sup> Abfälle aus der Verarbeitung von Kartoffeln zu Chips, Pommes frites, Kartoffelmehl und ähnlichen Produkten werden in kleinem Umfang zur Fermentation von Bioethanol eingesetzt. In anderen EU Staaten erfolgt die Aufarbeitung dieser Abfälle zu handelsfähiger Stärke, die dann außerhalb der Quote vermarktet werden kann.

Kartoffelstärke, für deren Herstellung rund ein Viertel der Kartoffelernte genutzt wird, wird ausschließlich zu nativer und modifizierter Stärke verarbeitet; wobei Stärkemodifikate dominieren. Die Konversion zu Glucose und ähnlichen Produkten durch Verzuckerung findet nicht statt<sup>34</sup>. Die Stärkenutzung erfolgt sowohl im Nahrungsmittelsektor als auch im technischen Bereich (Abb. 4.24). Die Verwendung von Stärkeprodukten aus Weizen, Mais und Kartoffeln ist zu knapp 50% durch die Lebensmittelverarbeitung bestimmt. Bei technischen Anwendungen (Abb. 4.25) dominiert die Beimischung von Stärke und modifizierter Stärke in der Papier- und Wellpappeprodukten. Die chemisch-technischen Anwendungen (bspw. Verzuckerungsprodukte als Träger-, Füll- und Formulierungshilfsstoffe, Tenside auf Basis von Glucose, Sprühstärke für Textilien, Stärkeprodukte im Pharmabereich) und der Einsatz in der Fermentation sind vergleichsweise gering.

Ohne die Berücksichtigung der Stärkeäquivalente für die Herstellung von technischem Bioethanol ergibt sich für das Jahr 2007 eine Einsatzmenge von 813.000 t und für das Jahr 2008 von 807.000 t Stärkeäquivalenten im stofflichen Bereich in Deutschland.

Stärkeprodukte zur Weiterverarbeitung (vor allem Fermentationsprodukte und PLA) wurden darüber hinaus in einer Größenordnung von 10.000 t (FNR, Eurostat<sup>24</sup>) im Jahre 2007 und 10.000 t (FNR, Eurostat<sup>24</sup>) im Jahre 2008 importiert und im chemisch-technischen Bereich verarbeitet.<sup>28</sup>

Verwendungsbereiche von Stärke (ohne Bioethanol) in Form von nativer Stärke, Stärkemodifikaten und Verzuckerungsprodukten der Stärke, 2008

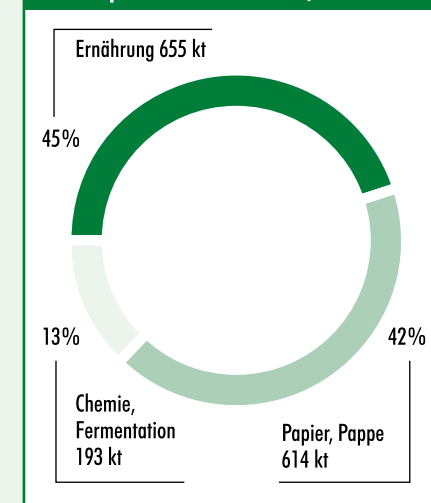


Abb. 4.24: Verwendungsbereiche von Stärke (ohne Bioethanol) in Form von nativer Stärke, Stärkemodifikaten und Verzuckerungsprodukten der Stärke in Deutschland im Jahre 2008 (Quelle: Eco Sys<sup>19</sup>, FNR; Stand: Dezember 2009)



| Anwendungsbereich           | 2007       | 2008       |
|-----------------------------|------------|------------|
| Papier- und Wellpappestärke | 626        | 614        |
| Chemie & Fermentation       | 187        | 193        |
| <b>Insgesamt</b>            | <b>813</b> | <b>807</b> |

Abb. 4.25: Stoffliche Verwendung von Stärke (ohne Bioethanol) in Deutschland in den Jahren 2007 und 2008 (Quelle: Eco Sys<sup>19</sup>, FNR; Stand: Dezember 2009), Angaben in Tausend Tonnen

Getreide wird darüber hinaus außerhalb der Stärkeherstellung direkt für die Herstellung von Bioethanol verwendet. In Abhängigkeit der Preiswürdigkeit gegenüber Zucker wurden in den letzten Jahren wechselnde Mengen eingesetzt. Im Jahre 2008 wurden rd. 530.000 t Bioethanol in Deutschland erzeugt (zu 53% auf Basis von Getreide und zu 47% auf Basis von Zuckerrüben)<sup>35</sup>. Davon wurden 75.000 t im chemisch-technische Bereich, 145.000 t im Lebensmittelbereich (einschließlich Trinkalkohol, ohne Bierherstellung) und 310.000 t im Kraftstoffbereich verwendet. Die für die Herstellung des im chemisch-technischen Bereich verwendeten Bioethanols eingesetzten Stärke- bzw. Zuckeräquivalente sind in Abb. 4.26 dargestellt.

Unter Berücksichtigung der Stärkeäquivalente für die Herstellung von technischem Bioethanol ergibt sich für das Jahr 2007 eine Einsatzmenge von 934.000 t und für das Jahr 2008 von 886.000 t Stärkeäquivalenten im stofflichen Bereich in Deutschland.

| Rohstoffeinsatz für technisches Bioethanol      | 2007 | 2008 |
|---|------|------|
| Stärkeäquivalente der Erzeugung aus Getreide    | 121  | 79   |
| Zuckeräquivalente der Erzeugung aus Zuckerrüben | 40   | 70   |

Abb. 4.26: Herstellung von Bioethanol für den chemisch-technischen Bereich aus Getreide und Zuckerrüben in Deutschland im Jahre 2008 (Quelle: Eco Sys<sup>19</sup>, FNR; Stand: Dezember 2009), Angaben in Tausend Tonnen



<sup>35</sup> Zusätzlich zur Bioethanolerzeugung in Deutschland werden seit Jahren konstant ca. 110.000 Tonnen Ethanol chemisch-synthetisch durch die Firma Sasol in Deutschland erzeugt. Die Ethanolherstellung in Deutschland betrug somit im Jahre 2008 insgesamt 630.000 Tonnen.

#### 4.5 Anwendungen und Produkte auf Basis von sonstigen nachwachsenden Rohstoffen

Öle, Fette und Kohlenhydrate sind die wichtigsten Rohstoffe für die stoffliche Verwendung. Daneben gibt es jedoch noch eine Vielzahl anderer nachwachsender Rohstoffe, die industriell genutzt werden (Abb. 4.27). Mit Ausnahme von Glycerin wird die überwiegende Menge dieser Rohstoffe für den industriellen Bereich importiert. Mengenmäßig sind hier besonders Naturkautschuk (bereits im Kapitel 4.3 'Biobasierte Werkstoffe' behandelt) und die Gruppe der Pflanzenwachse, Harze, Gerbstoffe, Gummen (die besonders in den Bereichen Klebstoffe sowie Lacke und Farben Verwendung finden) zu nennen.

Das bei der Fettspaltung in der chemischen Industrie und bei der Biodieselherstellung anfallende Rohglycerin

wird neben beträchtlichen Exportmengen auch im Inland verwendet. Der Inlandsverbrauch erfolgt überwiegend im stofflichen Bereich; nur geringe Mengen werden in Biogasanlagen eingesetzt. Der stoffliche Inlandsverbrauch in Deutschland liegt unter Berücksichtigung von Ex- und Importen bei rund 84.000 t. Die stoffliche Nutzung umfasst die Weiterverarbeitung zu Pharmaglycerin und verschiedene chemisch-technische Nutzungen, wie beispielsweise als Frostschutzmittel, als Additiv bei der Herstellung von Kunststoffen und in Kosmetika. Außerdem werden Spezialchemikalien wie z.B. Epichlorhydrin, Propylenglycol und Triacetin in neu entwickelten Produktionsverfahren großtechnisch in Mengen von je etwa 10.000 t im Jahr hergestellt.

Weitere signifikante Mengen an nachwachsenden Rohstoffen machen pflanzliche und tierische Proteine aus. Hierzu zählen Gelantine, Casein und Gluten aber auch Hefeextrakte, Rohwolle, Rohseide und Rohleder. Die Anwendungspalette von Kork ist sehr breit und umfasst beispielsweise Korkbodenbeläge, -wände und -dämmungen, Flaschenkorken und Gebrauchsgegenstände aus Kork. Auch Verbundwerkstoffe mit unterschiedlicher Kunststoffmatrix (Cork Plastic Composites) sind bekannt. Bei den sonstigen Verwendungen ist der Einsatz von Ligninsulfonaten als Additiv, Zuschlagstoff und Bindemittel sowie Presshilfsmittel, der Zusatz zu Bohrflüssigkeiten und die Verwendung als Dispergiermittel zu nennen. Hauptverwendungsbereich ist der Baustoff- und Bauchemiebereich.

