
Klimaschutz und optimierter Ausbau erneuerbarer Energien durch Kaskaden- nutzung von Biomasseprodukten

Potenziale, Entwicklungen und Chancen einer
integrierten Strategie zur stofflichen und
energetischen Nutzung von Biomasse

Karin Arnold (Koordination)
Katrin Bienge
Justus von Geibler
Michael Ritthoff
Thomas Targiel
Christoph Zeiss
Ulrike Meinel
Kora Kristof
Stefan Bringezu

Wuppertal Report

5

Dezember 2009

ISSN 1862-1953



Klimaschutz und optimierter Ausbau erneuerbarer Energien durch Kaskadennutzung von Biomasseprodukten

Potenziale, Entwicklungen und Chancen einer integrierten Strategie zur stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse

Karin Arnold
Katrín Bienge
Justus von Geibler
Michael Ritthoff
Thomas Targiel
Christoph Zeiss
Ulrike Meinel
Kora Kristof
Stefan Bringezu

**Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie GbmH**
Döppersberg 19
42103 Wuppertal

Internet: www.wupperinst.org
E-Mail: karin.arnold@wupperinst.org

Ansprechpartnerin:

Dipl.-Ing. Karin Arnold
Tel.: 0202 2492 -286
Fax: 0202 2492 -198
karin.arnold@wupperinst.org

„**Wuppertal Reports**“ sind Abschlussberichte aus Projekten, die vom Auftraggeber zur Veröffentlichung freigegeben wurden. Sie sollen Interessenten mit den Projektergebnissen aus der Arbeit des Instituts vertraut machen und zur kritischen Diskussion einladen. Das Wuppertal Institut achtet auf ihre wissenschaftliche Qualität. Für den Inhalt sind die Autoren verantwortlich.

Vorwort

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der Verknappung fossiler Ressourcen haben nachwachsende Rohstoffe in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Insbesondere die Bioenergie hat durch staatliche Fördermaßnahmen viel Aufmerksamkeit erfahren. Mit der Ausweitung der energetischen Nutzung von Biomasse sollen Beiträge zum Klimaschutz durch die Vermeidung von Treibhausgasen geleistet, die Versorgungssicherheit soll durch Ersatz der knapper werdenden fossilen Ressourcen erhöht und der ländliche Raum gestärkt werden. Die selben Argumente lassen sich auch für die stoffliche Nutzung von Biomasse heranziehen. Auch wenn diese ist etwas aus dem Blickfeld der energiebezogenen Diskussion geraten ist, kann doch auch hier in den nächsten Jahren ein erhebliches Marktwachstum erwartet werden.

Biomasse als erneuerbare Ressource kann in Land- und Forstwirtschaft aber nur begrenzt bereitgestellt werden. Dies gilt umso mehr, als bestimmte Nachhaltigkeits-Anforderungen eingehalten werden müssen. Der zu erwartenden Nachfragesteigerung für nachwachsende Rohstoffe (Nawaro) steht damit eine limitierte Verfügbarkeit entgegen. Aus dieser leitet sich die Forderung nach einer möglichst effizienten Verwertung ab. In diesem Zusammenhang fällt immer häufiger der Begriff der Kaskadennutzung von Nawaro als möglicher Lösungsansatz. Dieses Konzept kann im Wesentlichen als eine Hintereinanderschaltung von (mehrfacher) stofflicher und energetischer Nutzung desselben Rohstoffs gesehen werden und schafft so eine Verbindung des Material- und Energiesektors.

Das Prinzip der Kaskadennutzung ist damit ein Ansatz zur Steigerung der Rohstoffeffizienz von nachwachsenden Rohstoffen und zur Optimierung der Flächennutzung. Das Ziel des vorliegenden Berichts ist es, die Option „Kaskadennutzung“ strategisch, differenziert und ganzheitlich zu beleuchten. Im Rahmen der Projektarbeit sind daher Anforderungen an eine nachhaltige Kaskadennutzung von Nawaro abgeleitet und Schlussfolgerungen zu deren Ausgestaltung gezogen worden, um die Potenziale von Biomasse hochwertig und erfolgreich zu nutzen.

Wuppertal, Dezember 2009

Dipl.-Ing. Karin Arnold (Koordination)

Dipl.-Ing. Katrin Bienge

Dipl.-Forstw., M.Sc. Justus von Geibler

Dipl.-Ing. Michael Ritthoff

Dipl.-Ing. Thomas Targiel

Dipl.-Biol. Christoph Zeiss

M.A. Ulrike Meinel

Dr. Kora Kristof

Dr. Stefan Bringezu

Abstract

Against the background of climate change and the scarcity of fossil resources, renewable feedstock gains of importance. Especially bio energy has gotten attention through federal promotion. Further expansion of the energetic use of biomass shall enhance climate protection through reduction of greenhouse gases, security of supply and even consolidation of rural structures. In these discussions, the material use of biomass has slightly disappeared from sight, but for the next years, considerable market growth is foreseen. Positive effects on climate protection and rural areas can be expected through material use, as well. Thus, there is a considerable competition between material and energetic biomass use.

Biomass as renewable resource can only be supplied from agriculture and forestry to certain amounts. This holds all the more, as certain sustainability standards have to be met. From the limited availability and the increasing demands derives the request for the most efficient use. In this context, cascading of biomass is said to be a possible solution, as it can provide one alternative to mitigate the competition conflicts of material and energetic use of biogenic resources and utilize synergies in terms of sustainable development.

The concept of cascading describes the strategy to utilize products or their components in a preferably comprehensive way within the economic system by a sequence of multiple material and finally energetic uses at the end of their life cycle. This said, often there is no elaborate concept behind the buzzword; possible indirect ecologic and economic effects are neglected. As well, the option of cascading in many cases is reduced to the sector of the wood using industry. There are many starting points for biomass cascading. However, still there is only insufficient analysis whether and how far these concepts persist, what the whole potential is, and which implementation requirements have to be complied with. That applies to the evaluation of eco-efficiency criteria, too.

The following elaborations integrate agricultural as well as silvicultural products and examples regard both sectors, to demonstrate the broad feasibility of the concept. It is the aim of the project, to examine the option of biomass cascading from a strategic, differentiated and holistic point of view. In the present study, requirements of a sustainably cascading of biomass are derived and conclusions as to resulting arrangements and compositions are drawn, to use the limited potentials of biomass for agriculture and forestry as high-value products. Doing this, the arrangement and detailed description of single biomass cascades is not in the focus, but the development of conceptual basics for optimisation. On this basis it can be decided, whether or not the concept is suitable to contribute to a solution to the competition of material and energetic use of biogenic resources. The study results will help to develop strategies on optimised combination of re-use, material recycling, resource recycling, and energetic use of biomass in order to increase the overall efficiency.

Inhalt

1	Einleitung	11
2	Kaskadennutzung: bewährtes Prinzip mit Optimierungspotenzial	13
2.1	Literaturscreening: Begrifflichkeit und Definitionen	13
2.2	Begriffsdefinition: Konzepte zur gekoppelten Nutzung von Nawaro	15
2.2.1	Nutzung bestehender Neben- und Koppelprodukte	15
2.2.2	Parallele Nutzung der ganzen Pflanze in verschiedenen Anwendungen	16
2.2.3	Prinzip der Kaskadennutzung: sequentielle stoffliche Nawaro-Nutzung und energetische Verwertung am Ende des Lebenszyklus	17
3	Politische Rahmenbedingungen	18
3.1	Energiepolitik	19
3.1.1	Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)	19
3.1.2	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG	22
3.1.3	Marktanreizprogramm zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (MAP)	24
3.1.4	Biokraftstoffquotengesetz	25
3.1.5	Optimierung der energetischen Biomassennutzung	27
3.1.6	Energie vom Land	27
3.1.7	Grundlagenforschung Energie 2020+	28
3.2	Agrar- und Forstpolitik	29
3.2.1	Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe	30
3.2.2	Demonstrationsvorhaben zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe	32
3.3	Abfall- und Produktpolitik	33
3.3.1	Ökodesign-Richtlinie der EU	34
3.3.2	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz	35
3.3.3	BMU-Programm Demonstrationsvorhaben	38
3.3.4	ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm	38
3.4	Ressourcenpolitik	39
3.4.1	Impulsprogramm Materialeffizienz	39
3.5	Zwischenfazit	41
4	Stoffströme: Biomasse	43
4.1	Biomasse-Angebot: Holz	43
4.1.1	Holzaufkommen: Ist- und Trendanalyse	43
4.1.2	Potenzialabschätzung	46

4.2	Verwendung von Holz	49
4.2.1	Holzrohstoffverwendung	49
4.2.2	Holznutzung nach Verwendungsbereichen	52
4.2.3	Szenarien für die Holzverwendung	55
4.3	Aufkommen und Verwendung von Energiepflanzen und anderen pflanzlichen Erzeugnissen	57
4.3.1	Ölhaltige Pflanzen	60
4.3.2	Kohlehydrathaltige Pflanzen	60
4.3.3	Faserpflanzen	61
4.3.4	Arznei- und Färberpflanzen	62
4.3.5	Dauerwiesen und Mähweiden	62
4.3.6	Entwicklung des Aufkommens von Energiepflanzen und anderen pflanzlichen Erzeugnissen	63
4.4	Aufkommen und Verwendung von Reststoffen	63
4.4.1	Landwirtschaft	63
4.4.2	Reststoffe aus der Industrie	65
4.4.3	Organische Abfallstoffe aus Kommunen	68
4.4.4	Zukünftiges Aufkommen an Reststoffen	69
4.5	Zwischenfazit: Biomasse-Stoffströme	69
5	Energetische Nutzung von Biomasse	72
5.1	Mengenströme: energetische Nutzung	73
5.1.1	Strom	73
5.1.2	Wärme	74
5.1.3	Kraftstoff	75
5.2	Technische Beschreibung der relevanten Pfade zur energetischen Nutzung	76
5.2.1	Vergasung fester Biomasse	76
5.2.2	Verbrennung fester Biomasse	80
5.2.3	Vergärung feuchte Biomasse zu Biogas	84
5.2.4	Vergärung zu Bioethanol	87
5.2.5	Veresterung von Ölen und Fetten	89
5.3	Technische Restriktionen der jeweiligen energetischen Nutzungen	89
5.3.1	Thermische Umsetzung fester Biomasse	90
5.3.2	Vergärung feuchter Biomasse zu Biogas	94
5.3.3	Vergärung zu Bioethanol	96
5.3.4	Veresterung zu Biodiesel	96
5.4	Zwischenfazit	97
6	Darstellung von Fallbeispielen	99
6.1	Auswahl von Fallbeispielen	99
6.2	Fallbeispiel a) Altholznutzung	103
6.2.1	Beschreibung der Altholznutzung	103
6.2.2	Mengen und Trends der Altholznutzung	106

6.2.3	Bewertung der eingesetzten Technologien und deren Entwicklungspotenzial	108
6.2.4	Treiber der Marktpotenziale eng verbunden mit Konkurrenz- / Alternativroh- und Werkstoffe	111
6.2.5	Effekte auf die Ressourcennutzung und Beschäftigung	112
6.2.6	Fazit: Ansatzpunkte zur ressourceneffizienten Kaskadenoptimierung	114
6.3	Fallbeispiel b) Acid Methyl Ester (AME)	115
6.3.1	Beschreibung der Kaskade Rapsöl-Frittierfett-AME	115
6.3.2	Mengen und Trends	116
6.3.3	Vernetzung von Nutzungsstufen	117
6.3.4	Beschreibung und Bewertung der eingesetzten Technologien	117
6.3.5	Klima- und Umwelteffekt der Kaskade	119
6.3.6	Treiber, Marktpotenziale und Nutzungskonkurrenzen	120
6.3.7	Arbeitsplatzeffekte der Kaskade	121
6.3.8	Fazit zur Kaskade AME	122
6.4	Zwischenfazit	123
7	Umsetzbarkeit und Bewertung der Kaskadennutzung von Biomasse	124
7.1	Schema zur Bewertungsmethodik: Entscheidungsbaum zur Optimierung von Biomasse- und Kaskadennutzung	124
7.2	Prüfung der technisch-ökonomischen Machbarkeit	127
7.3	Nachhaltigkeitsbewertung	128
7.3.1	Anforderungen an Nachhaltigkeitsbewertung	129
7.3.2	Ausgewählte Indikatoren zur Nachhaltigkeitsbewertung von Biomasse-Kaskaden	134
7.3.3	Volkswirtschaftliche Aspekte	137
7.4	Anforderungen an nachhaltige Biomasse-Kaskaden	138
7.4.1	Herausforderungen einer effizienten und nachhaltigen Nawaro-Nutzung	138
7.4.2	Anforderungen an eine nachhaltige Gestaltung von Biomasse-Kaskaden	139
8	Fazit und Ausblick	141
8.1	Zusammenfassung der Projektergebnisse	141
8.2	Schlussfolgerungen	142
9	Literatur- und Quellenverzeichnis	145

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Untersuchte Politikinstrumente mit Bezug auf die Kaskadennutzung von Biomasse	18
Tabelle 3-2: Übersicht über Förderinstitutionen und Fördertatbestände im MAP	24
Tabelle 3-3: Beimischungsquoten nach dem Biokraftstoffquotengesetz in der Fassung vom 18. Dezember 2006	25
Tabelle 3-4: Politikinstrumente und ihre direkte Wirkungen auf die Kaskadennutzung von Biomasse	41
Tabelle 4-1: Holzwarenströme in Deutschland [in Mio. m ³ Rohholzäquivalente (r)]	45
Tabelle 4-2: Holzrohstoffaufkommen der Jahre 2002, 2004–2006 [in Mio. Fm]	46
Tabelle 4-3: Verwendung von Holzrohstoffen 2004 in Deutschland [in Mio. m ³]	50
Tabelle 4-4: Holzrohstoffverwendung der Jahre 2005-2006 nach Mantau 2008 [in Mio. Fm]	51
Tabelle 4-5: Verwendung von Halbwaren im Jahr 2002 in Deutschland [in Mio. m ³]	52
Tabelle 4-6: Holzrohstoffbilanz, 2005 und BAU I und II für 2010, 2020 und 2030 [in Mio. m ³]	56
Tabelle 4-7: Verwendung von pflanzlichen Fasermaterialien in Deutschland	62
Tabelle 4-8: Getreideanbaufläche, K/S-Verhältnisse und Strohaufkommen in Deutschland im Jahr 2004	64
Tabelle 4-9: Viehbestände der betrachteten Nutztierhaltungen in Deutschland 2004	65
Tabelle 5-1: Stromerzeugung aus Biomasse-Kenndaten zum Anlagenbestand 2006	74
Tabelle 5-2: Struktur der biogenen Wärmeerzeugung in D in 2007	75
Tabelle 5-3: Biokraftstoffe in D in 2007	76
Tabelle 5-4: Kenndaten verschiedener Biomasse-Vergaser	81
Tabelle 5-5: Spezifische Kenndaten für exemplarische Biogasanlagen	87
Tabelle 5-6: Verbrennungstechnische Kenndaten von naturbelassenen Biomasse-Festbrennstoffen	91
Tabelle 5-7: Einordnung von Substraten nach Aufwand für die Bereitstellung	94
Tabelle 6-1: Schema zur ersten Auswahlstufe für die Kaskadennutzung	100
Tabelle 6-2: Erweiterung des Schemas zur ersten Auswahlstufe: derzeitige Verwendung von Holz sowie Ackerfrüchten außerhalb des Nahrungs- und Futtermittelbereichs	103
Tabelle 6-3: Schema zur ersten Auswahlstufe: Kaskaden auf Basis von Holzrohstoffnutzung	102

Tabelle 6-4:	Altholzkategorien nach AltholzV §2 mit Herkunft und Verwertungsmöglichkeiten	105
Tabelle 6-5:	Einschätzung zum separaten Altholzaufkommen nach den Kategorien A I bis A IV der AltholzV	107
Tabelle 6-6:	Einschätzung zur Veränderung des Ressourcenverbrauches durch eine stoffliche Altholzholznutzung	113
Tabelle 7-1:	Ausgangssituationen der Kaskadennutzung für holzbasierte Biomasse	128

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Multiple Nutzung von Nawaro I: Nutzung von Neben- und Koppelprodukten	15
Abbildung 2-2:	Multiple Nutzung von Nawaro II: Parallele Nutzung von Pflanzenteilen	16
Abbildung 2-3:	Multiple Nutzung von Nawaro III: Kaskadennutzung	17
Abbildung 3-1:	Entwicklung der Vergütung nach dem Erneuerbaren Energien Gesetz	20
Abbildung 3-2:	Entwicklung der gesamten installierten elektrischen Leistung der Biomasse(heiz)kraftwerke in Deutschland	21
Abbildung 3-3:	Entwicklung der Holzpelletproduktion in Deutschland	22
Abbildung 3-4:	Entwicklung der Energiepreise in Deutschland	23
Abbildung 3-5:	Entwicklung des Anteils von Biokraftstoffen am Kraftstoffabsatz in Deutschland	26
Abbildung 4-1:	Überblick über Aufkommen von Holzwaren in Deutschland 1999 bis 2006	44
Abbildung 4-2:	Potenzielles Rohholzpotenzial: Vergleich Basisszenario und Szenario F basierend auf BWI 2 und WEHAM für den Zeitraum 2003–2042	47
Abbildung 4-3:	Entwicklung der Holzrohstoffverwendung 1987–2010	52
Abbildung 4-4:	Erntemengen ausgewählter Feldfrüchte	58
Abbildung 4-5:	Erntemengen ausgewählter Feldfrüchte	58
Abbildung 4-6:	Entwicklung der Erträge pro ha	59
Abbildung 4-7:	Entwicklung der Anbauflächen	59
Abbildung 4-8:	Entwicklung der Anbauflächen von Faserpflanzen in Deutschland	61

Abbildung 5-1: Exemplarische Darstellung der Möglichkeiten der Energiegewinnung aus Biomasse	72
Abbildung 5-2: Einsatz von Bioenergie nach Energieträger in den drei Sektoren Strom, Wärme, Kraftstoff	73
Abbildung 5-3: Verteilung der Biogassubstrate nach Herkunft	84
Abbildung 6-1: Überblick zu Altholzströmen und deren Nutzung in der Wertschöpfungskette Holz	104
Abbildung 6-2: Zusammensetzung der THG Emissionen von Biodiesel aus Raps	119
Abbildung 7-1: Entscheidungsbaum zur Optimierung von Biomasse- und Kaskadennutzungen	125
Abbildung 7-2: Assessing Sustainable Development: Principles in Practice	129
Abbildung 7-3: Klassifizierung von Standardinitiativen für Biomasse nach Dominanz der beteiligten Akteursgruppen	130
Abbildung 7-4: Set von Nachhaltigkeitsindikatoren für Deutschland	131
Abbildung 7-5: Verschiedene Biomasse-Stoffströme im Überblick	133
Abbildung 7-6: Überblick über Definition und Quantifizierung „natürlicher Ressourcen“	135

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der Verknappung fossiler Ressourcen haben in den letzten Jahren nachwachsende Rohstoffe (Nawaro) an Bedeutung gewonnen. Insbesondere die Bioenergie hat durch staatliche Fördermaßnahmen viel Aufmerksamkeit erfahren. Eine Ausweitung der energetischen Nutzung von Biomasse soll u.a. dem Klimaschutz durch die Reduktion von Treibhausgasemissionen, der erhöhten Versorgungssicherheit als auch einer Stärkung des ländlichen Raumes dienen. Zwar ist die Rolle der stofflichen Nutzung von Biomasse etwas aus dem Blickfeld der energiebezogenen Diskussion geraten, doch wird auch für diese Anwendung der Biomasse in den nächsten Jahren ein erhebliches Marktwachstum erwartet. Zudem sind durch den stofflichen Einsatz von Nawaro positive Effekte für den Klimaschutz und den ländlichen Raum zu erwarten.

Der zu erwartenden Nachfragesteigerung für nachwachsende Rohstoffe steht allerdings eine begrenzte Verfügbarkeit von Fläche als limitierende Ressource entgegen. Da die nutzbare landwirtschaftliche Fläche nicht beliebig ausgedehnt werden kann und der Steigerung der Hektarproduktivität ebenfalls Grenzen gesetzt sind, konkurrieren Nahrungs- und Futtermittel mit den Nawaro zur energetischen und stofflichen Nutzung. Hinzu kommt die Konkurrenz um stoffliche Nutzungen und verschiedene Formen der Energiebereitstellung innerhalb des Nawaro-Sektors. Ähnliche Potenzialbegrenzungen gibt es auch für Holz, da Wälder langfristig nur im Rahmen einer nachhaltigen Waldwirtschaft Holz liefern können und das kurz- bis mittelfristige Potenzial für Kurzumtriebsplantagen durch Investitionshemmnisse limitiert ist.

Aus der begrenzten Verfügbarkeit der Fläche und der steigenden Nachfrage nach Biomasse leitet sich die Forderung nach ihrer möglichst effizienten Verwertung ab. In diesem Zusammenhang fällt immer häufiger der Begriff der Kaskadennutzung von Nawaro als möglicher Lösungsansatz. Dieses Konzept kann im Wesentlichen als eine Hintereinanderschaltung von (mehrfacher) stofflicher und energetischer Nutzung desselben Rohstoffs gesehen werden und schafft so eine Verbindung des Material- und Energiesektors.

Das Prinzip der Kaskadennutzung ist damit ein Ansatz zur Steigerung der Rohstoffeffizienz von Nawaro und zur Optimierung der Flächennutzung. Gleichzeitig werden oftmals stark positive Effekte für den Klimaschutz und auf die Schaffung neuer Arbeitsplätze erwartet. In vielen Fällen steht aber kein vollständig durchdachtes Konzept hinter dem Schlagwort; mögliche indirekte Umweltwirkungs- und Kosteneffekte werden wenig bedacht. Die Option der Kaskadennutzung von Biomasse wird zudem oftmals auf die Holzverwendung begrenzt und damit nur eingeschränkt betrachtet und bewertet.

Die folgenden Darstellungen zur Kaskadennutzung integrieren sowohl landwirtschaftliche als auch forstwirtschaftliche Produkte und beziehen sich auf Beispiele der Kaskadennutzung aus beiden Bereichen, um die breite Anwendbarkeit des Konzepts zu verdeutlichen.

Das Ziel des Projekts ist es, die Option „Kaskadennutzung“ strategisch, differenziert und ganzheitlich zu betrachten. In der vorliegenden Studie werden daher Anforderungen an eine nachhaltige Kaskadennutzung von Nawaro abgeleitet und Schlussfolgerungen zu deren Ausgestaltung gezogen, um die sich ergebenden Potenziale von Nawaro für die Unternehmen der Land- und

Forstwirtschaft hochwertig und erfolgreich zu nutzen. Dabei geht es nicht so sehr um die Aufstellung und detaillierte Beschreibung von einzelnen Biomasse-Kaskaden, sondern um die Entwicklung von konzeptionellen Grundlagen für die Optimierung der Biomassenutzung. Auf Basis dieser Grundlagen lässt sich ableiten, in wie weit das Konzept geeignet ist, einen Lösungsbeitrag für die Potenzialbegrenzung und die Nutzungskonkurrenzen bei Biomasse zu leisten.

2 Kaskadennutzung: bewährtes Prinzip mit Optimierungspotenzial

Langfristig ist davon auszugehen, dass die Nachfrage nach Nawaro-Produkten sowohl im energetischen als auch im stofflichen Sektor das Angebot wegen der Limitiertheit der verfügbaren Fläche inner- und außerhalb Deutschlands übersteigen wird. Vor diesem Hintergrund gilt es, eine langfristig erfolgreiche Biomassenutzungsstrategie zu etablieren, die auf intelligenten Lösungswegen aufbaut. Die Kaskadennutzung von Nawaro, also die sequentielle Nutzung desselben Rohstoffs zu stofflichen und energetischen Zwecken, bietet dazu einen innovativen Ansatz: ein Konzept zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz und optimierten Flächennutzung.

Die multiple Nutzung von Biomasse, bei der neben dem Hauptprodukt noch verschiedene nutzbare Neben- und Koppelprodukte anfallen, ist dabei kein neues Prinzip, und auch die Kaskadennutzung von Nawaro ist heute bereits in einigen Sektoren bekannt und bewährt.

2.1 Literaturscreening: Begrifflichkeit und Definitionen

Der Begriff „Kaskadennutzung (von Biomasse)“ wird in verschiedenen Publikationen, aber auch in öffentlichen Diskussion und Strategiepapieren verwendet, wird aber in unterschiedlichen Kontexten mit diversen Bedeutungen versehen. Ein Screening der bestehenden Literatur ergibt unterschiedliche Begrifflichkeiten; so finden sich unter Stichworten wie „Multifunktionale Biomassensysteme“, „Nawaro-Cascading“, „Mehrfachnutzung“, „Kreislaufwirtschaft“, „Multi product use“ etc. Bezüge zum Thema.

Im Einzelnen bleibt die Begriffsverwendung häufig unerläutert, ein einheitliches Konzept existiert nicht, wie an folgenden Beispielen deutlich wird. So wird z. B. im Glossar der Agentur Econcept unter dem Stichwort „Kaskadennutzung“ beschrieben, wie ein Produkt- und nachgelagertes Materialrecycling aussehen kann (Econcept 2007):

„Ein hochwertiges Regal kann zunächst von Hersteller zurückgenommen werden, wenn es der Erstbesitzer nicht mehr haben möchte. Es kann aufgearbeitet und als neuwertig wieder verkauft werden. Dann kann es vom Zweitnutzer nach Gebrauch auf dem Gebrauchtwarenmarkt veräußert werden. Der Drittnutzer nutzt es vielleicht einige Zeit im Wohnraum vererbt es dann an sein Kinder, die es in ihrer Studentenbude einsetzen. Von dort aus geht es an den Nachmieter über, der es noch als Kellerregal benutzt. Dann landet es auf dem Sperrmüll und wird von der Entsorgungsfirma in Einzelteile zerlegt und stofflich verwertet, bzw. teilweise verbrannt.“

Die mehrfache Nutzung fokussiert in diesem Beispiel vorwiegend auf die stoffliche Nutzung. Innerhalb des Produktdesigns ist der Gedanke der Mehrfachnutzung desselben Rohstoffs allerdings als „Produkt- oder Materialrecycling“ fest etabliert. Kaskadennutzung bezeichnet laut Eco-Concept – agency for sustainable design *„die Strategie, Produkte oder ihre Komponenten so lange wie möglich im Wirtschaftssystem zu nutzen. Dabei werden Nutzungskaskaden durchlaufen, die vom*

hohen Wertschöpfungsniveau schrittweise in tiefere Niveaus münden, bis schließlich eine Entsorgung unvermeidlich ist.“ (Econcept 2007) Dieser Ansatz blendet allerdings eine mögliche höherwertige Nutzung von Pflanzenbestandteilen oder Neben- und Koppelprodukten aus. In der „Checkliste für Produkthersteller“ im Sinne der Nachhaltigkeit wird zur Optimierung der Langlebigkeit eines Produktes die Frage gestellt, wie das Design so ausgelegt werden kann, *„dass das Produkt, nachdem es seinen ursprünglichen Zweck erfüllt hat, ganz oder teilweise für mögliche weitere Nutzungen eingesetzt wird“* (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2007).

Im Energiesektor wird z. B. auch die Ganzpflanzennutzung, also die unabhängige Verwendung sämtlicher Teile einer Pflanze bereits vereinzelt als „Nawaro-Cascading“ bezeichnet (Wimmer et al., 2003). Kaskadennutzung bezeichnet hier *„das Prinzip der „Multifunktionalität“, nämlich die Fähigkeit eines Produktes, mehrere Dienstleistungen zu bieten, intensiv zu verfolgen“* (Wimmer et al., 2003). Eine Verbindung von stofflicher mit energetischer Nutzung findet aber nicht statt.

Eine verbindende, übergreifende Definition für die Kaskadennutzung von Nawaro findet sich bei (Dornburg, 2004). Hier wird die nacheinander stattfindende Verwendung desselben Rohstoffs zunächst im stofflichen, dann im energetischen Sektor als multiple Nutzung von Nawaro-Ressourcen im Sinne einer *„aufeinander folgenden Nutzung von Biomasse für mehrere Zwecke, d. h. Materialien, Materialrecycling und Energierückgewinnung“* definiert.

Gemeinsam ist den Konzepten die mehrfache Nutzung eines Rohstoffs, die allerdings auch Recycling im Sinne von Produkt- oder Materialrecycling sein kann. Energetische Nutzung ist nicht in jedem Fall vorgesehen. Insbesondere die Abgrenzung zur Reststoffverwendung ist nicht klar gegeben.

Der Grundgedanke der Kaskadennutzung findet sich in jüngster Zeit in verschiedenen öffentlichen Diskussionen und Papieren, auch auf politischer Ebene wieder. Im Rahmen des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“ (April 2008) des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) wird folgende Begriffsdefinition getroffen (BMELV, 2008):

„Kaskadennutzung beschreibt die Strategie, Rohstoffe oder daraus hergestellte Produkte so lange wie möglich im Wirtschaftssystem zu nutzen. (...) Im Bereich nachwachsender Rohstoffe kann eine Kaskadennutzung auf zwei Wegen erfolgen:

- (1) Biomasse wird erst stofflich, ggf. über mehrere Nutzungsetappen verwendet und am Ende des Produktzyklus energetisch verwertet;*
- (2) Biomasse wird erst stofflich, ggf. über mehrere Nutzungsetappen und nachfolgend werkstofflich verwertet. Nach einem oder mehreren Verwertungszyklen kann dann eine energetische Nutzung oder ggf. eine Kompostierung erfolgen.“*

Diese Definition wird von Akteuren wie z. B. (EPEA, 2009) genutzt. Im Sinne einer **Verbindung von stofflicher und energetischer Verwendung** ist eine Zuspitzung der obigen Definition auf den ersten Punkt sinnvoll, indem die sequentielle Nutzung **mit notwendiger hochwertiger energetischen Endanwendung** erfolgt.

Zur Verdeutlichung werden zur Abgrenzung der Begriffe und der unterschiedlichen Möglichkeiten, Nawaro einzusetzen, im folgenden Abschnitt verschiedene Konzepte der multiplen Nutzung von Nawaro im Überblick dargestellt. Diese Abgrenzung mündet in einer Definition des Begriffs der Kaskadennutzung von Nawaro, die den weiteren Ausführungen zugrunde liegt.

2.2 Begriffsdefinition: Konzepte zur gekoppelten Nutzung von Nawaro

Je nach dem in welcher Verarbeitungsstufe des Rohstoffes innerhalb der Wertschöpfungskette¹ Biomasse genutzt wird, bestehen im Wesentlichen drei verschiedene Möglichkeiten, Nawaro in multiplen Verfahren stofflich bzw. energetisch zu nutzen. Diese sind

1. Pflanzenteile der gewachsenen Pflanze werden gegenüber dem Hauptprodukt anderweitig genutzt (Neben- und Koppelproduktnutzung);
2. Verarbeitete Pflanzenteile werden in energetische und stofflich nutzbare Produkte getrennt (parallele Nutzung eines Produktes);
3. Derselbe pflanzliche Rohstoff wird erst stofflich, dann energetisch genutzt (Kaskadennutzung).

Die folgenden Abschnitte stellen diese Ansätze zur multiplen Nawaro-Nutzung dar.

2.2.1 Nutzung bestehender Neben- und Koppelprodukte

Abbildung 2-1 stellt die Nutzung von Koppel- und Nebenprodukten dar, die bei der Verarbeitung der Pflanze entstehen können. Deren Nutzung ist gängige Praxis, in viele Betriebsabläufe bereits fest integriert und trägt zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz bei, indem möglichst viele

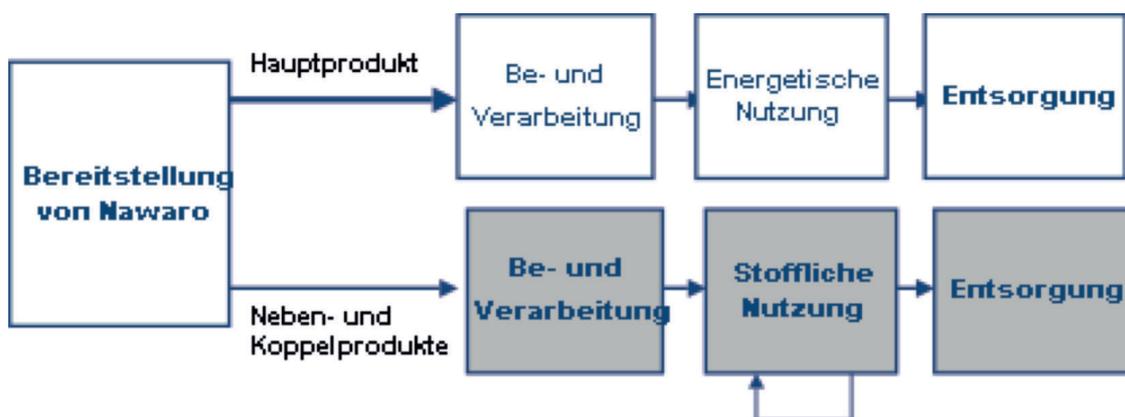


Abbildung 2-1: Multiple Nutzung von Nawaro I: Nutzung von Neben- und Koppelprodukten (eigene Darstellung)

¹ Die Wertschöpfungskette umfasst nach Kaplinsky and Morris (2001) alle Aktivitäten, die notwendig sind, um ein Produkt von seiner Konzeption über die verschiedenen Phasen der Produktion und Verarbeitung zu den Endkonsumenten zu bringen und schließlich nach Gebrauch zu entsorgen.