Die Verwendung von Arzneipflanzen ist ein mengenmäßig relativ kleiner Sektor, jedoch im Hinblick auf Umsatzvolumen und Wertschöpfung ein bedeutender Bereich. Seit Jahrtausenden hat sich ein großes Wissen über Wirkungen und Wirksamkeit von Arzneipflanzen angesammelt, so dass sie gezielt sowohl vorbeugend als auch zur Therapie von Befindlichkeitsstörungen und Erkrankungen eingesetzt werden können. Im Idealfall behandelt man nur mit einer Arzneipflanze, da man annimmt, dass die Inhaltsstoffe spezifischer Pflanzen den menschlichen Stoffwechsel gezielt

beeinflussen. Aus umfangreichen Forschungen liegen Erkenntnisse vor, wie einzelne Inhaltsstoffe bzw. komplexe Inhaltsstoffgemische einer Pflanze auf den menschlichen Stoffwechsel wirken. Klinische Studien haben die Wirksamkeit einer Vielzahl von Arzneipflanzen zur Behandlung menschlicher Erkrankungen nachgewiesen. Der gezielte Einsatz einzelner Arzneipflanzen zur Behandlung von Erkrankungen wird als „Rationale Phytotherapie“, d. h. als rationale Lehre zur medizinischen Wirkung von Arzneipflanzen, bezeichnet. Phytopharmaka erfreuen sich in Deutschland großer Beliebtheit. Griffen Anfang der 70er Jahre nur 52% der Bevölkerung auf Naturheilmittel zurück, waren es laut einer Befragung des Instituts für Demoskopie Allensbach 2002 bereits 73%. Vor allem zur Behandlung von leichten Erkrankungen und Befindlichkeitsstörungen wie Erkältung, Verdauungs- und Magenbeschwerden, Schlaflosigkeit sowie Nervosität nimmt sie der Verbraucher im Zuge der Selbstmedikation eigenverantwortlich ein.

| Anwendungsbereich                 | 2007         | 2008<br>(vorläufig) |
|-----------------------------------|--------------|---------------------|
| Naturkautschuk                    | 290,0        | 239,0               |
| Pflanzenwachse, Harze, Gerbstoffe | 140,0        | 151,0               |
| Glycerin                          | 84,0         | 108,0               |
| Proteine                          | 53,0         | 45,0                |
| Kork                              | 44,0         | 17,0                |
| Arzneipflanzen                    | 24,5         | 24,5                |
| Sonstige                          | 37,5         | 59,5                |
| <b>Insgesamt</b>                  | <b>673,0</b> | <b>644,0</b>        |

Abb. 4.27: Stoffliche Verwendung sonstiger nachwachsender Rohstoffe in Deutschland in den Jahren 2007 und 2008 (Quelle: FNR; Stand: Dezember 2009), Angaben in Tausend Tonnen



Wie bereits im Abschnitt 'Naturfaser-verstärkte Werkstoffe' erläutert, gibt es für Naturfasern auch Anwendungen außerhalb des NFK-Segments, die nachfolgend beschrieben werden. Nur für wenige dieser weiteren Verwendungsbereiche liegen detaillierte Zahlen für den Einsatz von Naturfasern vor, so dass nur eine grobe Übersicht für den Textilbereich, den Bereich Spezialpapiere und den Bereich Dämmstoffe möglich ist.

Im Jahre 2004/2005 wurden ca. 1,0-1,3 Mio. m<sup>3</sup> (ADNR<sup>36</sup>) Naturdämmstoffe in Deutschland verwendet, was einem Marktanteil am Gesamtdämmstoffmarkt von etwa 4-5 % entspricht, wobei Holz- und Cellulosedämmstoffe deutlich dominieren. Flachs- und Hanf folgen hier mit einigem Abstand. Wolle hat einen geringen Marktanteil bei Naturdämmstoffen. Grasfasern und Stroh haben nur ein Nischendasein. Ein sehr geringer Anteil des Getreidestrohs wird im Hausbau vor allem zur Fachwerkbaurestauration, als Dämmmaterial und im Strohballenbau verwendet. Aktuelle statistische Erhebungen zum Naturdämmstoffmarkt in Deutschland für 2007 gibt es nicht. Schätzungen gehen von nur geringen Erhöhungen aus, so dass im Jahre 2007 maximal 1,4 Mio. m<sup>3</sup> Naturdämmstoffe in Deutschland resultieren würden. Es ist auch davon auszugehen, dass Holz- und Cellulosedämmstoffe weiterhin dominieren. Der Gesamtdämmstoffmarkt

scheint im Vergleich zu 2005 (etwa 25 Mio. m<sup>3</sup> lt. GDI<sup>37</sup>) größer geworden zu sein. Die verschiedenen Quellen geben jedoch unterschiedliche Daten an, wobei eine Größenordnung von etwa 30-35 Mio. m<sup>3</sup> in den meisten Fällen genannt wird. Der Marktanteil für Naturdämmstoffe insgesamt dürfte somit wahrscheinlich wenig verändert bei 4% liegen. Für 2008 wird von einem rückläufigen Dämmstoffmarkt ausgegangen.

Im Textilbereich werden neben Rohfasern, Garnen und Geweben große Mengen an Bekleidungstextilien, Heimtextilien und technischen Textilien als Fertigwaren<sup>4</sup> importiert. Hauptsächlich handelt es sich um Baumwolltextilien, die in einem Umfang von 565.000 t in Deutschland verbraucht werden. Hinzu kommen etwa 30.000 t an Textilien aus anderen Naturfasern (Flachs und Jute sowie in geringen Mengen Hanf und sonstige exotische Fasern).

Spezialpapiere mit einem Naturfaseranteil werden insbesondere für Banknoten, Zigarettenpapiere sowie Filter verwendet.

Bei der Gewinnung der Naturfasern aus Bastfaserpflanzen fallen Schäben als Nebenprodukt an. Sie sind das mengenmäßig umfangreichste Produkt des Faser-aufschlusses und machen bei Hanf etwa 50-60% und bei Flachs rund 45-55% des Stängels aus. Schäben sind aus dem ver-

holzten Innteil des Stängels gewonnene spanartige Partikel. In Deutschland stehen pro Jahr etwa 100 t Flachs- und 3.000 bis 6.000 t Hanfschäben zur Verfügung. Der größte Teil wird als Tiereinstreu vermarktet. Ein geringer Teil wird für leichte Spanplatten verwendet.



<sup>36</sup> Arbeitsgemeinschaft für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (ADNR)

<sup>37</sup> Gesamtverband Dämmstoffindustrie (GDI)

## 5 Verwendung von Holz im stofflichen Bereich

### 5.1 Einführung

Holz ist der mengenmäßig bedeutendste nachwachsende Rohstoff in Deutschland. Holz ist aufgrund der Verschiedenheit der Holzarten und -sorten sowie der physikalischen und chemisch-technologischen Eigenschaften ein äußerst vielseitig verwendbarer Rohstoff. Die Holzerzeugung zur Versorgung von Handwerk und Industrie sowie für stoffliche und zunehmend auch energetische Zwecke ist traditionelle Aufgabe der Forstwirtschaft. Die Nutzung von Holz ist einer der am besten erfassten Bereiche der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen.

Die Verwendung von Holzrohstoffen im stofflichen Bereich hat sich seit 1987 verdoppelt. Die größten Zuwächse hat

dabei die Sägeindustrie, gefolgt von der Holzwerkstoffindustrie und der Papier- und Zellstoffindustrie, zu verzeichnen. Auch die energetische Holznutzung hat in den letzten Jahren sehr stark zugenommen (Abb. 5.1).