Anteile des Rohstoffs genutzt werden. Beispiele hierfür sind etwa die Veresterung von Pflanzenöl zu Biodiesel, bei der Glycerin entsteht, oder die Nutzung der Rückstände (Trockenschlempe bzw. „Dried Distillers Grains with Solubles“, DDGS) im Ethanolprozess als Tierfutter. Bei der Zuordnung des Inputs kann es zur Konkurrenz verschiedener Nutzungsmöglichkeiten kommen. So konkurrieren beispielsweise der Einsatz von Raps als Nahrungsmittel mit der Treibstoffherzeugung; bei der Anwendung von Holz können entweder Werkstoffe oder aber Wärme bereitgestellt werden.

2.2.2 Parallele Nutzung der ganzen Pflanze in verschiedenen Anwendungen

Die **parallele Nutzung von Pflanzenteilen**, bei der verschiedene Teile der Pflanze im selben Prozessschritt verschiedenen Anwendungen (stofflich oder energetisch) zugeführt werden, wird in [Abbildung 2-2](#) verdeutlicht.

Die verschiedenen Teile einer Pflanze können je einem spezifischen Zweck dienen; diese Ganzpflanzennutzung bedeutet eine Effizienzsteigerung des Pflanzenertrags (Benjamin / Weenen 2000, Leitner 2007, Geissler 2007, Wimmer et al. 2003, Teutoburger Ölmühle). Ein Beispiel für die Umsetzung dieses Konzepts ist die Bio-Raffinerie.

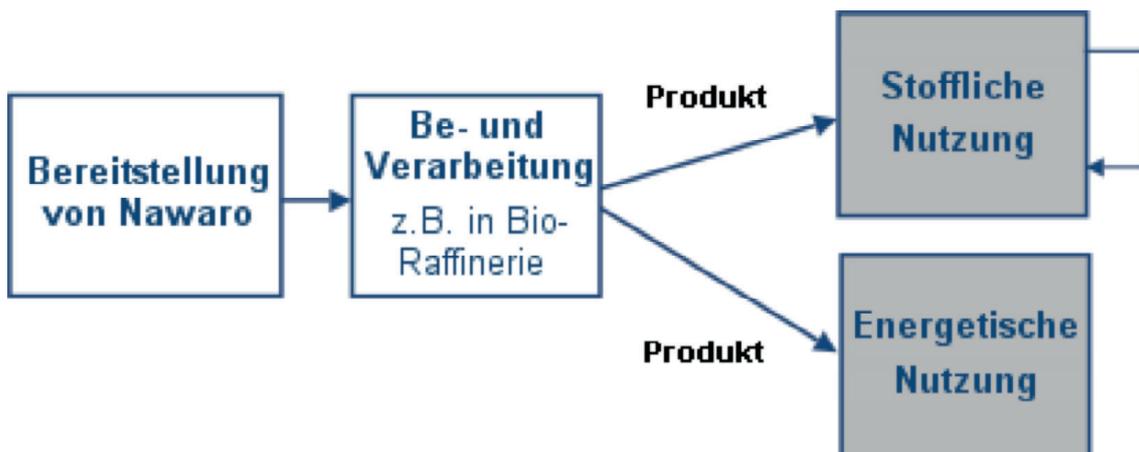


Abbildung 2-2: Multiple Nutzung von Nawaro II: Parallele Nutzung von Pflanzenteilen
(eigene Darstellung)

2.2.3 Prinzip der Kaskadennutzung: sequentielle stoffliche Nawaro-Nutzung und energetische Verwertung am Ende des Lebenszyklus

In Abgrenzung zu den vorgestellten und bereits vielfach angewandten Formen der multiplen Nawaro-Nutzung wird die im Rahmen der vorliegenden Studie genutzte Definition in Anlehnung an (Dornburg, 2004) verwendet.

Das **Prinzip der Kaskadennutzung von Nawaro** wird demnach als **sequentielle Nutzung von biogenen Rohstoffen für stoffliche und energetische Anwendungen** definiert.

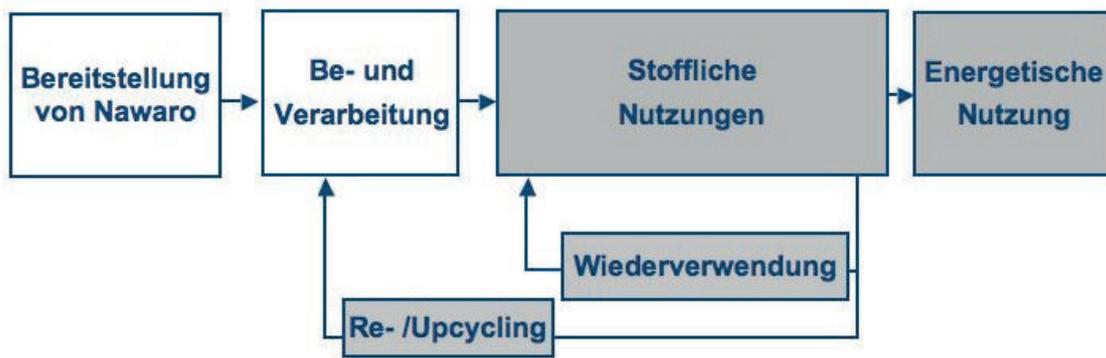


Abbildung 2-3: Multiple Nutzung von Nawaro III: Kaskadennutzung (eigene Darstellung)

Abbildung 2-3 stellt die multiple Nutzung von Nawaro nach dem Prinzip der **Kaskadennutzung** dar, bei dem der Nawaro zunächst in einer oder mehreren Nutzungsphasen stofflich genutzt wird.

Die mehrfache stoffliche Anwendung wird durch Produkt- und Materialrecycling oder durch „Material-upcycling“ ermöglicht. Ein Beispiel für Upcycling ist der Holzwerkstoff Arboform®, bei dem Lignin, ein Reststoff aus der Papierindustrie eine höherwertige Weiterverarbeitung in technischen Anwendungen erfährt. Nach Ablauf der gesamt sinnvollen stofflichen Lebensdauer erfolgt die energetische Verwertung des Rohstoffs. Dieser Ansatz wird als ein wichtiger Weg zur ökologischen und ökonomischen Effizienzsteigerung des stofflichen und energetischen Einsatzes von Nawaro gesehen.

3 Politische Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel werden die für die Kaskadennutzung von Biomasse zentralen Politikinstrumente aus den folgenden Politikfeldern analysiert:

- Energiepolitik,
- Agrar- und Forstpolitik,
- Abfall- und Produktpolitik und
- Ressourcenpolitik

Dabei werden auch Politikinstrumente untersucht, die nur mittelbare Auswirkungen auf die Kaskadennutzung von Biomasse besitzen. Die folgende [Tabelle](#) dient als Überblick zu den untersuchten Instrumenten.

Tabelle 3-1: Untersuchte Politikinstrumente mit Bezug auf die Kaskadennutzung von Biomasse

Politikbereich	Instrumente
Energiepolitik	Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) Marktanreizprogramm zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (MAP) Biokraftstoffquotengesetz BMU-Programm: Optimierung der energetischen Biomassenutzung Programm der landwirtsch. Rentenbank: Energie vom Land BMBF-Programm: Grundlagenforschung Energie 2020+
Agrar- und Forstpolitik	BMELV-Programm: Innovative Mehrfachnutzung von nachwachsenden Rohstoffen, Bioraffinerien BMELV-Programm: Demonstrationsvorhaben zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe
Abfall- und Produktpolitik	Ökodesign-Richtlinie Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz Verpackungsverordnung Altholzverordnung BMU-Programm Demonstrationsvorhaben ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm
Ressourcenpolitik	BMWi-Impulsprogramm Materialeffizienz: VerMat BMWi-Impulsprogramm Materialeffizienz: NeMat

3.1 Energiepolitik

Die Erfordernisse des Klimaschutzes haben in den letzten Jahren zu einem rasanten Ausbau der erneuerbaren Energien geführt. Treiber dieser Entwicklung war das politische Ziel, den Anteil der erneuerbaren Energien an der Energieversorgung deutlich zu erhöhen. Zur Erreichung dieses Zieles wurden eine Vielzahl von direkt auf die Biomasse wirkenden Förderinstrumenten implementiert. Zentrales Instrument ist die Vergütung von eingespeistem Strom aus erneuerbaren Energien durch das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG). Aber auch die Förderung des Einsatzes von Solarthermie durch das Marktanzreizprogramm hat zu dem Wachstum der erneuerbaren Energien beigetragen. Im Folgenden werden die einzelnen Instrumente kurz dargestellt.

3.1.1 Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)

Instrumentenbeschreibung: Das Erneuerbare Energien Gesetz wirkt auf der nationalen Ebene und wird nur auf Strom aus erneuerbaren Energien angewandt, der in Deutschland erzeugt und in das Stromnetz eingespeist wird. Die rechtliche Grundlage ist das Erneuerbare Energien Gesetz in der Fassung vom 31. Juli 2004 bzw. in der novellierten Form vom 01. Januar 2009. Es handelt sich um ein **fiskalpolitisches Instrument**.

Ziel: Ziel des Gesetzes ist es, eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen, die volkswirtschaftlichen Kosten der Energieversorgung auch durch die Einbeziehung langfristiger externer Effekte zu verringern, Natur und Umwelt zu schützen, einen Beitrag zur Vermeidung von Konflikten um fossile Energieressourcen zu leisten und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien zu fördern. Das EEG soll dazu beitragen, den Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis zum Jahr 2010 auf mindestens 12,5 Prozent und bis zum Jahr 2020 auf mindestens 20 Prozent zu erhöhen.

Wirkmechanismus: Das EEG enthält eine Einspeisevergütung mit Vorrangregelung. Betreiber von Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erhalten eine feste Vergütung pro in das Stromnetz eingespeiste kWh. Die Höhe der Vergütung unterscheidet sich je nach verwendeter Technologie und wird für eine Dauer von 20 Jahren gezahlt. Sie unterliegt einer Degression, d. h. jedes Jahr sinkt die Vergütung für neu angeschlossene Anlagen. Diese Degression dient dazu, laufend Effizienz und Kostenverbesserungen anzuschieben.

Die Vergütung für die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien erhält der Anlagenbetreiber vom Stromnetzbetreiber. Der Stromnetzbetreiber ist verpflichtet, den nach dem EEG vergüteten Strom vorrangig in das Stromnetz einzuspeisen. Die Kosten werden an alle Stromkunden weitergereicht. Da in verschiedenen Netzgebieten unterschiedliche Strommengen aus erneuerbaren Energien anfallen gibt es einen bundesweiten Belastungsausgleich der Netzbetreiber. Die Umlage durch das EEG hatte im Jahr 2007 eine Höhe von knapp 8 Mrd. Euro. Die Entwicklung der Vergütungszahlungen zeigt [Abbildung 3-1](#).

Die für die Kaskadennutzung besonders wichtige **Biomasseförderung** des EEG profitiert von sehr unterschiedlichen Einspeisevergütungen. Die Grundvergütung variiert je nach Anlagengröße. Kleine Anlagen bis 150 kW elektrische Leistung erhalten nach der Novellierung ab dem 01. Januar

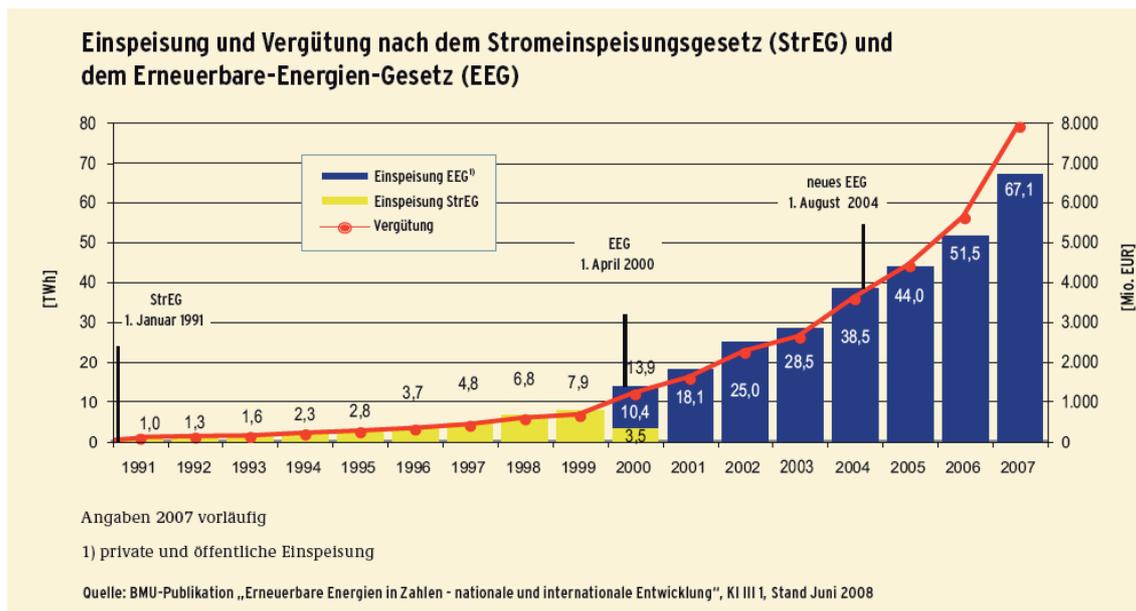


Abbildung 3-1: Entwicklung der Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (Quelle: BMU-Publikation KI III 1, 2008)

2009 nun 11,67 Cent pro eingespeister kWh, große Anlagen von 5–20 MW elektrischer Leistung erhalten 7,79 Cent pro eingespeister kWh. Biomasseanlagen über 20 MW werden über das EEG nicht gefördert. Für den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen gibt es einen Bonus, der von 2 bis 7 Cent gestaffelt ist. Dieser Bonus wird gezahlt, wenn die Anlage ausschließlich mit nachwachsenden Rohstoffen, d. h. mit Gülle und für die bioenergetische Nutzung angebaute Pflanzen betrieben wird. Werden Rest- und Abfallstoffe beigemischt, entfällt dieser Bonus. Ein weiterer Bonus (Effizienz oder Kraft-Wärme-Kopplungsbonus) wird in Abhängigkeit der Nutzung von bei der Stromerzeugung freiwerdender Wärme gezahlt. Des Weiteren gibt es noch einen zusätzlichen Technologiebonus in Höhe von 2 Cent/kWh für die Nutzung innovativer Technologie wie Brennstoffzellen oder Stirling-Motor. Die Höhe der Vergütung von Biomasseanlagen unterliegt ab dem ersten Januar 2010 einer jährlichen Degression von 1,0 Prozent.

Abschätzung der Wirkung auf die Kaskadennutzung: Das EEG hat zu einem rasanten Anstieg der Stromerzeugung aus Biomasse geführt. Es handelt sich um das zentrale Instrument zur Förderung der energetischen Biomassenutzung. Von dem Gesetz gehen große Impulse auf eine Verbreiterung des Biomasseangebotes aus. So hat sich der Brennstoffeinsatz von nachwachsenden Rohstoffen von grob 6 Prozent in 2004 auf etwa 12 Prozent im Jahr 2007 verdoppelt (Scholwin u.a. 2008). Insgesamt wurde im Jahr 2007 auf über 2 Mio. ha nachwachsende Rohstoffe angebaut (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2007). Von dem EEG geht ein großer Impuls zur direkten energetischen Verwertung von Biomasse aus. Elemente zur Förderung der Kaskadennutzung sind nicht enthalten. Damit bietet das EEG die Voraussetzung für die in der Kaskadennutzung notwendige energetische Verwertung, erleichtert jedoch gleichzeitig die Biomassenutzung ohne zusätzliche Nutzungskaskaden.

Die **Biomassenachfrage** ist in Folge der breiten Nutzung stark gestiegen. Insbesondere die für die Kaskadennutzung prädestinierte Holz- und Altholzmengen werden heute vornehmlich in EEG-geförderten Anlagen energetisch genutzt. Ende 2007 waren in Deutschland etwa 195 Kraft-

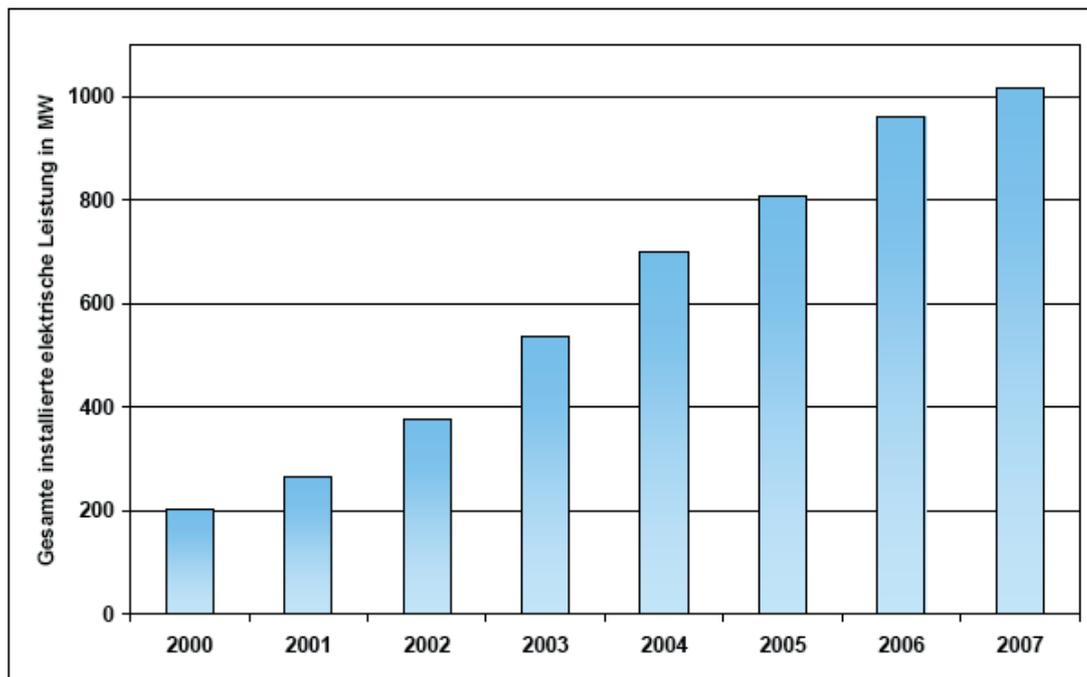


Abbildung 3-2: Entwicklung der gesamten installierten elektrischen Leistung der Biomasse(heiz-)kraftwerke in Deutschland (ausschließlich EEG-Anlagen im regulären Anlagenbetrieb)
(Quelle: Scholwin u.a. 2008)

werke im Leistungsbereich bis 20 MWel in Betrieb, die fast ausschließlich mit festen Biomassen gemäß Biomasseverordnung (im Wesentlichen Holz und Altholz) betrieben wurden (siehe [Abbildung 3-2](#)).

Das **Biomasseangebot** wird bestimmt von Holz und Altholz sowie nachwachsenden Rohstoffen wie Mais und Raps. Davon wurde der überwiegende Anteil jedoch zur Produktion von Biokraftstoffen genutzt (siehe Kapitel 3.1.4). Die Flächennutzung für nachwachsende Rohstoffe zur Biogaserzeugung liegt bei etwa 500.000 ha (Scholwin u.a. 2008).

Die **Preisentwicklung für Holz und Althölzer** ging seit 2002 deutlich nach oben. Kosteten 2002 Altholz der Kategorie A1 noch je nach Standort zwischen 15 und 22 €/t, so erhöhte sich der Preis 2007 auf 27 bis 31 €/t. Belastete Althölzer der Kategorie IV, für deren Entsorgung 2002 noch 15–55 €/t gezahlt wurden, kosten heute zwischen 5 und 18 €/t (Scholwin u.a. 2008). Die Preise für Sägenebenprodukte und Waldresthölzer bewegten sich zwischen 2002 und 2005 auf einem gleich bleibenden Niveau, ab 2005 stiegen durch die verstärkte Nachfrage nach Holzpellets auch dort die Preise.

Insbesondere auf das Angebot an Althölzern hat das EEG eine einschneidende Wirkung erzielt. Wie an der oben erwähnten Preisentwicklung abzulesen, hat sich der Altholzmarkt grundlegend geändert. Während früher insbesondere für die belasteten Althölzer der Kategorie IV teure Entsorgungslösungen genutzt werden mussten, werden diese Althölzer in Anlagen nach der 17. BImSchV energetisch genutzt. Es sind heute aufgrund der flächendeckenden Nutzung kaum noch verfügbare Altholzmengen im Markt vorhanden. Die Anlagenbetreiber haben aus Gründen der Preisstabilität und Investitionssicherung darauf gesetzt, langfristige Abnahmeverträge einzugehen.

Aber auch unbelastete Holzsegmente werden heute wesentlich stärker nachgefragt. Dies liegt vor allem an der steigenden Anzahl von Holzpellettheizungen, die zu einer verstärkten Nachfrage von Waldrestholz und auch Altholz der Kategorie I (naturbelassene Hölzer) geführt haben.

Wirkung auf die Umsetzbarkeit von Kaskadenlösungen: Das EEG ist ein wichtiger Einfluss auf die Umsetzbarkeit von Kaskadenlösungen. Es bildet die Grundlage für die umfassende energetische Nutzung von Holz, ohne die eine Kaskadennutzung unvollkommen bleibt. Allerdings geht vom EEG auch ein starker Anreiz aus, Hölzer ohne oder mit weniger stofflicher Nutzung direkt energetisch zu verwerten. Welchen Einfluss diese Rahmenbedingungen auf die einzelnen Stoffströme hat, muss allerdings stoffstromspezifisch untersucht werden.

3.1.2 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG

Instrumentenbeschreibung: Es handelt sich um eine nationale Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien für Gebäudeeigentümer. Grundlage ist das Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG) vom 7. August 2008, veröffentlicht im Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr. 36 vom 18. August 2008, S. 1658. Das Gesetz soll am 1. Januar 2009 in Kraft treten. Bei dem Instrument handelt es sich um ein **regulatorisches Instrument**.

Ziel: Das Wärmegesetz legt fest, dass spätestens im Jahr 2020 14 Prozent der Wärme in Deutschland aus Erneuerbaren Energien stammen sollen.

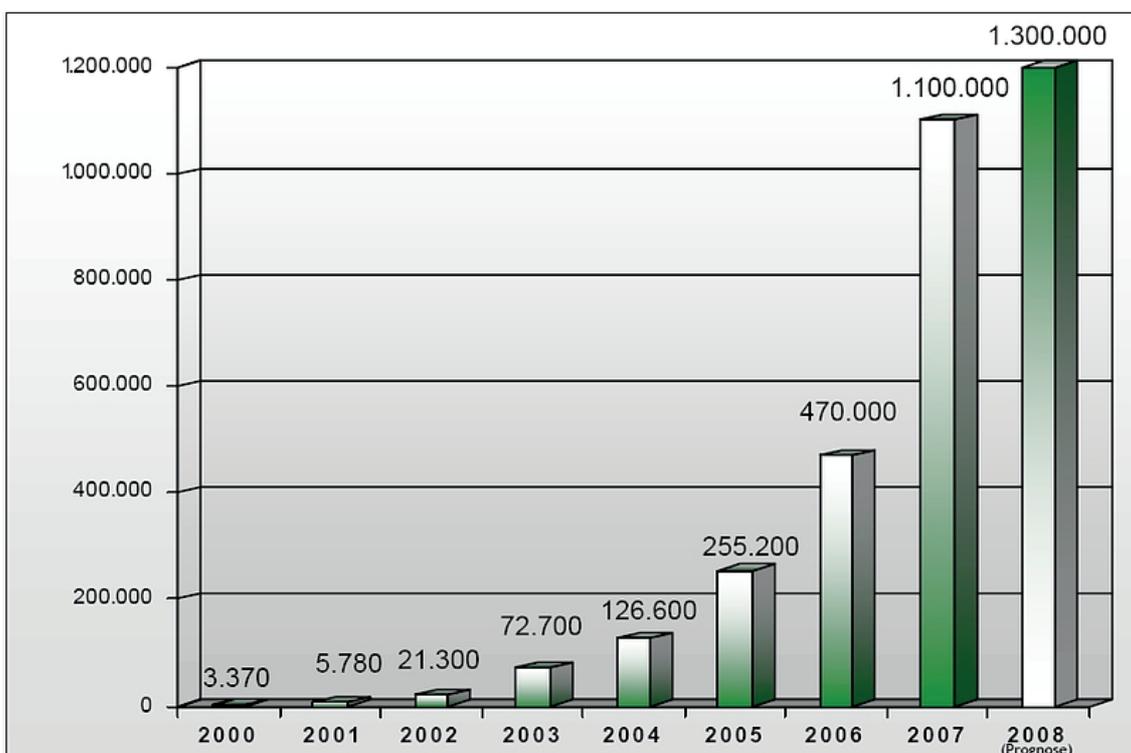


Abbildung 3-3: Entwicklung der Holzpelletproduktion in Deutschland (Quelle: DEPV 2008)

Wirkmechanismus: Im Gesetz wurde eine Nutzungspflicht für erneuerbaren Energien verankert. Eigentümer von Gebäuden, die neu gebaut werden, müssen Erneuerbare Energien für ihre Wärmeversorgung nutzen. Genutzt werden können alle Formen von Erneuerbaren Energien, auch in Kombination. Zusätzlich oder auch als Ersatz ist auch die Nutzung von Effizienzmaßnahmen wie Wärmedämmung oder Wärmebezug aus Fernwärmenetzen und/oder KWK möglich.

Preisentwicklung: Wärme aus erneuerbaren Energien wird aus Biomasse, Sonnenwärme und Geothermie erzeugt. Für die Kaskadennutzung ist allerdings nur die Biomasse relevant. Hier sind insbesondere die Holzpelletnutzung wichtig. Die rasante Entwicklung der Holzpelletproduktion in Deutschland zeigt [Abbildung 3-3](#). Die Entwicklung der Holzpelletpreise ([Abbildung 3-4](#)) ist bis auf eine Preisspitze im Jahr 2006 weitgehend konstant geblieben. Inzwischen gibt es in Deutschland eine Produktionskapazität, die mit 2.300.000 t weit über die derzeitige Produktion von Pellets hinausgeht. Da der Markt sehr dynamisch ist, ist eine Preisentwicklung heute schwer vorherzusagen. Die weitere Markteinführung von Pelletheizungen ist auch maßgeblich von den aktuellen und erwarteten Heizölpreisen abhängig.

Wirkung auf die Umsetzbarkeit von Kaskadenlösungen: Bei dem Wärmegesetz handelt es sich um eine Förderung der energetischen Nutzung von erneuerbaren Energien. Dazu gehört auch die für die Kaskadennutzung geeignete Strom- und Wärmeerzeugung aus Holzpellets, Holzhackschnitzel und anderen biogenen Rohstoffen. Dieses Instrument wird in Zukunft zu einer weiteren steigenden Nachfrage von Biomasse führen, wie sich auch in der Vergangenheit von EEG und Marktanreizprogramm getragen wurde ([Abbildung 3-4](#)).

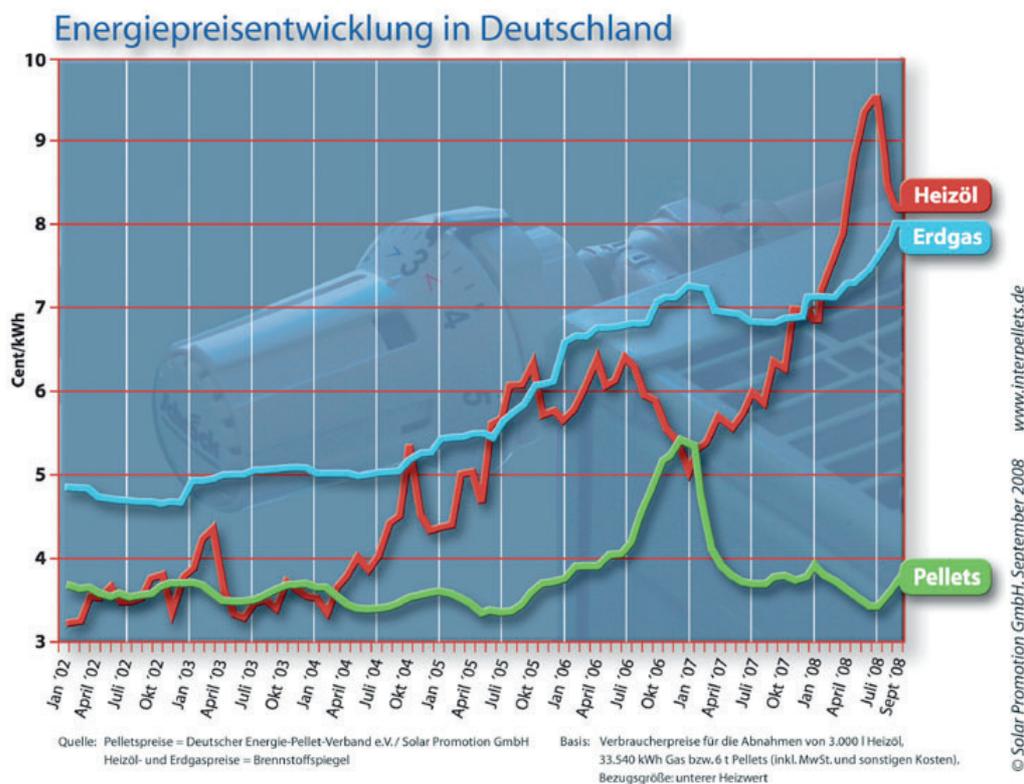


Abbildung 3-4: Entwicklung der Energiepreise in Deutschland (Quelle: Pelletpreise = Deutscher Energie-Pellet-Verband e.V. / Solar Promotion GmbH; Heizöl- und Erdgaspreise = Brennstoffspiegel)

Von dem EEWärmeG geht ein großer Impuls zur direkten energetischen Verwertung von Biomasse aus. Elemente zur Förderung der Kaskadennutzung sind nicht enthalten. Damit bietet das EEWärmeG die Voraussetzung für die in der Kaskadennutzung notwendige energetische Verwertung, erleichtert jedoch gleichzeitig die Biomassennutzung ohne zusätzliche Nutzungskaskaden.

3.1.3 Marktanreizprogramm zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (MAP)

Instrumentenbeschreibung: Das Marktanreizprogramm zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien ist ein nationales Instrument und dient primär dem Ausbau der Wärmeerzeugung aus Biomasse, Solarenergie und Geothermie. Kleinere Anlagen privater Investoren werden mit Zuschüssen unterstützt, größere Anlagen mit zinsverbilligten Darlehen und Tilgungszuschüssen. Grundlage sind die vom Bundesumweltministerium erstellten „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ vom 5. Dezember 2007 in Kombination mit der Richtlinienänderung vom 17. Juni 2008 (Änderung der „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“). Die Förderung erfolgt durch die Bundesanstalt für Wirtschaft und Ausführungkontrolle (BAFA) und die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Eine Übersicht über die verschiedenen Förderfelder gibt die [Tabelle 3-2](#). Es handelt sich um ein **fiskalpolitisches Instrument**.

Tabelle 3-2: Übersicht über Förderinstitutionen und Fördertatbestände im MAP (BMU, 2008)

BAFA	KfW
Zuschüsse	zinsvergünstigte Darlehen sowie Teilschulderlasse
Biomasseanlagen bis 100 kW	Biomasseanlagen ab 100 kW (auch KWK)
Solarthermische Anlagen	Solarthermische Anlagen ab 40 m ²
Effiziente Wärmepumpen	Nahwärmenetze
Zusätzlich Bonus- und Innovationsförderung	Geothermische Anlagen
	Wärmespeicher
	Rohbiogasleitungen sowie Anlagen zur Aufbereitung und Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz

Ziel: Das Marktanreizprogramm soll über die beschleunigte Markteinführung die Kosten des Einsatzes erneuerbaren Energien senken. Dabei adressiert es vor allem den Einsatz von erneuerbaren Energien im Wärmebereich, da diese Energienutzung nicht über das EEG gefördert wird. Eigene quantitative Ziele sind in dem Programm nicht formuliert.

Wirkmechanismus: Das Marktanreizprogramm unterstützt die Investition in Erneuerbare Energien. Dazu werden entweder Investitionszuschüsse oder vergünstigte Darlehen gewährt. Interessierte Antragsteller müssen vor Baubeginn einen Antrag an die KfW oder das BAFA stellen. In Reihenfolge des Eingangs werden die Zuschüsse und vergünstigten Kredite bewilligt. Wenn die im Haushalt vorgehaltene Summe für das laufende Jahr erreicht ist werden weitere Förderungen erst im folgenden Jahr genehmigt. Antragsberechtigt sind u.a. Privatpersonen, freiberuflich Tätige, kleine und mittlere private Unternehmen sowie Kommunen. Das Programm ist 1999 eingerichtet und seitdem mehrfach angepasst worden.

Fördervolumen: Seit Programmbeginn wurden über 965 Mio. Euro bis Ende 2007 abgerufen. Daraus wurden mehr als 788.000 Investitionsvorhaben zur Nutzung erneuerbarer Energien gefördert. Die gesamten Investitionen, die durch das Programm angeschoben wurden haben einen Umfang von über 8,2 Mrd. Euro angeschoben. Seit Programmbeginn bis Ende 2007 wurden über 650.000 Solarkollektoranlagen mit einer Fläche von rund 5,0 Mio. Quadratmetern gefördert sowie 132.400 kleine Biomassekessel installiert. Die hierdurch angeschobenen Investitionen betragen allein für die kleinen Biomasseanlagen 2,2 Mrd. Euro (BMU, 2008). Das Fördervolumen für das Jahr 2008 beträgt 350 Mio. €.