Nach dem Wiedervereinigungsboom stagnierte die deutsche Holzrohstoffverwendung bis Mitte der 1990er Jahre. Danach setzte ein moderater Aufwärtstrend ein, der sich ab 2003 stark beschleunigte und seinen Höhepunkt 2007 erreichte. Die Weltwirtschaftskrise bremst die Expansion ab 2008 deutlich ab. Die Prognose geht nach einer Wachstumsdelle von einem erneuten Wachstum bis 2012 aus (Abb. 5.2).

| Holz-verwendung            | 1987<br>BWI <sup>1</sup> | 2002<br>BWI <sup>2</sup> | 2003        | 2005         | 2007         | 2008         | 2012<br>Prognose |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
| stoffliche<br>Verwendung   | 36,1                     | 53,7                     | 56,3        | 66,3         | 73,8         | 72,0         | 74,1             |
| energetische<br>Verwendung | 11,1                     | 25,2                     | 32,9        | 40,7         | 54,3         | 54,7         | 59,1             |
| <b>Insgesamt</b>           | <b>47,2</b>              | <b>79,3</b>              | <b>89,3</b> | <b>128,1</b> | <b>128,1</b> | <b>126,7</b> | <b>133,2</b>     |

Abb. 5.1: Verwendung von Holz in Deutschland (Quelle: Mantau/Universität Hamburg – Zentrum Holzwirtschaft; Stand: Dezember 2009), Angaben in Millionen Kubikmeter

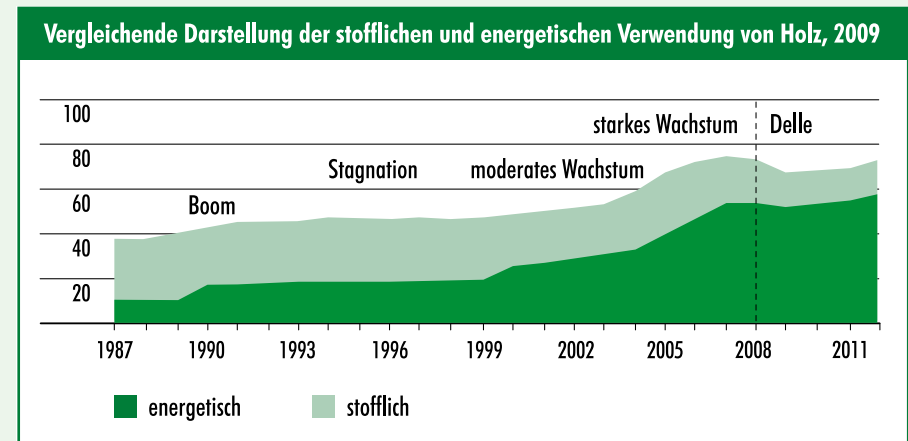


Abb. 5.2: Vergleichende Darstellung der stofflichen (im Hintergrund) und energetischen (im Vordergrund) Verwendung von Holz in Deutschland (Quelle: Mantau/Universität Hamburg – Zentrum Holzwirtschaft; Stand: Dezember 2009), Angaben in Millionen Kubikmeter

Vom gesamten Holzrohstoffbedarf von 126,7 Mio. m³ (etwa 63 Mio. t<sup>38</sup>) im Jahr 2008 entfielen 72 Mio. m³ (etwa 36 Mio. t) auf stoffliche Verwender (Abb. 5.3). Im Bereich der stofflichen Holznutzung wurde die Nachfrage durch die Sägeindustrie angetrieben. Von knapp 53% im Jahre 1987 stieg der Anteil der Sägeindustrie an der stoff-

lichen Holznutzung auf fast 60% im Jahr 2008. Dieser Zuwachs ließ die Sägeindustrie deutlich schneller wachsen als die übrigen stofflichen Verwendungsbereiche.

<sup>38</sup> Hier verwendete Umrechnung für Holz: 1 Festmeter (Fm) = 0,5 Tonnen absolut trocken (tatro), 1 Festmeter (Fm) entspricht 1 Kubikmeter (m³)



| Stoffliche Holzverwendung      | 1987<br>BWI <sup>1</sup> | 2002<br>BWI <sup>2</sup> | 2003        | 2005        | 2007        | 2008        | 2012<br>Prognose |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| Sägeindustrie                  | 19,0                     | 29,8                     | 30,3        | 37,2        | 43,8        | 42,5        | 43,5             |
| Holzwerkstoffindustrie         | 9,1                      | 15,2                     | 16,8        | 17,4        | 16,7        | 16,5        | 17,3             |
| Papier- und Zellstoffindustrie | 6,7                      | 7,2                      | 7,4         | 9,8         | 10,6        | 10,3        | 10,5             |
| sonstige stoffliche Nutzung    | 1,3                      | 1,5                      | 1,8         | 1,9         | 2,7         | 2,7         | 2,8              |
| <b>Insgesamt</b>               | <b>36,1</b>              | <b>53,7</b>              | <b>56,3</b> | <b>66,3</b> | <b>73,8</b> | <b>72,0</b> | <b>74,1</b>      |

Abb. 5.3: Stoffliche Verwendung von Holz in Deutschland (Quelle: Mantau/Universität Hamburg – Zentrum Holzwirtschaft; Stand: Dezember 2009), Angaben in Millionen Kubikmeter

Als bundesweites Cluster Forst und Holz werden die an holzbasierten Wertschöpfungsketten partizipierenden Branchen in Deutschland betrachtet (Forstwirtschaft, holzbearbeitende und Holzverarbeitende Industrie, Holz im Baugewerbe, Holzhandel, Papiergewerbe, Verlags- und Druckgewerbe). Innerhalb des bundesweiten Clusters Forst und Holz sind Strukturparameter zur energetischen (gewerbliche) Holzverwendung wegen eingeschränkter Datenverfügbarkeit nicht hinreichend darstellbar.

Im Jahr 2007 konnten die rund 146.400 Unternehmen des bundesweiten Cluster Forst und Holz einen Gesamtumsatz von 173,6 Mrd. Euro mit 1,2 Mio. Gesamtbeschäftigten generieren. Hiermit hatte der bundesweite Cluster Forst und Holz einen Anteil an der deutschen Volkswirtschaft von etwa 4,7% an den Unternehmen, 3,4% des Umsatzes und 3,4% der Beschäftigten. Die Umsatz-,

Unternehmensanzahl- und Beschäftigungsentwicklung in den Einzelbranchen war im Betrachtungszeitraum sehr unterschiedlich.<sup>39</sup>

Wie Dieter (2009) aufzeigt, wird ausgehend vom Wert einer Rohholzeinheit der Forstwirtschaft im Holzgewerbe (Sägeindustrie, Holzwerkstoffindustrie, Hersteller von Konstruktions-, Fertigung- und Ausbauteilen aus Holz sowie den Herstellern sonstiger Holzwaren) eine Wertschöpfung mit dem Faktor 10,4 generiert. Bei einem unterstellten durchschnittlichen Rohholzwert von 50 Euro/m<sup>3</sup> wird somit im Holzgewerbe eine Wertschöpfung von 520 Euro/m<sup>3</sup> erzielt. Weiterhin kann mit 100 m<sup>3</sup> Rohholz im Holzgewerbe eine Wertschöpfung erreicht werden, welche in etwa dem volkswirtschaftlichen Durchschnitt pro Vollzeitbeschäftigten im Jahr 2007 von 55.000 Euro entspricht.

Eine Differenzierung der Holzrohstoffverbrauchsdaten nach Endverbrauchssektoren ist in Ermangelung geeigneter Statistiken nur anhand von Schätzungen für das Jahr 2004 möglich. Danach liegt der Bausektor mit ca. 50% Verbrauchsanteil mit deutlichem Abstand vor der Möbelfertigung (ca. 30%) und sonstigen Verwendungsbereichen (bspw. Papier-, Druck- und Verpackungsindustrie) mit ca. 20%. Die Größenordnung des Anteils der einzelnen Sektoren dürfte aktuell jedoch ähnlich sein.

Die Holzverwendung im Bauwesen bei Neubauten und bei der Modernisierung von Altbauten hat in den beiden zurückliegenden Jahrzehnten einen deutlichen Aufschwung erlebt. Der Trend zur Holzbauweise verstärkt sich weiterhin. Dies zeichnet sich insbesondere bei den Nichtwohngebäuden ab. Bezüglich der Verwendung von Holz als Baustoff gibt es große regionale Unterschiede. Die höchste Holzbauquote findet sich in Bayern und Baden-Württemberg. Im Wohnungsbau lag 2007 der Anteil

des Holzbaus bei ca. 15% (HAF<sup>40</sup>). Dieser Anteil hat sich seit 1990 etwa verdoppelt. Der Anteil des Holzbaus im Nichtwohnbau betrug 2007 rund 17% (HAF<sup>40</sup>). Insgesamt wurden 2007 über 20.000 Gebäude in Holzbauweise fertig gestellt. Im internationalen Vergleich ist der Anteil von neuen Holzgebäuden in Deutschland jedoch vergleichsweise niedrig (Holzbauquote: USA 90%, Österreich 33%, Schweden 50%)<sup>41</sup>.

Die derzeitigen Anwendungsmöglichkeiten von Holz und Holzprodukten sowie die sich zukünftig ergebenden Entwicklungspotentiale von Holz im Bauwesens sind im Jahre 2009 in einem aktuellen Statusbericht „Zukunft Holz“ dargestellt worden, der auch eine Vielzahl von vorhandenen Studien und Untersuchungen zur Zukunft des Holzbaus sowie aktuelle und geplante Forschungs- und Entwicklungsprojekte berücksichtigt.

<sup>39</sup> Daten auf Grundlage eines Arbeitsberichts (2010/02) des Johann Heinrich von Thünen-Instituts, Bundesforschungsinstitut für ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI)

<sup>40</sup> Holzabsatzfonds (HAF), Tätigkeit zum 31.08.2009 eingestellt

<sup>41</sup> Karl Moser Consulting und Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)

## 5.2 Sägeindustrie

Größter Waldholznachfrager im stofflichen Bereich ist die Sägeindustrie. Hauptprodukte der Sägewerke sind Bauschnittholz (u. a. Balken, Kanthölzer, Bretter/Bohlen und Latten), Schnittholz für Verpackungszwecke (u. a. Palettenholz, Kistenholz) sowie Schnittware für sonstige Zwecke (u. a. für Möbel, Fenster Türen, Treppen und Fußböden). Viele Sägewerke veredelten zudem das Schnittholz bspw. durch technische Trocknung, Hobelung, Profilierung oder Imprägnierung. Relativ neue Produkte sind Konstruktionsvollholz und Balkenschichtholz (Duo- und Triobal-

ken) neben dem schon länger bekannten Brettschichtholz und den Brettstapelelementen. Durch die weitere Verwendung des beim Einschnitt anfallenden Koppelproduktes Sägenebenprodukte (z.B. Sägespäne und Holzhackschnitzel) wird das eingesetzte Rundholz vollständig verwertet. Die Sägeindustrie liefert mit diesen Sägenebenprodukten auch eine wesentliche Rohstoffbasis für die Holzwerkstoffindustrie, die Papier- und Zellstoffindustrie, die Holzpelletindustrie und holzbasierte Biomasseheiz(kraft)werke. Die Nutzungskonkurrenz um diese Sägenebenprodukte ist in jüngster Zeit deutlich gestiegen.

| Produktion von Schnittholz | 1987       | 2002        | 2003        | 2005        | 2007        | 2008        |
|----------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Nadelschnittholz           | 8,1        | 15,8        | 16,3        | 20,9        | 24,0        | 22,0        |
| Laubschnittholz            | 1,6        | 1,1         | 1,1         | 1,1         | 1,2         | 1,1         |
| <b>Insgesamt</b>           | <b>9,7</b> | <b>16,9</b> | <b>17,3</b> | <b>22,0</b> | <b>25,2</b> | <b>23,1</b> |

Abb. 5.4: Produktion von Schnittholz in Deutschland (Quelle: VDS<sup>42</sup>, ZMP<sup>43</sup>, HAF<sup>40</sup>, Stand: Dezember 2009), Angaben in Millionen Kubikmeter)

<sup>42</sup> Verband der Deutschen Säge- und Holzindustrie e.V. (VDS)

<sup>43</sup> Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft GmbH (ZMP), Tätigkeit zum 30.04.2009 eingestellt

Die deutsche Sägeindustrie hat im Jahre 2008 über 43 Mio. m<sup>3</sup> Holz (Abb. 5.3) für die Produktion von Schnittholz (Abb. 5.4) und Sägenebenprodukten verbraucht. Überwiegend sind dies Nadelhölzer (Fichte, Kiefer, Tanne sowie Douglasie und Lärche). Laubholz – vor allem Buche und Eiche – hat derzeit einen Anteil von unter 5%.

Auf Grundlage der Umsatzsteuerstatistik lassen sich für das Jahr 2007 rund 3.600 Unternehmen im Bereich der Säge-, Hobel- und Holzimprägnierwerke ausweisen, welche einen Umsatz von etwa 7,3 Mrd. Euro erzielten.<sup>39</sup> Die deutsche Sägeindustrie ist – von familiären Klein-

betrieben bis zu industriell organisierten Großsägewerken – breit strukturiert. Sie konnte in den letzten Jahren den Export nach Europa und die USA sowie Fernost deutlich ausweiten, die Exportquote lag 2007 bei 39,4%.





### 5.3 Holzwerkstoffindustrie

Zweitgrößter Nachfrager von Holzrohstoffen im stofflichen Bereich ist die Holzwerkstoffindustrie. Als Holzwerkstoffe werden Produkte bezeichnet, die durch Verpressen unterschiedlich geformter und unterschiedlich großer Holzteile (Bretter, Stäbe, Furniere, Späne, Fasern) mit Klebstoffen, mineralischen Bindemitteln oder auch ohne Zugabe von Bindemitteln hergestellt werden. Zur Holzwerkstoffindustrie zählen Spanplatten-, Holzfaser-, OSB- und Massivholzplattenhersteller sowie Furnier- und Sperrholzerzeuger. Die Vorteile von Holzwerkstoffen liegen in ihrer Homogenität und Stabilität. Zudem lassen sich durch Verpressen der verschieden geformten Holzteile mit Klebstoffen auch platten- und stabförmige Elemente herstellen, deren Abmessungen mit Vollholz nicht erreicht werden können.

Die deutsche Holzwerkstoffindustrie hat im Jahre 2008 16,5 Mio. m<sup>3</sup> an Holzrohstoffen (Abb. 5.3) für die Produktion

| Produktion von Holzwerkstoffen | 1987        | 2002         | 2003         | 2005         | 2007         | 2008         |
|--------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Spanplatten und OSB            | 6,81        | 8,73         | 9,31         | 10,93        | 10,86        | 10,19        |
| Faserplatten (MDF, HDF, HFD)   | 0,52        | 4,29         | 4,79         | 5,54         | 6,23         | 6,64         |
| Furniere und Sperrholz         | 0,87        | 0,68         | 0,64         | 0,63         | 0,62         | 0,60         |
| <b>Insgesamt</b>               | <b>8,20</b> | <b>13,70</b> | <b>14,74</b> | <b>17,10</b> | <b>17,71</b> | <b>17,43</b> |

Abb. 5.5: Produktion von Holzwerkstoffen in Deutschland (Quelle: FAO<sup>44</sup>; UNECE<sup>45</sup>, Stand: Dezember 2009), Angaben in Millionen Kubikmeter

von Spanplatten, Oriented Strand Board (OSB), Faserplatten (MDF, HDF), Holzfaserdämmplatten (HFD), Furnieren und Sperrholz verbraucht (Abb. 5.5).

Dabei handelt es sich im Wesentlichen um schwache Waldhölzer (Industrieholz), Sägenebenprodukte, Industriestrestholz und Gebrauchtholz, die je nach Art des Holzwerkstoffs in unterschiedlichen Anteilen eingesetzt werden. Während OSB ausschließlich aus frischem Waldholz gefertigt werden, findet bei Spanplatten ein signifikanter Einsatz von Gebrauchtholz statt (Abb. 5.6).