Abschätzung der Wirkung auf die Kaskadennutzung: Von dem Marktanreizprogramm geht ein Impuls zur direkten energetischen Verwertung von Biomasse aus. Elemente zur Förderung der Kaskadennutzung sind nicht Gegenstand des Förderprogramms. Damit bietet das Marktanreizprogramm die Voraussetzung für die in der Kaskadennutzung notwendige energetische Verwertung, erleichtert jedoch gleichzeitig die Biomassenutzung ohne zusätzliche Nutzungskaskaden.

3.1.4 Biokraftstoffquotengesetz

Instrumentenbeschreibung: Das „Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften“ (Biokraftstoffquotengesetz), veröffentlicht im Bundesgesetzblatt am 18. Dezember 2006, S. 3180 bis 3188, legt eine Mindestbeimischung von Biokraftstoffen zu Benzin und Dieseltreibstoff in Deutschland fest. Ergänzend wurden die Verordnung zur Durchführung der Regelungen der Biokraftstoffquote (36. BImSchV) und die Verordnung zur Quotenanrechnung bestimmter biogener Öle (38. BImSchV) erlassen. Bei dem Instrument handelt es sich um ein **regulatorisches Instrument**.

Das Ziel des Biokraftstoffquotengesetzes ist es, einen festen und steigenden Anteil von Biotreibstoffen an Benzin und Diesel zu erreichen. Diese Regelung dient einerseits dem Klimaschutz, andererseits dem Aufbau des heimischen Biokraftstoffanbaues und der Biokraftstoffproduktion. Der angestrebte Anteil an Biokraftstoffen zeigt [Tabelle 3-3](#).

Tabelle 3-3: Beimischungsquoten nach dem Biokraftstoffquotengesetz in der Fassung vom 18. Dezember 2006

Jahr	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Quote in %	6,25	6,75	7,0	7,25	7,5	7,75	8,0

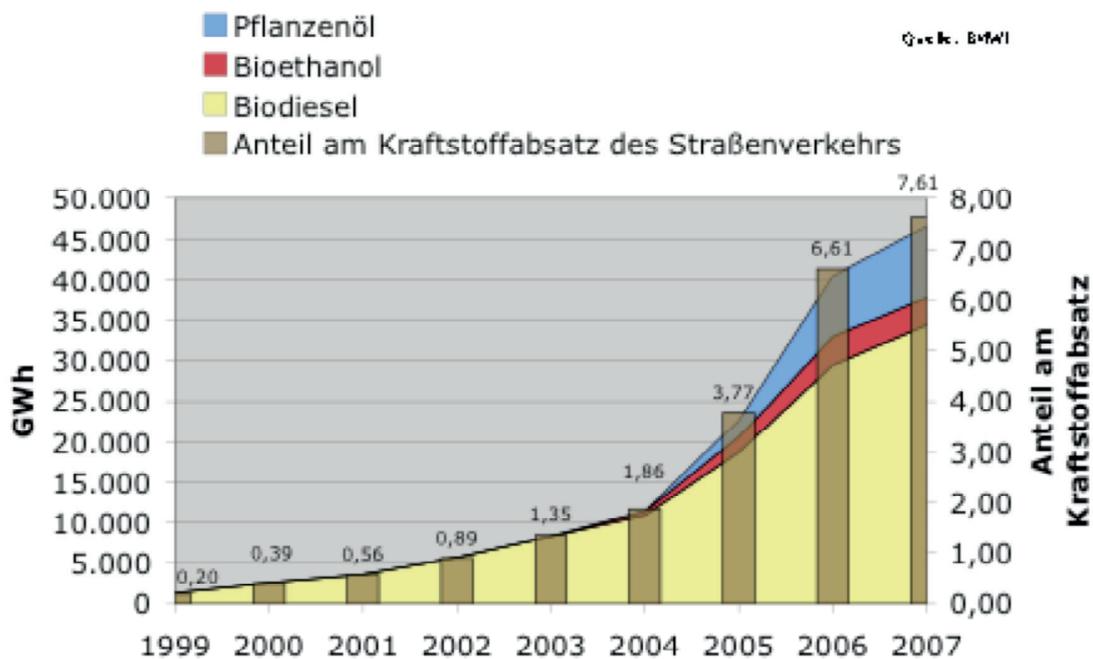


Abbildung 3-5: Entwicklung des Anteils von Biokraftstoffen am Kraftstoffabsatz in Deutschland (Quelle: BMWI)

Diese Ziele werden voraussichtlich zum 1. Januar 2009 abgeschwächt. In dem am 22. Oktober 2008 im Kabinett beschlossenen Gesetzentwurf zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen wird die Quote für das Jahr 2009 auf 5,25 Prozent abgesenkt. Als Höchstquote ist ein Anteil von 6,25 Prozent vorgesehen, der im Jahr 2010 erreicht werden soll.

Wirkmechanismus: Das Gesetz schreibt vor, dass die Mineralölunternehmen einen festen Anteil von Biotreibstoffen zu Benzin und Diesel zumischen. Dieser Anteil steigt, bis ein angestrebter Anteil von Biotreibstoffen erreicht ist. Es besteht auch die Möglichkeit, den Anteil an Biokraftstoffen statt durch anteilige Beimischung auch durch Verkauf von reinem Biokraftstoff zu erreichen. Wird der gesetzlich vorgeschriebene Anteil an Biokraftstoffen nicht erreicht, ist im Gesetz eine nach der Fehlmenge bemessene Strafabgabe fällig.

Abschätzung der Wirkung auf die Kaskadennutzung: Die Auswirkungen des Biokraftstoffquotengesetzes auf die Kaskadennutzung von Biomasse sind gering. Die in der Biokraftstoffherstellung eingesetzten Rohstoffe sind meist nicht geeignet, um vor der energetischen Verwendung noch stofflich genutzt zu werden. Dies gilt für Raps als Grundlage für die Biodieselproduktion wie für Zuckerrübe oder Zuckerrohr als Grundlage der Ethanolherstellung. Einzig bei naturbelassenen Pflanzenölen ist ein Potenzial vorhanden. Dort werden schon heute Frittieröle aufbereitet und als Treibstoff wieder verwendet. Ähnliche Verfahren lassen sich in Zukunft für die Nutzung biogener Schmierstoffe vorstellen.

Ein weiteres Potenzial zur Kaskadennutzung kann sich aus Treibstoffen der 2. Generation ergeben. Dabei handelt es sich u.a. um Biotreibstoffe, die durch chemische Synthesen (Fischer-Tropsch-Synthese) hergestellt werden. Als Grundstoff wird derzeit im Labormaßstab auch Holz getestet. Ein weiterer Treibstoff der 2. Generation, dem eine Kaskadennutzung vorgeschaltet werden könnte

ist die Herstellung von Ethanol durch Lignozelluloseaufschluss. Auch hier könnte Holz und holzartiges Substrat genutzt werden. Beide Technologien befinden sich derzeit noch im Forschungs- bzw. Demonstrationsstadium. Daher kann heute noch nicht abgesehen werden, ob sich hier neue Möglichkeiten zur Kaskadennutzung ergeben.

3.1.5 Optimierung der energetischen Biomassenutzung

Instrumentenbeschreibung: Es handelt sich um ein **nationales** Förderprogramm auf der Grundlage des „Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramms der Bundesregierung“ (IEKP). In dem Programm werden Untersuchungen sowie Pilot- und Demonstrationsprojekte zur Erzeugung von Strom, Wärme und Kraftstoffen aus Biomasse gefördert. Das Förderprogramm wird vom Projektträger Jülich im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit durchgeführt. Die Grundlage für das Programm ist die Bekanntmachung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vom 18. Juni 2008, Bundesanzeiger Nr. 96 vom 1. Juli 2008, S. 2347. Es handelt sich um ein **Innovations-, Diffusions- und F&E-Politikinstrument**.

Ziel: Die energetische Biomassenutzung wird für die Erreichung der Ziele des IEKP als zentrales Element angesehen. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) beabsichtigt, zur Förderung der Optimierung der energetischen Biomassenutzung die Weiterentwicklung der gegenwärtig in der Diskussion befindlichen offenen Fragen bei der Erzeugung von Strom, Wärme und Kraftstoffen aus Biomasse hin zu einer nachhaltigen und tragfähigen Biomassestrategie durch die Förderung geeigneter Vorhaben zu unterstützen.

Wirkmechanismus: Antragsteller können mit Projekten, die den Projektvoraussetzungen entsprechen, Anträge auf Zuwendung stellen. Forschungseinrichtungen werden bis 100 Prozent gefördert. Die Dauer der Förderung beträgt maximal drei Jahre. Der Förderzeitraum umfasst 5 Jahre. Der Gesamtumfang des Förderprogramms beläuft sich auf 30 Mio. €.

Antragsberechtigt sind außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, Hochschulen und vergleichbare Einrichtungen sowie sonstige Einrichtungen, die für die Durchführung der Forschungsaufgaben bzw. der Pilot- und Demonstrationsvorhaben geeignet sind, mit Sitz und Schwerpunktaktivitäten in Deutschland.

Abschätzung der Wirkung auf die Kaskadennutzung: Das Förderprogramm zielt in einigen Punkten auf eine effizientere Biomassenutzung, die direkt die Kaskadennutzung mit einschließt. Ob dieses Themenfeld auch in der Projektumsetzung eine Rolle spielt, hängt von den geförderten Projekten ab und ist derzeit noch nicht absehbar.

3.1.6 Energie vom Land

Instrumentenbeschreibung: Es handelt sich um ein **nationales** Förderprogramm der landwirtschaftlichen Rentenbank für Investitionen in die Gewinnung und Nutzung erneuerbarer Energien. Gefördert werden Investitionen zur energetischen Verwertung nachwachsender Rohstoffe

und anderer organischer Verbindungen sowie Investitionen von Unternehmern der Agrar- und Ernährungswirtschaft einschließlich Landwirten in Fotovoltaik-, Wind- und Wasserkraftanlagen. Die Förderung wird von der Landwirtschaftlichen Rentenbank vergeben. Grundlage ist das Merkblatt der Landwirtschaftlichen Rentenbank mit dem Stand November 2008. Das Programm gilt ab 17. November 2008 und ist befristet bis längstens 30. Juni 2014. Es handelt sich um ein **fiskal-politisches Instrument**.

Ziel: Ziel ist es, die energetische Nutzung von erneuerbaren Energien in kleinen und mittleren Unternehmen zu stärken.

Wirkmechanismus: Die Förderung wird als zinsgünstiges Darlehen gewährt. Die Höhe der Förderung beträgt bis zu 100 Prozent der förderfähigen Investitionskosten und soll je Kreditnehmer und Jahr 1,5 Mio. EUR nicht übersteigen. Antragsberechtigt sind kleine und mittlere Unternehmen der Energieproduktion. Das Vorhaben muss der Errichtung einer neuen oder Erweiterung einer bestehenden Betriebsstätte, der Diversifizierung der Produktion in neue, zusätzliche Produkte oder einer grundlegenden Änderung des gesamten Produktionsverfahrens einer bestehenden Betriebsstätte dienen. Die Landwirtschaftliche Rentenbank vergibt die Darlehen nicht direkt, sondern über die vom Kreditnehmer gewählte Hausbank.

Abschätzung der Wirkung auf die Kaskadennutzung: Das Förderprogramm zielt auf eine stärkere Nutzung erneuerbaren Energien von kleinen und mittleren Unternehmen. Eine Kaskadennutzung der eingesetzten Biomasse ist nicht Bestandteil der Förderung. Auswirkungen auf eine zukünftige Kaskadennutzung sind nicht zu erwarten.

3.1.7 Grundlagenforschung Energie 2020+

Instrumentenbeschreibung: Es handelt sich um ein **nationales** Förderprogramm für die Vernetzung von Wissenschaft und Industrie. Gefördert werden Forschungsarbeiten, die Bedeutung für die hocheffiziente Energieerzeugung, -umwandlung, -speicherung, Endenergienutzung und den verlustarmen Energietransport haben. Hierzu gehören wichtige Entwicklungsarbeiten aus z. B. der Werkstoffforschung, den optischen Technologien und modernen Informations- und Kommunikationstechnologien. Neben den technologischen Arbeiten werden auch Systemanalysen und Untersuchungen zum Verbraucherverhalten einbezogen. Das Förderprogramm wird von Projektträger Jülich im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung durchgeführt. Grundlage ist die Publikation „Grundlagenforschung Energie 2020+: Die Förderung der Energieforschung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung“, herausgegeben 2008 durch das BMBF. Bei dem Programm handelt es sich um ein **Innovations-, Diffusions- und F&E-Politikinstrument**.

Ziel: Ziel ist es, durch Integration von energiebezogener Grundlagenforschung mit anwendungsorientierten Arbeiten mehr industrielle Investitionen in Grundlagenforschung zu generieren.

Wirkmechanismus: Die Förderung erfolgt in Form eines Zuschusses. Die Höhe der Förderung beträgt für Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft bis zu 50 Prozent der zuwendungsfähigen Kosten, für Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen bis zu 100 Prozent der zuwendungsfähigen Ausgaben. Im Jahr 2008 sind für die Projektförderung 125 Mio. € vorgesehen. Antragsberechtigt sind Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft, Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen mit Sitz in Deutschland.

Abschätzung der Wirkung auf die Kaskadennutzung: Das Förderprogramm zielt neben anderen Schwerpunkten auch Bioenergieerzeugung und –konversion. Unter diesem Schwerpunkt ist eine Förderung der Kaskadennutzung von Biomasse möglich und auch ausdrücklich erwünscht. Dieses Forschungsprogramm kann, je nach Antragslage, einen Beitrag zur weiteren Erforschung der Kaskadennutzung von Biomasse leisten.

3.2 Agrar- und Forstpolitik

Deutschland gehört zu den größten Agrarproduzenten in der Europäischen Union. Mehr als die Hälfte der deutschen Landesfläche, fast 19 Millionen Hektar, werden landwirtschaftlich genutzt (BMELV 2009). Der verstärkte Ausbau von nachwachsenden Rohstoffen zur energetischen und stofflichen Nutzung ist ein erklärtes Ziel der Bundesregierung. So sollen der Biomasseanteil am Primärenergieverbrauch und der Anteil von Biokraftstoffen erheblich gesteigert und die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe ausgebaut werden (BMELV 2009). Vor dem Hintergrund des Klimawandels und sich verknappender fossiler Ressourcen will die Bundesregierung auf diese Weise Produktions- und Einkommensalternativen für die deutsche Landwirtschaft entwickeln.

In diesem Zusammenhang war der Anbau von Energiepflanzen auf Stilllegungsflächen als Maßnahme zur Stärkung des Bioenergiesektors zu sehen. Die Stilllegung von Ackerflächen ist ein agrarpolitisches Instrument der EU, das seit 1988/89 dazu diente, die Überproduktion der europäischen Länder in den Griff zu bekommen. Ab dem Jahr 1992 sind diese Flächen zur Produktion von Energiepflanzen freigegeben worden, da hierdurch keine Auswirkungen auf den Lebensmittelmarkt zu erwarten waren. Gleichzeitig sollte den Landwirten unter dem Stichwort „Landwirt als Energiewirt“ die Möglichkeit gegeben werden, sich ein neues Standbein aufzubauen. Zudem sollte der Anteil der Bioenergie erhöht werden. Die Flächen, auf denen nachwachsende Rohstoffe zum Zweck der Bioenergiegewinnung angebaut wurden, nahmen in der Folge stetig zu, nicht nur auf Stilllegungsflächen, sondern auch außerhalb.

Aufgrund der angespannten Lage im Getreidemarkt 2007, der steigenden Preise für Agrarprodukte auf dem Weltmarkt sowie der daraus resultierenden Nahrungsmittelknappheit und Zunahme des weltweiten Hungers ist die Verpflichtung zur Flächenstilllegung von der EU in 2008 überprüft und zum Januar 2009 wieder zurückgenommen worden. Dem Anbau von Energiepflanzen hat diese Änderung nach Zahlen der FNR² aber keinen Abbruch getan: auch von 2007 auf 2008 hat es eine Zunahme der Produktion von z. B. Biogassubstraten gegeben. Eine Stagnation ist allerdings im Anbau von Raps für Biodiesel aufgetreten, was aber durch die Besteuerung von Biokraftstoffen und nicht durch die Flächenstilllegung erklärlich ist.

2 Quelle: <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/index.php?id=2293&spalte=3>

Die zentralen Ziele für die deutsche Forstpolitik wurden bereits von den Parteien der rot-grünen Bundesregierung in der „Charta für Holz“ aus dem Jahr 2002 festgelegt, die zusammen mit der Wirtschaft und den Verbänden formuliert wurde. Dieser zufolge soll erstens das Primat einer nachhaltigen Waldnutzung umgesetzt werden; beispielsweise verpflichtete sich die Bundesregierung, bei eigenen Beschaffungsmaßnahmen ausschließlich auf Holz aus zertifizierten Wäldern zurückzugreifen (Bundesregierung 2009). Ein zweites Ziel besteht darin, den Verbrauch von Holz in den nächsten zehn Jahren um 20 Prozent zu steigern. Um dies zu erreichen, sollen die Nachfrage gestärkt, das Holzangebot verbessert, und Innovationen gefördert werden. Aktuell entwickelt die Große Koalition unter Federführung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zusammen mit Wirtschaft und Wissenschaft konkrete Maßnahmen, um diese Ziele umzusetzen (Bundesregierung 2009).