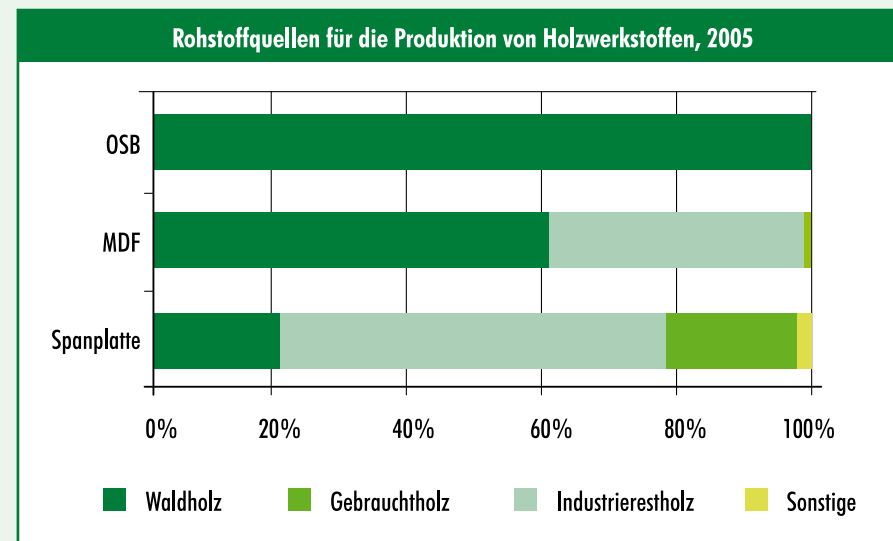


Abb. 5.6: Rohstoffquellen für die Produktion von Holzwerkstoffen in Deutschland (Quelle: Mantau/Universität Hamburg – Zentrum Holzwirtschaft), Angaben für 2005

Für das Jahr 2007 finden sich in der amtlichen Umsatzsteuerstatistik 285 Unternehmen als Hersteller von Furnier-, Sperrholz-, Holzfaser- und Holzspanplatten, welche einen Umsatz von 5,3 Mrd. Euro erzielten<sup>39</sup>. Die deutsche

Holzwerkstoffindustrie ist – strukturiert von mittelständischen Betrieben bis zu international organisierten Unternehmen – relativ eng konzentriert aufgestellt. Die Exportquote betrug 36% im Jahr 2007.

<sup>44</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

<sup>45</sup> United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)

## 5.4 Zellstoff- und Papierindustrie

Drittgrößter Holzrohstoffverwender im stofflichen Bereich ist die Zellstoff- und Papierindustrie. Für die stark integrierte Holzstoff-, Zellstoff- und Papiererzeugung ist Holz der Faserrohstoff für die Herstellung von Holzschliff und Papierzellstoff, die zu Papier, Pappe und Karton<sup>46</sup> weiterverarbeitet werden. Rund 3.000 verschiedene Papiersorten sind in Deutschland bekannt, die in vier Hauptsorten unterteilt werden: (1) Grafische Papiere; (2) Papiere, Karton und Pappe für Verpackungszwecke; (3) Hygienepapiere; (4) Technische- und Spezialpapiere.

Die deutsche Zellstoff- und Papierindustrie hat im Jahre 2008 10,3 Mio. m<sup>3</sup> Holzrohstoffe (Abb. 5.3) für die Produktion von Holzschliff und Papierzellstoff (Abb. 5.7) verbraucht. Für die Herstellung von Holzschliff und Papierzellstoff werden Waldhölzer (Industrieholz), die meist aus Durchforstungen stammen, und Sägenebenprodukte (Industriestholz) eingesetzt. Das Holz wird in seine Fasern zerlegt. Geschieht dies auf mechanische Weise, entsteht Holzstoff. Unter Einsatz von chemischen Verfahren entsteht Zellstoff, wobei im Wesentlichen zwei Verfahren industriell angewendet werden, das Sulfat- und das Sulfitverfahren. Bei der Produktion von Papierzellstoff in Deutschland lagen die

Anteile im Jahre 2008 bei etwa 60% Sulfatzellstoff und 40% Sulfitzellstoff.

Die Papierindustrie stellte 2008 rund 22,8 Mio. t Papier, Karton und Pappe her (Abb. 5.8). Damit ist Deutschland der größte Papierproduzent in Europa.

Die Holzrohstoffe für die inländische Herstellung von Papier, Pappe und Karton stammen nur teilweise aus deutscher Produktion. Dies zeigt ein Vergleich der Produktionszahlen (Abb. 5.7) mit den Verbrauchsdaten (Abb. 5.9). Während im Jahre 2008 bei Holzstoff nur etwa 15% des eingesetzten Holzstoffs aus Importen stammen, sind dies bei Papierzellstoff rund 80%.<sup>47</sup> Bei Altpapier gibt es einen rechnerischen Nettoexportüberschuss. Die Altpapiereinsatzquote<sup>48</sup> lag 2008 bei rund 68%.

Die Umsatzsteuerstatistik 2007 weist 634 Unternehmen in der Holz- und Zellstoffherzeugung sowie Papierherstellung mit einem Umsatz von 18,1 Mrd. Euro aus. Weitere 2.080 Unternehmen in der Papierverarbeitung erwirtschafteten 20,7 Mrd. Euro Umsatz.<sup>39</sup>

<sup>46</sup> Unterscheidungsmerkmal ist das Flächengewicht: Papier – bis ca. 170 g/m<sup>2</sup>, Karton – von ca. 170 bis ca. 600 g/m<sup>2</sup>, Pappe – über 600 g/m<sup>2</sup>.

<sup>47</sup> Unter Berücksichtigung von Exporten und Importen ergibt sich der Anteil aus dem Verhältnis von Importüberschuss zu Verbrauch.

<sup>48</sup> Altpapierverbrauch in % der Papierproduktion

| Produktion von Holz- und Zellstoff | 1987        | 2002        | 2003        | 2005        | 2007        | 2008        |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Holzstoff                          | 1,59        | 1,23        | 1,34        | 1,47        | 1,46        | 1,38        |
| Papierzellstoff                    | 0,61        | 0,87        | 0,85        | 1,41        | 1,55        | 1,52        |
| <b>Insgesamt</b>                   | <b>2,20</b> | <b>2,20</b> | <b>2,19</b> | <b>2,88</b> | <b>3,01</b> | <b>2,90</b> |

Abb. 5.7: Produktion von Zellstoff in Deutschland (Quelle: VDP<sup>7</sup>, ZMP<sup>43</sup>, FAO<sup>44</sup>; Stand: Dezember 2009), Angaben in Millionen Tonnen)

| Produktion von Papier, Karton und Pappe | 1987        | 2002        | 2003        | 2005        | 2007        | 2008        |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Insgesamt</b>                        | <b>10,3</b> | <b>18,5</b> | <b>20,4</b> | <b>21,7</b> | <b>23,3</b> | <b>22,8</b> |

Abb. 5.8: Produktion von Papier, Pappe und Karton in Deutschland (Quelle: VDP<sup>7</sup>; Stand: Dezember 2009), Angaben in Millionen Tonnen)

| Verbrauch von Faserrohstoffen in der Papierindustrie | 1987        | 2002         | 2003         | 2005         | 2007         | 2008         |
|--|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Holzstoff  | 1,47        | 1,40         | 1,52         | 1,68         | 1,63         | 1,66         |
| Sulfatpapierzellstoff                                | 2,40        | 3,36         | 3,81         | 4,15         | 4,33         | 4,08         |
| Sulfitpapierzellstoff                                | 0,83        | 0,67         | 0,70         | 0,81         | 0,80         | 0,72         |
| Altpapier  | 4,64        | 12,04        | 12,45        | 14,41        | 15,75        | 15,46        |
| <b>Insgesamt</b>                                     | <b>9,34</b> | <b>17,47</b> | <b>18,48</b> | <b>21,05</b> | <b>22,51</b> | <b>21,92</b> |

Abb. 5.9: Verbrauch von Zellstoff in Deutschland (Quelle: VDP<sup>7</sup>, ZMP<sup>43</sup>; Stand: Dezember 2009), Angaben in Millionen Tonnen)



## 6 Fazit und Ausblick

Deutschland als stark technologieorientiertes Land ist in besonderem Maße auf Innovationen angewiesen. Die stoffliche Verwendung nachwachsender Rohstoffe besitzt ein hohes Innovationspotential im Hinblick auf neue Technologien und neue Produkte. Dieses hohe Innovationspotential ist vereint mit einer hohen Wertschöpfung durch Erzeugung, Verarbeitung und Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Darüber hinaus leistet die stoffliche Verwendung nachwachsender Rohstoffe wichtige Beiträge zum Klimaschutz und zur Sicherheit der Rohstoffversorgung in Deutschland. Schließlich hilft sie mit, Abfälle, die oftmals teuer zu entsorgen sind, zu vermeiden. Die bisherige stoffliche Nutzung zeigt, dass sich Chancen für nachwachsende Rohstoffe insbesondere bei Produkten und Anwendungen bieten,

- die technische Vorteile haben,
- die eine hohe Wertschöpfung ermöglichen,
- die die Syntheseverleistung der Natur nutzen,
- bei denen teure Erdölprodukte durch nur wenig modifizierte, preiswerte nachwachsende Rohstoffe substituiert werden,
- die auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen preiswerter hergestellt werden können als auf Erdölbasis,
- die aufgrund ihrer Bioabbaubarkeit in umweltsensiblen Bereichen eingesetzt werden.

Der Einsatz nachwachsender Rohstoffe wird im Wesentlichen von vier Faktoren bestimmt:

- Verfügbarkeit,
- (konstante) Qualität,
- Preis,
- Verarbeitungstechnologie und technische Eignung.

Es werden sich in der chemischen Industrie insbesondere die Rohstoffe durchsetzen, die preislich wettbewerbsfähig sind bzw. bei denen echte technische Vorteile eine höhere Preisgestaltung erlauben. Hohe Wachstumsraten werden insbesondere bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Substitut fossiler Rohstoffe in der chemischen Industrie, als Basis für neue Produkte mit hoher Wertschöpfung, als Rohstoff für die Produktion biobasierter Werkstoffe und im Bereich Phytopharmaka erwartet. Ein weiterer Treiber des Wachstums wird auch die industrielle Biotechnologie sein. Einen wesentlichen Einfluss auf die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen haben auch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Hier ist vor allem – aber nicht nur – die Entwicklung des Rohölpreises von hoher Bedeutung.

Auf der Angebotsseite spielt der nachhaltige Anbau und die nachhaltige Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen eine große Rolle. Gleiches gilt natürlich auch für die Nachfrageseite beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe, wo die Umweltbelastung und Kosten, aber auch die sozialen Auswirkungen verschiedener Produkte und Herstellungsverfahren gegeneinander abgewogen werden müssen.

Die Festlegung von Nachhaltigkeitskriterien für die Produktion von Biomasse und deren Zertifizierung wird als ein zentraler Lösungsansatz gesehen, um einen Ausbau der industriellen und energetischen Biomassenutzung unter Gewährleistung von Nachhaltigkeit sicherzustellen. Sie ist im energetischen Bereich Bestandteil nationaler und europäischer Gesetzgebung. Einen solchen Nachweis für eine nachhaltige Biomassenutzung bezeichnet man als Zertifizierung. Mit Hilfe eines Zertifizierungssystems soll die Einhaltung bestimmter Nachhaltigkeitsstandards für Produkte/Dienstleistungen, deren Herstellungsverfahren einschließlich des Handels nachgewiesen werden. Die Entwicklung entsprechender Nachweissysteme ist jedoch außerordentlich komplex. Es gibt viele Studien zu Nachhaltigkeitsthemen bei Biomasse, aber nur wenige Ansätze für eine konkrete Umsetzung in die Praxis.

Zur möglichen Umsetzbarkeit eines umfassenden Lösungsansatzes in der Praxis fördert das BMELV über die FNR seit

2006 ein umfangreiches Pilotprojekt zur Zertifizierung von Biomasse. Eine zweijährige Pilotphase soll zeigen, welche Zertifizierungsverfahren wirklich funktionieren, welche Vor- und Nachteile sie aufweisen und was für einen Dauerbetrieb noch optimiert werden muss. Die Arbeiten sind soweit gediehen, dass 2009 die Ergebnisse erster Pilotzertifizierungen vorlagen und ein Regelbetrieb vorbereitet wird. Dieses System ist zur Zeit auf den energetischen Bereich beschränkt. Dieses Zertifizierungssystem namens „International Sustainability and Carbon Certification“ (ISCC) erhielt Anfang 2010 die vorläufige Zulassung als Zertifizierungssystem entsprechend der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV) durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). ISCC ist damit das weltweit erste Zertifizierungssystem, das für die Kontrolle der Einhaltung der Nachhaltigkeitsanforderungen bei Biokraftstoffen und flüssiger Biomasse für die Stromerzeugung staatlich zugelassen ist.

Im Rahmen der Leitmarktiniziative der EU-Kommission wird derzeit die Standardisierung biobasierter Produkte unter Berücksichtigung von Umweltkriterien vorangetrieben. Auch daran könnte eine Zertifizierung biobasierter Produkte künftig anknüpfen.



Darüber hinaus beeinflussen auch die ordnungspolitischen Rahmenbedingungen den stofflichen Einsatz nachwachsender Rohstoffe. Hierzu sind wesentliche Aspekte im bereits erwähnten „Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ genannt. Der Aktionsplan umfasst zwölf Handlungsfelder, in denen sich die Bundesregierung besonders engagiert, um den weiteren Ausbau der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe zu unterstützen und zu fördern. Die Umsetzung des Aktionsplans ist eine Querschnittsaufgabe, die nur von Politik, Unternehmen, Verbänden, Wissenschaft und Verbrauchern unter Flankierung der politischen Akteure in der Europäischen Union gemeinsam verwirklicht werden kann.

Da sich die stoffliche Verwertung nachwachsender Rohstoffe auch weiterhin unter Marktbedingungen ohne substantielle Subventionen vollziehen wird, kommt der Intensivierung der Förderung von Forschung und Entwicklung in diesem Bereich ein besonderes Augenmerk zu. Dies betrifft sowohl die staatliche Förderung als auch die Schaffung eines innovationsfreudigen Klimas für Unternehmen. Wichtig sind auch innovations- und investitionsfreundliche Rahmenbedingungen für den Anbau, die Bereitstellung, die Verarbeitung und die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen.





## 7 Weiterführende Literatur

### 7.1 Statistik

BMELV, „Statistik und Berichte“, <http://www.bmelv-statistik.de>

BMELV, „Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten“, <http://www.bmelv-statistik.de/de/statistisches-jahrbuch>

Statistisches Bundesamt (Destatis), „GENESIS-Online“, <http://www.destatis.de>

Statistische Amt der Europäischen Union (Eurostat), „Statistical Database“, <http://ec.europa.eu/eurostat>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), „FAOSTAT“, <http://faostat.fao.org>

United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), „UNECE Trade and Timber Division - Data and Statistics“, <http://timber.unece.org/index.php?id=84>

### 7.2 Nachwachsende Rohstoffe: Allgemeine Informationen, Ökonomie, Ökologie

BMELV, „Nachwachsende Rohstoffe“, [http://www.bmelv.de/cln\\_172/DE/Landwirtschaft/Nachwachsende-Rohstoffe/nachwachsende-rohstoffe\\_node.html](http://www.bmelv.de/cln_172/DE/Landwirtschaft/Nachwachsende-Rohstoffe/nachwachsende-rohstoffe_node.html)

BMELV, „Nachwachsende Rohstoffe“, [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_346-nawaro\\_magazin\\_web.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_346-nawaro_magazin_web.pdf)

BMELV, „Aktionsplan der Bundesregierung zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe“, 2009, [http://www.bmelv.de/cln\\_137/SharedDocs/Standardartikel/Landwirtschaft/Bioenergie-NachwachsendeRohstoffe/NachwachsendeRohstoffe/AktionsplanNaWaRo.html?nn=453792](http://www.bmelv.de/cln_137/SharedDocs/Standardartikel/Landwirtschaft/Bioenergie-NachwachsendeRohstoffe/NachwachsendeRohstoffe/AktionsplanNaWaRo.html?nn=453792)

FNR, „Basisinfo Nachwachsende Rohstoffe“, <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/basisinfo-nachwachsende-rohstoffe.html>

FNR, „Mediathek Nachwachsende Rohstoffe“, <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/service/mediathek/literatur.html>

FNR, „Daten und Fakten zu nachwachsenden Rohstoffen“, und [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_303fg\\_dafa\\_071107.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_303fg_dafa_071107.pdf)

FNR, „Themenportale Nachwachsende Rohstoffe“, <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/themenportale.html>

Wikipedia, „Portal Nachwachsende Rohstoffe“, [http://de.wikipedia.org/wiki/Portal:Nachwachsende\\_Rohstoffe](http://de.wikipedia.org/wiki/Portal:Nachwachsende_Rohstoffe)

nova-Institut für politische und ökologische Innovation GmbH, „Nachrichtenportal Nachwachsende Rohstoffe“, <http://www.nachwachsende-rohstoffe.info>

FNR, „Projekte des BMELV im Bereich Nachwachsende Rohstoffe“, <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/projekte-foerderung/projekte.html>

edu-Consult, Goethe-Universität Frankfurt „Nachwachsende Rohstoffe und Klimaschutz - Ein WebQuest für Schüler“, <http://www.naturwissenschaften-entdecken.de/nachwachsende-rohstoffe.php>

FNR, „Bildung & Schule - Lehrmaterialien und Ausbildungsangebote zu Nachwachsenden Rohstoffen“, <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/service/schule-ausbildung/lehrmaterialien/schule.html>

FNR, „Nachwachsende Rohstoffe - Spitzentechnologie ohne Ende“, 2007, [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_245spitzentechnologie\\_2007.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_245spitzentechnologie_2007.pdf)