Vor dem Hintergrund dieser agrar- und forstpolitischen Zielsetzungen ist auch die Frage zentral, wie Biomasse stofflich und energetisch genutzt werden kann. Das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ stellt hier das zentrale Instrument im Bereich der anwendungsorientierten Forschung dar. Als zuständiges Ministerium für den Bereich „Nachwachsende Rohstoffe“ ist das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Initiator des Programms, das im Folgenden dargestellt wird

3.2.1 Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe

Instrumentenbeschreibung: Es handelt sich um ein **nationales Instrument** zur Förderung der Nutzung von biogenen Reststoffen; einzelne Programmelemente haben aber auch andere Politikschwerpunkte. Es werden Fördermittel bereitgestellt, um Produktlinien von der Erzeugung zur Verwendung, z. B. als Bioplastik, Chemikalien, Textilien oder Baumaterialien, bis zur energetischen Verwertung nachwachsender Rohstoffe aufzubauen. Des Weiteren werden Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben sowie Öffentlichkeitsarbeit gefördert. Antragsberechtigt sind Privatpersonen, Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten. Das Programm hat unterschiedliche Schwerpunkte; dazu gehören z. B. der Einsatz von Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe sowie die Errichtung und Umrüstung mobiler und stationärer Eigenverbrauchstankstellen in umweltsensiblen Bereichen. Für eine Kaskadennutzung einschlägig sind die Bereiche „Biogene Treib- und Schmierstoffe“ (Kapitel 3.2.1.1) und „Innovative Mehrfachnutzung von nachwachsenden Rohstoffen, Bioraffinerien“ (Kapitel 3.2.1.2). Das Förderprogramm wird von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) als Projektträger im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz durchgeführt. Es handelt sich um ein **Innovations-, Diffusions- und F&E-Politikinstrument** sowie um ein **Informationsinstrument**.

Ziel: Das Förderprogramm soll einen Beitrag für eine nachhaltige Rohstoff- und Energiebereitstellung leisten, die Umwelt durch Ressourcenschutz, besonders umweltverträgliche Produkte und CO₂-Emissionsverminderung, entlasten und die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Land- und Forstwirtschaft sowie der vor- und nachgelagerten Bereiche stärken.

Wirkmechanismus: Antragsteller können mit Projekten, die den Projektvoraussetzungen entsprechen, Anträge auf Zuwendung stellen. Die Höhe der maximalen Zuwendung ist abhängig vom technischen Stand des Projektes. Grundlagenforschung wird bis 100 Prozent, industrielle

Forschung bis 50 Prozent und experimentelle Entwicklung bis 25 Prozent gefördert. (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2008). Im Jahr 2008 hatte das Programm ein Finanzvolumen von 33,4 Mio. €. Das Programm läuft bis 2015.

Abschätzung der Wirkung auf die Kaskadennutzung: Die Förderungen aus diesem Programm können die Kaskadennutzung von Bioenergie verbessern. Im Programm ist die Förderung von Anlagen explizit berücksichtigt, die Stoffe nach einer bereits erfolgten Nutzung energetisch verwerten. Dazu gehören zum Beispiel biogene Rest- und Abfallstoffe sowie Nebenprodukte der Ernährungsindustrie. Da das Programm sowohl die direkte energetische Verwertung als auch die reine Entsorgung von biogenen Stoffen ausschließt, trifft es Potenziale zur Kaskadennutzung wie zum Beispiel die Erschließung neuer Verwendungsmöglichkeiten für Nebenprodukte der Holzindustrie.

Im Rahmen dieses Programms hat das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz unterschiedliche Förderrichtlinien erlassen, von denen zwei einen besonderen Bezug zur Kaskadennutzung aufweisen. Diese sollen im Folgenden beschrieben werden.

Biogene Treib- und Schmierstoffe

Instrumentenbeschreibung: Es handelt sich um ein Instrument zur Förderung der Erstausrüstung bzw. Umrüstung von Maschinen auf Schmierstoffe und Hydrauliköle aus nachwachsenden Rohstoffen. Grundlage ist die Richtlinie des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zur Förderung von Projekten mit dem Schwerpunkt „Einsatz von biologisch schnell abbaubaren Schmierstoffen und Hydraulikflüssigkeiten auf Basis nachwachsender Rohstoffe“, veröffentlicht im Bundesanzeiger Nr. 211 vom 10. November 2006, geändert mit Bekanntmachung im Bundesanzeiger Nr. 35 vom 4. März 2008. Es handelt sich um ein **nationales fiskalpolitisches Instrument**.

Ziel: Mit der Förderung von biogenen Schmierstoffen soll deren Markteinführung vorangetrieben werden. Biologische Schmierstoffe sind im Gegensatz zu mineralischen Schmierstoffen klimaverträglich und biologisch abbaubar.

Wirkmechanismus: Im Rahmen des Programms wird die Preisdifferenz ausgeglichen, die derzeit noch zwischen den mineralischen und biogenen Ölen besteht. Ein Pauschalbetrag kompensiert die Mehrkosten, die bei der Erstausrüstung aber auch bei der Umrüstung von Maschinen auf biogene Öle und Fette entstehen.

Abschätzung der Wirkung auf die Kaskadennutzung: Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Bioschmierstoff stellt zunächst eine stoffliche Nutzung dar. Je nachdem, ob und wie gut es gelingt, die verwendeten Schmierstoffe und Öle wieder aufzufangen, können diese prinzipiell einer energetischen Nutzung und damit dann einer Kaskadennutzung zugeführt werden. Eine Verbesserung der Eigenschaften und Kosten von biogenen Schmierstoffen wird zu einem höheren Marktanteil führen und damit die Wahrscheinlichkeit vergrößern, dass eine Kaskadennutzung in diesem Bereich ermöglicht wird.

Innovative Mehrfachnutzung von nachwachsenden Rohstoffen, Bioraffinerien

Instrumentenbeschreibung: Es handelt sich ebenfalls um ein Instrument aus dem Förderprogramm *Nachwachsende Rohstoffe* (siehe Kapitel 3.2.1) auf **Bundesebene**. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung neuer und innovativer Nutzungskonzepte aus der anwendungsorientierten Forschung, für die Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht und die eine wirtschaftliche und ökologische Effizienz erwarten lassen. Grundlage ist die Bekanntmachung über die Förderung der angewandten Forschung auf dem Gebiet der nachwachsenden Rohstoffe im Rahmen des Förderprogramms „*Nachwachsende Rohstoffe*“ der Bundesregierung zum Schwerpunkt „*Innovative Mehrfachnutzung von nachwachsenden Rohstoffen, Bioraffinerien*“ vom 24. April 2008. Das Förderprogramm wird von der Fachagentur *Nachwachsende Rohstoffe* (FNR) als Projektträger im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz durchgeführt. Es handelt sich um ein **Innovations-, Diffusions- und F&E- Politikinstrument**.

Ziel: Ziel des Instrumentes ist es, die Mehrfach- und Koppelnutzung von nachwachsenden Rohstoffen zu fördern. Das Ziel der Koppelnutzung besteht darin, eine Wertschöpfungssteigerung über einen gesamten Produktionsprozess durch eine multiple Nutzung aller Komponenten des Rohstoffs einschließlich anfallender Neben- und Koppelprodukte zu erreichen. Mittel- und langfristig sollen lineare Produktionsketten mit geringer Wechselwirkung durch systemisch vernetzte Produktionscluster ersetzt werden.

Wirkmechanismus: Antragsteller können mit Projekten, die den Projektvoraussetzungen entsprechen, Anträge auf Zuwendung stellen. Forschungseinrichtungen werden bis 100 Prozent, gewerbliche Unternehmen bis 50 Prozent gefördert. Die Dauer der Förderung beträgt maximal drei Jahre.

Antragsberechtigt sind Hochschulen, Forschungs- und Wissenschaftseinrichtungen sowie Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft. Es werden keine Einzelvorhaben, sondern nur Verbundvorhaben zwischen einer oder ggf. auch mehreren wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen und einem oder ggf. auch mehreren Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft gefördert.

Abschätzung der Wirkung auf die Kaskadennutzung: Das Förderprogramm zielt direkt auf eine verbesserte Mehrfachnutzung von Bioenergien, die in einer Kaskadennutzung münden kann. Die Ergebnisse können damit einen wichtigen Beitrag zur besseren Rohstoffeffizienz in Bioenergiestoffströmen leisten.

3.2.2 Demonstrationsvorhaben zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Instrumentenbeschreibung: Es handelt sich um ein **nationales** Förderprogramm zur Förderung innovativer Demonstrationsvorhaben in einem technologisch und wirtschaftlich marktrelevanten Maßstab. Gegenstand der Förderung sind Demonstrationsanlagen und Verfahren zur umweltverträglichen und nachhaltigen energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe oder land- und forstwirtschaftlicher Biomasse. Das Förderprogramm wird von der Fachagentur *Nachwachsende Rohstoffe* (FNR) als Projektträger im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz durchgeführt. Die Grundlage für das Programm ist die „*Richtlinie*

zur Förderung von Demonstrationsvorhaben zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe“, veröffentlicht im Bundesanzeiger Nr. 245 vom 28. Dezember 2005. Es handelt sich um ein **Innovations-, Diffusions- und F&E-Politikinstrument**.

Ziel: Ziel ist es, die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe und Biomassen aus der Land- und Forstwirtschaft zu unterstützen, einen Beitrag zur Vermeidung und Verringerung von Umweltbelastungen zu leisten sowie Beschäftigung und Wertschöpfung in der Land- und Forstwirtschaft zu sichern.

Wirkmechanismus: Antragsteller können mit Projekten, die den Projektvoraussetzungen entsprechen, Anträge auf Zuwendung stellen. Förderfähig sind Anlagen und Verfahren, die fortschrittlich oder mit neuen Verfahren nachwachsende Rohstoffe nutzen und nicht als Abfallentsorgungsanlagen betrieben werden. Im Rahmen der Investitionsbeihilfen werden bis zu 40 Prozent der Investitionsmehrkosten gefördert, bei Betriebsbeihilfen erfolgt die Förderung zur Deckung der Mehrkosten bzw. Differenzkosten, die bei der Energieerzeugung entstehen. Das Programm läuft bis einschließlich 2010. Antragsberechtigt sind Unternehmen, Kommunen, öffentliche Einrichtungen, Privatperson und Verbände.

Abschätzung der Wirkung auf die Kaskadennutzung: Das Förderprogramm zielt auf eine effizientere energetische Biomassenutzung. Eine Kaskadennutzung der eingesetzten Biomasse ist nicht Bestandteil der Förderung. Positive Auswirkungen auf eine zukünftige Kaskadennutzung sind möglich. Eventuell kann die Erprobung neuer Anlagen zur energetischen Biomassenutzung dazu führen, dass bisher nicht nutzbare Biomasse aus der Kaskadennutzung verwertet werden kann oder die Verwertung wirtschaftlich wird.

3.3 Abfall- und Produktpolitik

Der Beitrag der Abfallwirtschaft zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Deutschland zeigt sich in den weltweit höchsten Verwertungsquoten, durch die Rohstoffe und Primärenergie eingespart werden. Fast 57 Prozent der Siedlungsabfälle und 58 Prozent der Produktionsabfälle werden verwertet (BMU 2009). Das umweltpolitische Ziel der Bundesregierung ist es, die Abfall- und Kreislaufwirtschaft in den nächsten Jahren hin zu einer Stoffstromwirtschaft weiter zu entwickeln. Durch eine Getrennthaltung von Abfällen, ihre Vorbehandlung, durch Recycling oder ihre energetische Nutzung wird angestrebt, die im Abfall gebundenen Stoffe und Materialien vollständig zu nutzen und somit eine Deponierung von Abfällen überflüssig zu machen.

Eine wesentliche Voraussetzung für eine funktionierende Kreislauf- bzw. Stoffstromwirtschaft besteht darin, bereits beim Produktdesign und im Prozess der Produktion sicherzustellen, dass die Produkte später stofflich oder energetisch verwertet werden können. Die EU verfolgte mit dem „Grünbuch zur integrierten Produktpolitik“ das umfassende Ziel, die Umweltauswirkungen von Produkten während ihres gesamten Lebenszyklus zu verringern. Die Ökodesign-Richtlinie der EU soll dies als zentrales Politikinstrument gewährleisten.

3.3.1 Ökodesign-Richtlinie der EU

Instrumentenbeschreibung: Bei der sogenannten EU-Ökodesign-Richtlinie (Energy using Products (EuP)-Richtlinie) handelt es sich um die „Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinien 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates“. Die Ökodesign-Richtlinie ist Teil der Integrierten Produktpolitik der Europäischen Union. In den sogenannten Durchführungsmaßnahmen dieser Richtlinie wird vorgegeben, in welchen Aspekten energiebetriebene Produkte umweltgerecht gestaltet („Ökodesign“) werden müssen. Die Richtlinie gilt für alle energiebetriebenen Produkte mit Ausnahme von Fahrzeugen. Des Weiteren gilt sie nur für solche Produkte, die ein erhebliches Potential zur Einsparung von Energie aufweisen und von denen jährlich mehr als ca. 200 000 Stück in der EU verkauft werden. In den Durchführungsverordnungen können die Hersteller auch dazu verpflichtet werden, dem Produkt Informationen über die wesentlichen Umweltaspekte und die Eigenschaften des Produkts beizufügen, so dass die Verbraucher die Produkte hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit vergleichen können. Es handelt sich im Schwerpunkt um ein **regulatorisches Politikinstrument**.

Um die Anforderungen an die Umweltleistung ausgewählter Produkte zu konkretisieren, sieht die Richtlinie zwei grundsätzlich verschiedene Regelungsalternativen vor: ordnungsrechtlich erlassene Durchführungsmaßnahmen oder Selbstregulierungsinitiativen der Industrie. Alle drei Jahre erstellt die Kommission ein neues Arbeitsprogramm, welches die Produktgruppen festlegt, für die Durchführungsmaßnahmen zu erlassen sind.

Mit dem am 7. März 2008 in Kraft getretenen Energiebetriebene-Produkte-Gesetz (EBPG) wurde die Ökodesign-Richtlinie in deutsches Recht umgesetzt. Konkrete Verpflichtungen entstehen für Hersteller und Händler jedoch erst, wenn die EU-Kommission entsprechende Durchführungsbestimmungen verabschiedet.

Ziel: Die Senkung von Treibhausgasemissionen durch eine gesteigerte Energieeffizienz wird von der EU als ein vorrangiges umweltpolitisches Ziel betrachtet. Generell sollen mit der Ökodesign-Richtlinie Umweltbelastungen durch energiebetriebene Produkte – insbesondere durch eine erhöhte Energieeffizienz – verringert, der technische Fortschritt gefördert und der freie Verkehr mit energiebetriebenen Produkten durch harmonisierte Normen gestärkt werden.

Wirkmechanismus: Der Hersteller muss die Konformität des Produktes mit den Anforderungen der betreffenden Durchführungsverordnung nachweisen. Die unter die Ökodesign-Richtlinie fallenden Produkte erhalten nur dann das CE-Kennzeichen – und damit ihre Marktzulassung für den europäischen Binnenmarkt und den jeweiligen nationalen Markt –, wenn sie die in den Durchführungsverordnungen festgeschriebenen Standards erfüllen. Die staatlich organisierte Marktaufsicht in den Mitgliedstaaten soll über Stichproben die Kennzeichnung überprüfen.

Abschätzung der Auswirkungen auf die Kaskadennutzung: Die Ökodesign-Richtlinie setzt Impulse für die Kaskadennutzung von Biomasse. Dies geschieht insbesondere dadurch, dass in der Richtlinie konkrete Kriterien der Umweltverträglichkeit formuliert sind, die darüber entscheiden sollen, ob das CE-Kennzeichen vergeben wird. Für die Kaskadennutzung ist zentral, dass die EuP-Richtlinie explizit die stoffliche oder energetische Verwertbarkeit der Produkte als ein solches Kriterium nennt.

Die Möglichkeit, in Durchführungsverordnungen Hersteller dazu zu verpflichten, auf dem Produkt den Verbraucher über die wesentlichen Umweltaspekte aufzuklären, würde es dem Konsumenten zudem ermöglichen, sich bewusst für ein nachhaltig produziertes Produkt zu entscheiden; so kann die Information, dass ein Produkt auf biogenen Materialien und auf Verfahren der stofflichen und energetischen Wiederverwertung beruht, Konsumentenentscheidungen beeinflussen. Die mögliche Informationspflicht könnte also auch einen gewissen Beitrag zur Kaskadennutzung von Biomasse leisten.