Dr. Norbert Schmitz - meo Consulting Team, „Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe“, FKZ 22011102, Auftrag des BMELV, [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_254marktstudie\\_2006.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_254marktstudie_2006.pdf) und [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_281marktanalyse-ii-komplett.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_281marktanalyse-ii-komplett.pdf)

nova-Institut für politische und ökologische Innovation GmbH, „Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von Nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland - Volumen, Struktur, Substitutionspotentiale, Konkurrenzsituation, Besonderheiten der stofflichen Nutzung und Entwicklung von Förderinstrumenten“, FKZ 22003908, BMELV-gefördertes Projekt, <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/projekte-foerderung/projekte.html>

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), **„Makroökonomische Effekte des Anbaus und der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen“**, FKZ 22008502, Auftrag des BMELV, [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf294\\_Makrooekonomie.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf294_Makrooekonomie.pdf)

AFC Management Consulting AG, **„Jährliche Erhebung von statistischen Daten zu Anbau und Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe“**, FKZ 22002607, Auftrag des BMELV, <http://www.nachwachsenderrohstoffe.de/projekte-foerderung/projekte.html>

Dr. Gehrig Management & Technologieberatung **„Erhebung statistischer Daten zu Preisen nachwachsender Rohstoffe“**, FKZ 22024507, Auftrag des BMELV, <http://www.nachwachsenderrohstoffe.de/projekte-foerderung/projekte.html>

Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA), Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (GDCh), Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK), Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), Gemeinschaftsarbeitskreis „Bewertung der Nutzung nachwachsender Rohstoffe – ein Beitrag zur Nachhaltigkeit in der Chemie“, **„Positionspapier Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der chemischen Industrie“**, 2008, [http://www.dechema.de/dechema\\_media/Downloads/Positionspapiere/PP\\_in\\_der\\_chemischen\\_Industrie\\_final\\_DINA5.pdf](http://www.dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/PP_in_der_chemischen_Industrie_final_DINA5.pdf)

PE International, **„Auswertung von Studien zur ökologischen Betrachtung von nachwachsenden Rohstoffen bei einer stofflichen Nutzung“**, FKZ 22012106, Auftrag des BMELV, [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_339-auswahl.htm](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_339-auswahl.htm)

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, **„Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen“**, 2009, [http://www.wupperinst.org/uploads/tx\\_wibeitrag/WP180.pdf](http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/WP180.pdf)

Dr. Norbert Schmitz - meo Consulting Team, **„Zertifizierung von Biokraftstoffen“**, FKZ 22016706 und **„Zertifizierung von Biomasse und Biokraftstoffen – Pilotphase“**, FKZ 22007207, BMELV-gefördertes Projekt, <http://www.iscc-project.org>

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH (Koordination) **„Netzwerk Lebenszyklusdaten“**, <http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de> und <http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de/cms/content/site/lca/Home/Aktivitaeten/AKNaWaRo>

Silke Feifel, Wolfgang Walk, Sibylle Wursthorn, Liselotte Schebek (Herausgeber), **„Ökobilanzierung 2009 – Ansätze und Weiterentwicklungen zur Operationalisierung von Nachhaltigkeit“**, Tagungsband Ökobilanz-Werkstatt 2009, <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2009/feua09a.pdf>

Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), **„Rohstoffbasis der chemischen Industrie: Daten und Fakten“**, 2009, <http://www.vci.de/default2~cmd~shd~docnr~126033~rub~743~tma~1~nd~,n02,.htm>

Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA), Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (GDCh), Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK), Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI), **„Rohstoffbasis im Wandel“**, 2010, [http://www.dechema.de/dechema\\_media/Downloads/Positionspapiere/Positionspapier\\_Rohstoffbasis\\_im\\_Wandel.pdf](http://www.dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Positionspapier_Rohstoffbasis_im_Wandel.pdf)

### 7.3 Landwirtschaft, Pflanzen & Agrarrohstoffe, Biobasierte Produkte, Biowerkstoffe, Naturbaustoffe

BMELV, **„Landwirtschaft & Ländliche Räume“**, [http://www.bmelv.de/cln\\_172/DE/Landwirtschaft/landwirtschaft\\_node.html](http://www.bmelv.de/cln_172/DE/Landwirtschaft/landwirtschaft_node.html)

BMELV, **„Die deutsche Landwirtschaft - Leistungen in Daten und Fakten“**, [http://www.bmelv.de/cln\\_172/cae/servlet/contentblob/430138publicationFile/56218/DieDeutscheLandwirtschaft.pdf](http://www.bmelv.de/cln_172/cae/servlet/contentblob/430138publicationFile/56218/DieDeutscheLandwirtschaft.pdf)

aid infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e.V., 1334/2009, **„Was ist uns unsere Landwirtschaft wert? - EU-Zahlungen für Landwirtschaft und ländlichen Raum“**, [http://aid.de/shop/pdf/1569\\_2009\\_landw\\_wert\\_x000.pdf?cb\\_content\\_name=1569,%20Was+ist+uns+unsere+Landwirtschaft+wert%3F+-+EU-Zahlungen+%FCr+Landwirtschaft+und+l%E4ndlichen+Raum](http://aid.de/shop/pdf/1569_2009_landw_wert_x000.pdf?cb_content_name=1569,%20Was+ist+uns+unsere+Landwirtschaft+wert%3F+-+EU-Zahlungen+%FCr+Landwirtschaft+und+l%E4ndlichen+Raum)

BMELV, **„Pflanze“**, [http://www.bmelv.de/cln\\_172/DE/Landwirtschaft/Pflanze/pflanze\\_node.html](http://www.bmelv.de/cln_172/DE/Landwirtschaft/Pflanze/pflanze_node.html)

FNR **„Pflanzen für die Industrie“**, 2005, [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_197industriepfl2005.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_197industriepfl2005.pdf)

FNR **„Arzneipflanzen – Anbau und Nutzen“**, 2007, [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_287-arzneibroschur\\_2009\\_download.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_287-arzneibroschur_2009_download.pdf)



FNR „**Färberpflanzen**“, 2009,  
[http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_167faerber\\_2004.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_167faerber_2004.pdf)

Senat der Bundesforschungsinstitute im Geschäftsbereich des BMELV „**Pflanzen als Nachwachsende Rohstoffe**“, ForschungsReport 1/2009,  
<http://www.bmelv.de/cae/servlet/contentblob/610474/publicationFile/35324/Forschungsrep1-2009.pdf>

BMBF „**Pflanzen als Rohstoffe für die Zukunft - Neue Wege für Landwirtschaft, Ernährung, Industrie und Energie**“, 2008,  
[http://www.bmbf.de/pub/rohstoff\\_pflanze.pdf](http://www.bmbf.de/pub/rohstoff_pflanze.pdf)

ECO SYS Gesellschaft für Analytik und Projektmanagement mbH, „**Stoffliche Verwertung von Kohlenhydraten in der Bundesrepublik Deutschland**“, FKZ 22018709, BMELV-gefördertes Projekt,  
<http://www.nachwachsenderohstoffe.de/projekte-foerderung/projekte.html>

FNR, „**Bioschmierstoffe**“, <http://www.bioschmierstoffe.info>

FNR, „**Biowerkstoffe**“, <http://www.biowerkstoffe.info>

FNR „**Biokunststoffe**“, 2005,  
[http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_224biokunststoff\\_2006.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_224biokunststoff_2006.pdf)

FH Hannover, M-Base „**Biopolymerdatenbank**“, FKZ 22022705, BMELV-gefördertes Projekt, <http://www.materialdatacenter.com>

FNR „**Naturfaserverstärkte Kunststoffe**“, 2008,  
[http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_227-brosch\\_nfk\\_2008.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_227-brosch_nfk_2008.pdf)

nova-Institut für politische und ökologische Innovation GmbH, „**Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU)**“, FKZ 22020005, BMELV-gefördertes Projekt,  
[http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_315gf\\_band\\_26\\_komplet\\_100.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_315gf_band_26_komplet_100.pdf)

FNR, „**Bauen und Wohnen mit nachwachsenden Rohstoffen**“, <http://www.natur-baustoffe.info>

FNR „**Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen**“, 2009, [http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_317-brosch\\_daemmstoffe2009.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_317-brosch_daemmstoffe2009.pdf)

aid infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e.V. „**Bauen auf die Kraft der Natur**“, 2005,  
[http://www.aid.de/landwirtschaft/technik\\_bauen.php?orderno=7628](http://www.aid.de/landwirtschaft/technik_bauen.php?orderno=7628)