Ob bzw. in welchem Maß die Ökodesign-Richtlinie die Kaskadennutzung von Biomasse tatsächlich positiv beeinflusst, hängt entscheidend davon ab, welche konkreten Produktstandards und Informationspflichten in den Durchführungsverordnungen festgeschrieben werden.

3.3.2 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz

Instrumentenbeschreibung: Das „Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG)“ ist das zentrale **Bundesgesetz** zum deutschen Abfallrecht. Es wurde am 27. September 1994 vom Bundestag beschlossen und letztmals am 19. Juli 2007 geändert. In einigen Punkten unterstützt dieses **regulatorische Instrument** die Kaskadennutzung von Biomasse. Insbesondere legte der Gesetzgeber fest, dass die stoffliche oder energetische Verwertung von Abfällen Vorrang vor der Abfallbeseitigung hat.

Ziel: Ziel des Gesetzes ist es, Wertstoffe durch getrennte Sammlung, Sortierung und Nutzung wieder dem Wirtschaftskreislauf zuzuführen und dadurch den Rohstoffverbrauch zu senken. Zudem werden mit dem Prinzip der Produktverantwortung Hersteller dazu verpflichtet, das Entstehen von Abfällen zu vermeiden und später sicherzustellen, dass die Produkte umweltverträglich verwertet und beseitigt werden.

Wirkmechanismus: Ge- und Verbote sollen gewährleisten, dass die genannten Ziele erreicht werden können.

Abschätzung der Auswirkungen auf die Kaskadennutzung: Der Vorrang, welcher der Verwertung von Abfällen gegenüber deren Beseitigung zugesprochen wird, unterstützt im Grundsatz die Kaskadennutzung von Biomasse. Hinsichtlich der Frage, ob eine stoffliche oder energetische Verwertung von Abfällen Vorrang hat, ermächtigt das Gesetz die Bundesregierung dazu, dies im konkreten Fall festzulegen. Das entscheidende Bewertungskriterium habe die Umweltverträglichkeit der jeweiligen Verwertungsart darzustellen – ein Aspekt, der die Kaskadennutzung von Biomasse tendenziell stützt.

Die vielfach allgemein gehaltenen Vorgaben des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes werden hinsichtlich einzelner Abfallströme durch untergesetzliche Regelungen konkretisiert. Die Verpackungsverordnung sowie die Altholzverordnung sind für die Kaskadennutzung von Biomasse zentral und werden im Folgenden erläutert.

Verpackungsverordnung

Instrumentenbeschreibung: Die Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen (Verpackungsverordnung – VerpackV) verpflichtet auf **nationaler Ebene** Hersteller und Vertreiber von Verpackungen zur Rücknahme, Pfanderhebung und Verwertung. Die Verordnung, die in erster Fassung am 27. August 1998 in Kraft trat, und letztmals am 2. April 2008 novelliert wurde, bezieht sich auf europäisches und nationales Recht: auf die EG-Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle und auf das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz. Es handelt sich um ein **regulatorisches Politikinstrument**. Die folgenden Darstellungen beziehen sich auf die novellierte Fassung der Verpackungsverordnung, die zum 1. April 2009 in Kraft tritt.

Ziel: Mit der Verpackungsverordnung will die Bundesregierung schädliche Auswirkungen von Verpackungsabfällen auf die Umwelt verringern. Spätestens bis zum 31. Dezember 2008 sollen von den gesamten Verpackungsabfällen jährlich mindestens 65 Prozent verwertet und mindestens 55 Prozent stofflich verwertet werden. Dabei soll die stoffliche Verwertung der einzelnen Verpackungsmaterialien für Holz 15 Prozent, für Kunststoffe 22,5 Prozent, für Metalle 50 Prozent und für Glas sowie Papier und Karton 60 Prozent bezogen auf die Masse erreichen, wobei bei Kunststoffen nur Material berücksichtigt wird, das durch stoffliche Verwertung wieder zu Kunststoff wird.

Wirkmechanismus: Die Hersteller und Vertreiber haben sich an einem System zur Rücknahme der Verkaufsverpackungen zu beteiligen. Letztvertreiber sind zudem dazu verpflichtet, Verkaufsverpackungen von den Kunden unentgeltlich zurückzunehmen und einer Verwertung zuzuführen.

Abschätzung der Auswirkungen auf die Kaskadennutzung: Die Verpackungsverordnung setzt deutliche Impulse zur Kaskadennutzung. Dies betrifft insbesondere die bereits genannte Pflicht zur stofflichen Verwertung von Verpackungen aus Papier, Pappe und Karton.

Hier besteht eine gesetzliche Vorgabe, Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen stofflich zu verwenden, bevor sie einer energetischen Verwertung zugeführt werden. Im Sinne einer möglichst effizienten Kaskadennutzung sollte geprüft werden, ob höhere Quoten zum stofflichen Recycling vor der endgültigen Energiegewinnung sinnvoll sind.

Altholzverordnung

Instrumentenbeschreibung: Die Altholzverordnung (AltholzV) legt nähere Anforderungen an die stoffliche und energetische Verwertung sowie an die Beseitigung von Altholz auf der Grundlage des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes fest. Gleichzeitig werden diese Anforderungen mit den ebenfalls bei der Entsorgung von Altholz zu beachtenden Bestimmungen des Chemikalien- und Gefahrstoffrechts sowie den Vorschriften über die Führung von Verwertungs- und Beseitigungsnachweisen bundesländerübergreifend harmonisiert. Als Altholz im Sinne der Verordnung werden sowohl Industrierestholz als auch zu Abfall gewordene Holzprodukte erfasst.

Die Altholzverordnung betrifft direkt die Kaskadennutzung von Holzprodukten. Als Verwertungsverfahren werden die Aufbereitung von Altholz zur Herstellung von Holzwerkstoffen, die Herstellung von Aktivkohle und Industrieholzkohle, die Erzeugung von Synthesegas als Chemierohstoff sowie die energetische Verwertung von Altholz geregelt. Sonstige eventuell mögliche Verwertungswege werden nicht ausgeschlossen, um die Erschließung neuer, innovativer Verwer-

tungsverfahren für Altholz nicht zu behindern. Eine Regelung zum Vorrang der stofflichen oder der energetischen Verwertung trifft die Verordnung nicht.

Altholz muss in Abhängigkeit von der Belastung mit Schadstoffen in vier Altholzkategorien eingeteilt werden, von A I (naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz) bis zu A IV (z. B. mit Holzschutzmitteln behandelte Bahnschwellen, Hopfenstangen etc.). Als Sonderkategorie kommen für Altholz, das mehr als 50 mg/kg polychlorierte Biphenyle (PCB) enthält, nur thermische Verfahren infrage. Es handelt sich um ein **regulatorisches Instrument** auf **Bundesebene**.

Ziel: Mit der Verordnung soll die umweltverträgliche stoffliche und energetische Verwertung von Altholz gefördert werden. Die bundeseinheitliche Harmonisierung von Standards der Altholzent-sorgung soll mehr Wettbewerbsgleichheit, insbesondere auch für mittelständische Entsorgungs-unternehmen, gewährleisten. Die Verordnung soll von ihrer Struktur und Systematik her auch als Pilotverordnung für künftige weitere stoffstromspezifische Anforderungen an die Abfallverwer-tung dienen.

Wirkmechanismus: Die Verordnung setzt vor allem Standards dazu, welche Altholzkategorien zu welchen Zwecken verwertet werden dürfen und regelt bestimmte Verwertungsverfahren, ins-besondere die thermische Behandlung. Durch die Bestimmungen soll Umweltschädigungen oder Gesundheitsgefahren, z. B. durch eine nicht sachgemäße Verwendung von chemisch behandeltem Holz, vorgebeugt werden. Bei den Kontrollen setzt die Altholzverordnung auf die Stärkung der Selbstüberwachung in Betrieben durch ein Betriebstagebuch, ergänzt um Fremdkontrollen über Stichproben.

Abschätzung der Auswirkungen auf die Kaskadennutzung: Hinsichtlich der Kaskadennutzung regelt die Altholzverordnung primär, *wie* Holz verwertet werden darf, so dass die Umwelt nicht gefährdet wird.

Unterstützt wird die Kaskadennutzung durch die Regelung, dass Altholz, das nicht verwertet wird, einer thermischen Behandlungsanlage zugeführt werden muss; wird die dabei entstehende Wärme energetisch genutzt, ergibt sich gegenüber einer sonstigen Beseitigung eine Kaskadennutzung.

Da die Altholzverordnung jedoch auch für die jeweiligen stofflichen Verwertungsverfahren zuläs-sige Altholzkategorien vorschreibt, grenzt sie bestimmte stoffliche Nutzungen aus, und hemmt damit eine wiederholte stoffliche Nutzung.

Ein weiterer Effekt auf die Kaskadennutzung ergibt sich über die Klassifizierung von Altholz, die Handlungssicherheiten für Marktakteure entstehen lässt. Die Altholzverordnung unterstützt in diesem Sinne ordnungsrechtlich die bereits vorhandenen Marktkräfte und unterstützt tendenzi-ell die energetische Verwertung von Altholz. Da gerade Holz erhebliche Potentiale zu mehreren stofflichen Nutzungszyklen besitzt (vgl. Abschnitt 4.2 und 6.2), ist das Fehlen von deutlicheren Anreizen zur stofflichen Verwertung hier als Mangel zu bewerten. Indem die Altholzverordnung zur energetischen oder stofflichen Weiterverwertung verpflichtet, wird die Verwertung aber ins-gesamt zumindest stärker gefördert als dies in einer Situation ohne die Altholzverordnung der Fall wäre.

3.3.3 BMU-Programm Demonstrationsvorhaben

Instrumentenbeschreibung: Mit dem Programm fördert das Bundesumweltministerium Demonstrationsvorhaben auf **nationaler Ebene**. Dieses **Innovations-, Diffusions- und FuE-Instrument** bezieht sich auf Projekte in großtechnischem Maßstab. Es werden insbesondere innovative, umweltschonende Verfahren gefördert, ausdrücklich auch im Bereich der Abfallvermeidung, -verwertung und -beseitigung. Als Grundlage dient die „Richtlinie des Bundesumweltministeriums zur Förderung von Investitionen mit Demonstrationscharakter zur Verminderung von Umweltbelastungen“ vom 4. Februar 1997. Ab dem Jahr 2009 wird das Programm unter der neuen Bezeichnung „Umweltinnovationsprogramm“ fortgeführt.

Ziel: Die Projekte sollen zeigen, in welcher Weise fortschrittliche Verfahren, Produkte und Substitutionsstoffe Umweltbelastungen verringern oder vermeiden können. Auf diese Weise soll ein Beitrag zu einer nachhaltigeren und ressourcenschonenderen Produktionsweise geleistet werden.

Wirkmechanismus: Die Förderung erfolgt entweder als Zinszuschuss zur Verbilligung eines Kredits oder in Ausnahmefällen als Investitionszuschuss. Grundsätzlich können Kredite bis zu 70 Prozent der förderfähigen Kosten zinsverbilligt werden. Investitionszuschüsse können bis zur Höhe von 30 Prozent der zuwendungsfähigen Kosten gewährt werden. Über Form und Umfang der Förderung im Einzelfall entscheidet das BMU unter Berücksichtigung der Umweltschutzwirkung, der Fortschrittlichkeit des Verfahrens, der technischen und wirtschaftlichen Risiken des Projekts und des bestehenden Bundesinteresses nach pflichtgemäßem Ermessen.

Abschätzung der Auswirkungen auf die Kaskadennutzung: Das Programm kann sich positiv auf die Kaskadennutzung von Biomasse auswirken, da ausdrücklich Demonstrationsvorhaben zur umweltschonenden Verwertung von Abfällen gefördert werden. Beispielsweise könnte hier an großtechnische Anlagen und Verfahren gedacht werden, die bisher ungenutzte biogene Nebenprodukte sowie Rest- und Abfallstoffe in der Industrie nochmals stofflich oder energetisch verwerten. Ob positive Innovations- und Diffusionseffekte tatsächlich eintreten, hängt jedoch von den Inhalten und der Nachahmung der geförderten Demonstrationsvorhaben ab.

3.3.4 ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm

Instrumentenbeschreibung: Mit dem Förderprogramm werden auf **nationaler Ebene** allgemeine Maßnahmen zum Umweltschutz und zur Energieeffizienz gefördert, beispielsweise zur Abfallvermeidung, -behandlung und -verwertung. Das Programm richtet sich besonders an kleine und mittlere Unternehmen. Grundlage ist die „Richtlinie für ERP-Darlehen zur Förderung von betrieblichen Investitionen zum Zwecke des Umweltschutzes und der Energieeinsparung“ vom 5. Januar 2006. Das **fiskalpolitische Instrument** umfasst vor allem zinsgünstige Darlehen. Die KfW-Förderbank führt das Programm im Auftrag der Bundesregierung durch.

Ziel: Indem Unternehmen Anreize erhalten, in umweltverträgliche und energiesparende Technologien zu investieren, soll bereits die Entstehung von Umweltbelastungen vermieden werden.

Wirkmechanismus: Es werden Darlehen für die Finanzierung von Investitionen zu einem günstigen Zinssatz gewährt. Der Höchstbetrag der Darlehen liegt in der Regel bei 1 Mio. Euro, in Aus-

nahmefällen auch darüber. Die Laufzeiten der Kredite betragen bis zu 15 Jahren; eine Ausnahme bilden Bauvorhaben, bei denen die Laufzeit bis zu 20 Jahren beträgt.

Abschätzung der Auswirkungen auf die Kaskadennutzung: Grundsätzlich können die Darlehen Unternehmen Anreize geben, in Anlagen zu investieren, die biogene Nebenprodukte der Industrie nochmals stofflich oder energetisch verwerten. Ob die Kaskadennutzung von Biomasse tatsächlich durch das Programm gesteigert wird, hängt jedoch von den geförderten Projekten ab.

3.4 Ressourcenpolitik

Im Koalitionsvertrag vom 11. November 2005 haben CDU, CSU und SPD das Ziel festgeschrieben, die Energie- und Ressourcenproduktivität – und damit die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Volkswirtschaft – zu steigern. Der wichtigste Schlüssel dazu ist eine Doppelstrategie zur Steigerung der Energie- und Materialeffizienz sowie zum Ausbau erneuerbarer Energien und nachwachsender Rohstoffe. Im Rahmen dieser Strategie fördert die Bundesregierung beispielsweise ressourcen- und umweltschonende Produkte und Verfahren. Hier ist das Impulsprogramm Materialeffizienz hervorzuheben, das für die Kaskadennutzung von Biomasse besonders deutliche Anknüpfungspunkte bietet.

3.4.1 Impulsprogramm Materialeffizienz

Das Impulsprogramm Materialeffizienz stellt ein **nationales** Förderprogramm dar. Die Bundesregierung gibt damit Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes Anreize, die eigene Materialeffizienz zu steigern. Zur Umsetzung des Programms wurde im Herbst 2005 die Deutsche Materialeffizienzagentur (demea) gegründet, die im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums betrieben wird. Das Programm besitzt drei Pfeiler: VerMat, NeMat und den Deutschen Materialeffizienzpreis, mit dem beispielhafte Lösungen zu Fragen der Materialeffizienz ausgezeichnet werden. VerMat und Nemat stellen die Programmschwerpunkte dar und werden im Folgenden ausführlicher erläutert.

VerMat

Instrumentenbeschreibung: Das „Programm für die Beratung von kleinen und mittleren Unternehmen zur rentablen Verbesserung der Materialeffizienz“ (VerMat) basiert auf einer gleichnamigen Richtlinie des Bundeswirtschaftsministeriums vom 4. Januar 2006. Gefördert wird die Beratung der Unternehmen durch Experten/-innen aus dem Beraterpool der demea. Diese sollen helfen, Einsparpotentiale beim Materialeinsatz zu identifizieren und die Umsetzung zu begleiten. Es handelt sich um ein **Diffusionsinstrument** auf **Bundesebene**.

Ziel: Um die Potentiale zur Materialeffizienzsteigerung zu erschließen, wird bereits bestehendes betriebswirtschaftliches und technisches Know-how durch die Berater/-innen der demea in den Betrieben nutzbar. Das Bundeswirtschaftsministerium verspricht sich von dem Programm Impulse für die Wettbewerbsfähigkeit der geförderten Unternehmen und hiervon einen Beitrag zum Wirtschaftswachstum.

Wirkmechanismus: Es handelt sich um ein zweistufiges Verfahren. Zunächst wird eine Potentialanalyse mit einer Dauer von maximal vier Wochen durchgeführt. Daran schließt sich eine Vertiefungs- oder Umsetzungsberatung an, die maximal neun Monate dauert. Der Gesamtbetrag der Förderung kann bis zu 99.000 € betragen. Die Förderung wird als Projektförderung durch nicht rückzahlbare Zuschüsse in Form einer Anteilfinanzierung gewährt.