## 7.4 Forst und Holz

BMELV, „**Wald, Holz & Jagd**“, [http://www.bmelv.de/cln\\_172/DE/Landwirtschaft/Wald-Jagd/wald-jagd-node.html](http://www.bmelv.de/cln_172/DE/Landwirtschaft/Wald-Jagd/wald-jagd-node.html)

BMELV, „**Ergebnisse der Bundeswaldinventur (BWI)**“, 2003,  
<http://www.bundeswaldinventur.de>

Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI), „**Inventurstudie 2008**“, 2008, Auftrag des BMELV,  
[http://www.vti.bund.de/de/aktuelles/presse/pdf/AFZ\\_InvStudie-kompl.pdf](http://www.vti.bund.de/de/aktuelles/presse/pdf/AFZ_InvStudie-kompl.pdf)

BMELV, „**Cluster Forst und Holz - Sonderdruck der im Holz-Zentralblatt von 2006-2008 veröffentlichten Ergebnisberichte der Teilstudien**“, 2008,  
[http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf\\_347-cluster-studien-holz.pdf](http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_347-cluster-studien-holz.pdf)

Wald-Zentrum der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, „**Clusterstudie Forst- und Holzwirtschaft Bundesrepublik Deutschland**“, 2005,  
[http://www.wald-zentrum.de/index\\_innen.php?unav=projekte&subnav=aktuelle&seite=clusterstudie\\_deutschland.html](http://www.wald-zentrum.de/index_innen.php?unav=projekte&subnav=aktuelle&seite=clusterstudie_deutschland.html) und  
<http://www.wald-zentrum.de/pdf/projekte/Clusterstudie.pdf>

BMELV, „**Charta für Holz**“, 2004, <http://www.bfafh.de/bibl/pdf/chartaholz.pdf> und  
[http://www.bmelv-forschung.de/fileadmin/sites/FR-Texte/2005/R9\\_2005-1\\_0012.pdf](http://www.bmelv-forschung.de/fileadmin/sites/FR-Texte/2005/R9_2005-1_0012.pdf)

BMELV, „**Symposium Waldstrategie 2020**“, Berlin, 10.-11.12.2008,  
<http://www.fnr.de/waldstrategie2020>

Björn Seintsch, Matthias Dieter (Herausgeber), „**Waldstrategie 2020**“, Tagungsband zum Symposium des BMELV, Berlin, 10.-11.12.2008, Landbauforschung - vTI agriculture and forestry research, 327 (2009) 27-36,  
[http://www.vti.bund.de/fallitdok\\_extern/bitv/zi044075.pdf](http://www.vti.bund.de/fallitdok_extern/bitv/zi044075.pdf)

Udo Mantau, Christian Sörgel, Holger Weimar, Universität Hamburg – Zentrum Holzwirtschaft, „**Holzrohstoffbilanz Deutschland - Bestandsaufnahme 1987 bis 2005**“, 2007

Udo Mantau, Universität Hamburg – Zentrum Holzwirtschaft, **„Holzrohstoffbilanz Deutschland: Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung bis 2012“**, Landbauforschung - vTI agriculture and forestry research, 327 (2009) 27-36, [http://www.bfafh.de/bibl/lbf-pdf/landbauforschung-sh/lbf\\_sh327.pdf](http://www.bfafh.de/bibl/lbf-pdf/landbauforschung-sh/lbf_sh327.pdf)

Matthias Dieter, Universität Hamburg – Zentrum Holzwirtschaft, **„Volkswirtschaftliche Betrachtung von holzbasierter Wertschöpfung in Deutschland“**, Landbauforschung - vTI agriculture and forestry research, 327 (2009) 37-46, [http://www.bfafh.de/bibl/lbf-pdf/landbauforschung-sh/lbf\\_sh327.pdf](http://www.bfafh.de/bibl/lbf-pdf/landbauforschung-sh/lbf_sh327.pdf)

Björn Seintsch, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI), **„Entwicklungen des Clusters Forst und Holz zwischen 2000 und 2007: Ergebnisse und Tabellen für das Bundesgebiet und die Länder“**, Arbeitsbericht 2010/02 des Instituts für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, <http://d-nb.info/1003518508/>

Udo Mantau, Universität Hamburg – Zentrum Holzwirtschaft, **„Ökologische Potentiale durch Holznutzung gezielt fördern (Ökopot) – Marktanalyse der Holzprodukte und der wichtigsten Konkurrenten“**, FKZ 0330545B, BMBF-gefördertes Projekt, <http://www.oekopot.de>

Udo Mantau und Bernd Bilitewski, **„Stoff-Strom-Analyse Holz Stoffstrom-Modell-HOLZ – Bestimmung des Aufkommens, der Verwendung und des Verbleibs von Holzprodukten“**, Forschungsbericht für den Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP), 2005, [http://www.muellundabfall.de/download/pdf/mua\\_20050604.pdf](http://www.muellundabfall.de/download/pdf/mua_20050604.pdf)

Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP), **„Leistungsbericht Papier 2008“** und **„Leistungsbericht Papier 2009“**, <http://www.vdp-online.de>

BMELV, **„Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2003 bis 2042 (WEHAM)“**, <http://www.bundeswaldinventur.de>

BMELV, **„Waldbericht der Bundesregierung 2009“**, <http://www.bmelv.de/Shared-Docs/Downloads/Broschueren/Waldbericht2009.html?nn=309822>

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, **„Holzwende 2020plus : Nachhaltige Zukunftsmärkte für den Rohstoff Holz“**, FKZ 0330566A-E, BMBF-gefördertes Projekt, <http://www.holzwende2020.de>

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH, **„Zukünfte und Visionen Wald 2100 : Langfristige Perspektiven von Wald- und Landnutzung – Entwicklungsdynamiken, normative Grundhaltungen und Governance“**, FKZ 0330789A-F, BMBF-gefördertes Projekt, <http://www.waldzukuenfte.de>

Hochschule Biberach, Institut für Holzbau, **„Zukunft Holz - Statusbericht zum aktuellen Stand der Verwendung von Holz und Holzprodukten im Bauwesen und Evaluierung künftiger Entwicklungspotentiale“**, 2009, Aktenzeichen 54-8214.07 IV/59-15, Auftrag des Ministeriums für Ernährung und Ländlicher Raum Baden-Württemberg, [http://www.fva-bw.de/forschung/wn/zukunft\\_holz.html](http://www.fva-bw.de/forschung/wn/zukunft_holz.html)

Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI), **„Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz“**, FKZ 22028808, BMELV-gefördertes Projekt, <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/projekte-foerderung/projekte.html>

EPEA Internationale Umweltforschung GmbH, **„CO<sub>2</sub>-Speicherung und Wertschöpfung – Holznutzung in einer Kaskade“**, 2009, [http://epea-hamburg.org/fileadmin/downloads/2009/EPEA\\_Studie\\_Holz\\_Kaskadennutzung\\_2009\\_Kurzfassung.pdf](http://epea-hamburg.org/fileadmin/downloads/2009/EPEA_Studie_Holz_Kaskadennutzung_2009_Kurzfassung.pdf)

Justus-Liebig-Universität Gießen, **„Standortspezifische Analyse der Wettbewerbsfähigkeit von Kurzumtriebspappeln“**, FKZ 22015808, BMELV-gefördertes Projekt, <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/projekte-foerderung/projekte.html>

Holzabsatzfonds – Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft (HAF), **„Info Holz“**, <http://www.holzabsatzfonds.de>, <http://www.infoholz.de> (Da der HAF seine Tätigkeit zum 31.08.2009 eingestellt hat, werden seit dem alle Internetseiten nicht mehr aktualisiert. Ab dem 01.04.2010 übernimmt die „Zukunft Holz GmbH“ (ZHG) die zentrale Holzabsatzförderung in Deutschland.)

Plattform Forst und Holz/Deutscher Forstwirtschaftsrat e.V., **„Informationsdienst Holz“**, <http://www.informationsdienst-holz.de>

Plattform Forst und Holz/Forst Holz Markt Consulting Dr. Franz-Josef Lückge, **„Holzmarktbericht“**, [www.holzmarktbericht.de](http://www.holzmarktbericht.de)

aid infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e.V., 1334/2009 **„Forst/Holz 2009“**, [http://www.aid.de/shop/addinfo\\_files/1097.pdf](http://www.aid.de/shop/addinfo_files/1097.pdf)





## Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)  
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow  
info@fnr.de • www.fnr.de

Mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

FNR-Bestellnummer 228