Abschätzung der Wirkung auf die Kaskadennutzung: Das Programm weist deutliche Bezüge zur Kaskadennutzung auf. So werden ausdrücklich Beratungen darüber gefördert, wie Produktionsabfälle wiederverwertet werden können. Sofern die Wiederverwertung von biogenen Abfällen Gegenstand der Beratung ist, würde dies eine direkte Förderung der Kaskadennutzung von Biomasse durch die Diffusion von Know-how bedeuten. Die Unternehmen werden bei der Umsetzung des Know-hows unterstützt.

Ein weiterer, für die Kaskadennutzung von Biomasse einschlägiger Beratungsschwerpunkt beinhaltet die Frage, wie Unternehmen Materialien ressourcenschonend substituieren können. Falls auf diese Weise verstärkt biogene Materialien zum Einsatz kommen, würden größere Mengen an Biomasse für eine eventuelle stoffliche oder energetische Verwertung zur Verfügung stehen. Ob sich das Programm positiv auf die Kaskadennutzung auswirkt, hängt grundsätzlich davon ab, ob die Berater/-innen ausreichend über die Bedeutung und die Möglichkeiten der Kaskadennutzung informiert sind; das Training der Berater/-innen ist von maßgeblicher Bedeutung.

NeMat

Instrumentenbeschreibung: Das Programm NeMat fördert die Bildung von Netzwerken zur Verbesserung der Materialeffizienz, unterstützt diese fachlich und gewährleistet eine neutrale Netzwerkkoordination. Gefördert werden regionale, branchenorientierte und produktionskettenbezogene Netzwerke. Grundlage ist die „Richtlinie zum Programm für die Förderung von Netzwerken zur rentablen Verbesserung der Materialeffizienz primär in kleinen und mittleren Unternehmen (NeMat)“ vom 4. August 2006, die ab 2009 für fünf Jahre verlängert und inhaltlich überarbeitet werden wird. Es handelt sich um ein **institutionelles Instrument auf Bundesebene**.

Ziel: Synergien und Vorteile einer Zusammenarbeit von Unternehmen in Netzwerken sollen die Materialeffizienz in Produktion und Produktnutzung steigern. Auf diese Weise will das Bundeswirtschaftsministerium die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen stärken.

Wirkmechanismus: Das Förderprogramm richtet sich ausschließlich an kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Die Förderung ist zweistufig. In Phase I, die für maximal 3 Monate veranschlagt ist, werden die Etablierung des Netzwerkes und die Erarbeitung der Konzeption zu 75 Prozent gefördert. In Phase II wird die Umsetzung der Netzwerkkonzeption und Zukunftssicherung des Netzwerkes bis zu 50 Prozent bezuschusst. Die Kosten für Aufbau und Aufrechterhaltung des Netzwerkes inkl. Moderation, Information, Schulung und begrenzte Öffentlichkeitsarbeit werden bis zu einem Maximalbetrag von 300 000 Euro gefördert.

Abschätzung der Wirkung auf die Kaskadennutzung: Da Unternehmen die von ihnen erzeugten biogenen Abfallprodukte nicht immer selbst weinternutzen können, kann die Kooperation zwischen Unternehmen die Kaskadennutzung von Biomasse deutlich fördern. So können die von der demea geförderten Netzwerke unter anderem eine unternehmensübergreifende Kaskadennutzung von Biomasse als Thema der Netzwerkarbeit haben.

3.5 Zwischenfazit

Die folgende [Tabelle](#) fasst die Ergebnisse der Analyse von Politikinstrumenten und ihrer Wirkungen auf die Kaskadennutzung von Biomasse zusammen.

Tabelle 3-4: Politikinstrumente und ihre direkte Wirkungen auf die Kaskadennutzung von Biomasse

Bezeichnung des Instruments	Instrumententyp	Politische Ebene	Ansatzpunkt der Förderung	Förderung der Kaskadennutzung
Energiepolitik				
Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG)	Fiskalpolitisches Instrument	DE	energetische Nutzung	0
Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)	Regulatorisches Instrument	DE	energetische Nutzung	0
Marktanreizprogramm zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (MAP)	Fiskalpolitisches Instrument	DE	energetische Nutzung	0
Biokraftstoff-Quotengesetz	Regulatorisches Instrument	DE	energetische Nutzung	0
BMU-Programm: Optimierung der energetischen Biomassenutzung	Innovations-, Diffusions- und F&E-Politikinstrument	DE	energetische und stoffliche Nutzung	++
Programm der landwirtsch. Rentenbank: Energie vom Land	Fiskalpolitisches Instrument	DE	energetische Nutzung	0
BMBF-Programm: Grundlagenforschung Energie 2020+	Innovations-, Diffusions- und F&E-Politikinstrument	DE	energetische und stoffliche Nutzung	++
Agrar- und Forst-Politik				
BMELV-Programm: Innovative Mehrfachnutzung von nachwachsenden Rohstoffen, Bioraffinerien	Innovations-, Diffusions- und F&E-Politikinstrument	DE	stoffliche Nutzung	+++
BMELV-Programm: Demonstrationsvorhaben zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe	Innovations-, Diffusions- und F&E-Politikinstrument	DE	energetische Nutzung	+
Abfall- und Produktpolitik				
Ökodesign-Richtlinie	Regulatorisches Politikinstrument	EU	stoffliche Nutzung	++
Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz	Regulatorisches Politikinstrument	DE	stoffliche Nutzung	++
Verpackungsverordnung	Regulatorisches Instrument	DE	stoffliche Nutzung	++
Altholzverordnung	Regulatorisches Instrument	DE	stoffliche und energetische Nutzung	+
BMU-Programm Demonstrationsvorhaben	Innovations-, Diffusions- und F&E-Politikinstrument	DE	Förderung von stofflicher oder energetischer Nutzung möglich	+
ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm	Fiskalpolitisches Instrument	DE	Förderung von stofflicher oder energetischer Nutzung möglich	+
Ressourcenpolitik				
BMWi-Impulsprogramm Materialeffizienz: VerMat	Diffusionsinstrument	DE	Förderung von stofflicher oder energetischer Nutzung möglich	+
MWi-Impulsprogramm Materialeffizienz: NeMat	Institutionelles Instrument	DE	Förderung von stofflicher oder energetischer Nutzung möglich	+
0	kein Anreiz zur Kaskadennutzung bzw. Anreiz zur direkten energetischen Verwertung von Biomasse ohne vorherige stoffliche Nutzung			
+	Kaskadennutzung wird nicht explizit erwähnt, kann aber durch das Politikinstrument gestärkt werden			
++	Mehrfach- bzw. Kaskadennutzung wird explizit unterstützt			
+++	Kaskadennutzung von Biomasse ist Programmschwerpunkt			

Aus den Ausführungen sowie der [Tabelle 3-4](#) deutlich, dass eine explizite Förderung der Kaskadennutzung von Biomasse derzeit nur in wenigen Politikinstrumenten gegeben ist. Bei diesen handelt es sich zum überwiegenden Teil um **Innovations-, Diffusions- und F&E-Politikinstrumente** aus allen vier betrachteten Bereichen Energiepolitik, Agrar- und Forstpolitik, Abfall-Produktpolitik sowie Ressourcenpolitik.

Dagegen bieten fiskalpolitische und regulatorische Instrumente derzeit überwiegend Anreize zur direkten Verwertung der Rohstoffe, wobei die **Instrumente der Abfall- und Ressourcenpolitik** im Moment noch eher auf eine Förderung der kaskadischen Nutzung von Biomasse ausgelegt sind, als die Instrumente der Energiepolitik. Unter diesen sind vor allem das EEG und das EEWärmeG von Bedeutung. Beide bilden die **Grundlage für die umfassende energetische Nutzung** von Biomasse, ohne die eine Kaskadennutzung unvollkommen bleibt. Allerdings werden starke Anreize zur direkten energetischen Umsetzung gegeben werden, die eine kaskadische Nutzung nicht begünstigen.

Da es sich bei der Kaskadennutzung um ein noch neues und innovatives Konzept handelt, das erst etabliert werden muss, ist eine vorwiegende Förderung über Politikinstrumente, die vor allem auf Innovation, Diffusion sowie Forschung & Entwicklung ausgerichtet sind, zum derzeitigen Zeitpunkt folgerichtig und nachvollziehbar.

4 Stoffströme: Biomasse

4.1 Biomasse-Angebot: Holz

Im Folgenden wird ein Überblick über das jetzige und potenzielle Holzaufkommen im Ausblick gegeben sowie die stoffliche Verwendung von Holz dargestellt, während auf die energetische Verwendung in Kapitel 5 eingegangen wird.

4.1.1 Holzaufkommen: Ist- und Trendanalyse

Das Holzaufkommen in Deutschland setzt sich aus Inlandsaufkommen und Holzimporten zusammen. Zum Inlandsaufkommen zählen der heimische Holzeinschlag und das inländische Altpapier- und Altholzaufkommen. Importiert werden Roh- und Restholz sowie Holzprodukte (Halb- und Fertigwaren) (siehe [Tabelle 4-1](#)).

Wichtige statistische Primärquellen für die Aufkommensdarstellung sind die Bundeswaldinventur (BWI), die Holzbilanz (Dieter, verschiedene Jahre) und die Rohholzstatistik (Mantau u.a., verschiedene Jahre). Die Besonderheiten der Erfassungsmethodik von Holzaufkommen (und im weiteren auch der Holzverwendung) sind im folgenden Kasten hervorgehoben.

Erfassungsmethodik von Holzaufkommen (und -verwendung)

Im Wesentlichen gibt es folgende statistische Quellen, die Holzströme darstellen. (1) In **Holzbilanzen** werden der in der offiziellen Statistik erfasste Einschlag, Lager-/Bestandsveränderungen und Außenhandel mit **Holzwaren** in einer Langzeitreihe gegenübergestellt (der Verbrauch ergibt sich als rechnerische Restgröße) (siehe [Tabelle 4-1](#)). Demgegenüber gibt es (2) In **Holzrohstoffbilanzen** wird die Verwendung der **Holzrohstoffe** dem Holzrohstoffaufkommen, welches das Inlandsaufkommen, den nicht erfassten Einschlag sowie die Im- und Exporte der jeweiligen Rohstoffsortimente umfasst, gegenübergestellt (Mantau u.a., versch. Jahre) (siehe [Tabelle 4-2](#)). Beispielsweise ergibt sich das verfügbare Stammholzaufkommen von 33,6 Mio. m³ im Jahr 2004 aus dem erfassten Einschlag von 32,2 Mio. m³, dem nicht erfassten Einschlag von 3,2 Mio. m³ (Schätzung), Importen von 1,6 Mio. m³ und Exporten von 3,5 Mio. m³ (Mantau/Sörgel, 2006: 15). Die Erfassung von **Holzrohstoffen** erfordert einen großen Umfang von Datenerhebungen, da diese nicht differenziert in der offiziellen Statistik erfasst werden (siehe Mantau/Sörgel, 2006b), so dass sie bislang nur für wenige Jahre zur Verfügung steht (siehe [Kap. 4.2](#)). **Die Angaben zu Holzwaren und Holzrohstoffen lassen sich daher nicht direkt miteinander vergleichen oder integrieren.** Erfasst werden die Mengen von Holzwaren und Holzrohstoffen in der Regel in Rohholzäquivalenten. Das Maß Rohholzäquivalent [m³ (r)] (im Folgenden verkürzt als m³ dargestellt) definiert sich durch die Menge Rohholz, „die zur Herstellung einer Einheit einer speziellen Ware eingesetzt werden muss“ (Dieter, 2006).

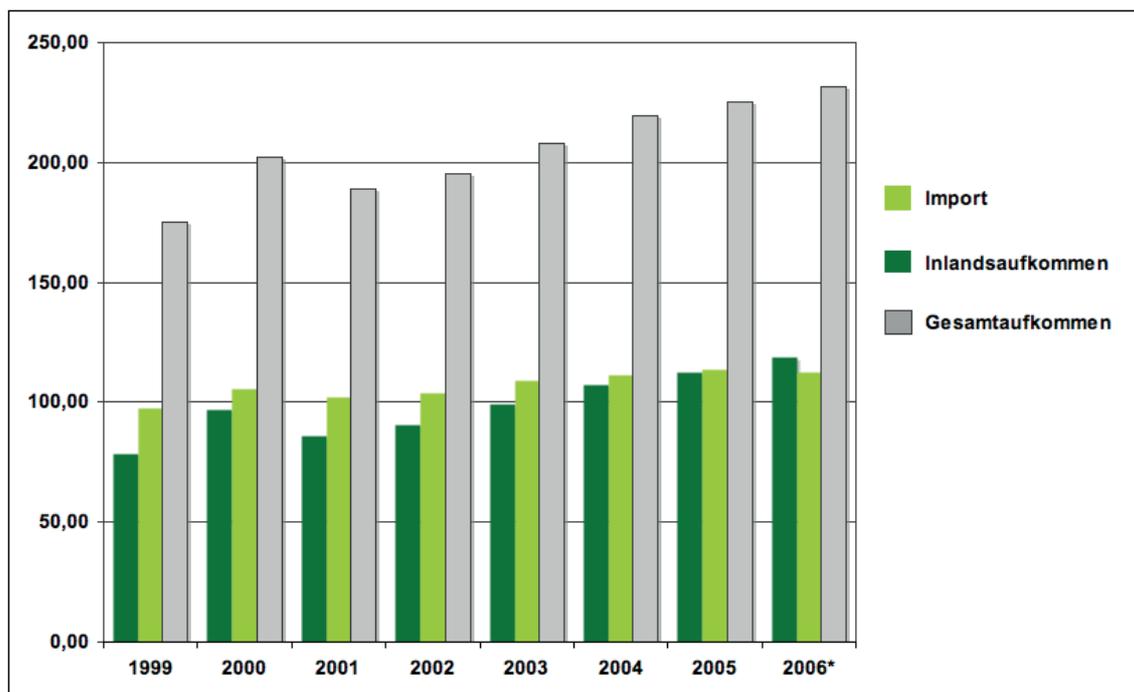


Abbildung 4-1: Überblick über Aufkommen von Holzwaren in Deutschland 1999 bis 2006 [in Mio. m³ (r)]
(Quelle: Wuppertal Institut, basierend auf Dieter 2002, 2003, 2005, 2006, 2007)

* Zahlen für 2006 sind vorläufig.

In [Abbildung 4-1](#) wird das **Gesamtholzaufkommen** in Deutschland dargestellt. Sie gibt einen Überblick über die Entwicklung des Inlandsaufkommens und der Importe in den Jahren 1999 bis 2006. In der [Tabelle 4-1](#) werden weitere Details zu den Aufkommensstrukturen im selben Zeitraum aufgeführt und mit Export- und Verbrauchsdaten zu einer Bilanz zusammengefasst. Auf die Holzverwendung wird in Kapitel 4.2 genauer eingegangen.

Die Daten machen deutlich, dass das Gesamtholzaufkommen, in den letzten Jahren angewachsen ist. Im Jahr 2006 lag es bei 231,8 m³ (r). Das **inländische Holzaufkommen** setzt sich aus 62,3 Mio. m³ Einschlag, 45,1 Mio. m³ Altpapier, 11,3 Mio. m³ statistisch erfasstem Altholz zusammen. Jedoch muss das inländische Holzaufkommen noch um erhebliche **Importmengen** ergänzt werden, denn Deutschland importiert in großem Umfang insbesondere Holzhalb- und Holzfertigwaren (insgesamt ca. 112,5 Mio. m³ im Jahr 2006) (Dieter 2007: 6).

Im Jahr 2006 war Deutschland für Rohholz, Restholz und Holzwaren (Halb- und Fertigwaren) Selbstversorger, denn die mengenmäßige Bilanz von statistisch erfasstem inländischem Aufkommen betrug im Jahr 2006 ca. 118,7 Mio. m³ bei einem rechnerischem Verbrauch (Inlandsaufkommen plus Importe minus Exporte) von ca. 100,5 Mio. m³ (Dieter 2007). Insgesamt sind sowohl Gesamtaufkommen als auch die für den Export bestimmten Holz mengen (ca. 131,3 Mio. m³ im Jahr 2006) gestiegen. Seit dem Jahr 2004 sind letztere größer als die Mengen für den inländischen Verbrauch. Folglich sind auch die Importe in den letzten Jahren gestiegen. Allerdings sind diese im Jahr 2006 erstmals geringer als das stärker gestiegene Inlandsaufkommen (siehe [Abbildung 4-1](#)). Hier wird die Bedeutung der deutschen Wirtschaft als Produzent und Verarbeiter von Holzprodukten deutlich (vgl. auch Mrosek / Kies / Schulte, 2005; Ochs / Duschl / Seintsch, 2007).

Tabelle 4-1: Holzwarenströme in Deutschland [in Mio. m³ Rohholzäquivalente (r)]

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006 ⁴
Gesamtholzaufkommen	175,2	202,3	188,7	195,0	207,8	219,4	225,4	231,8
Inlandsaufkommen	78,1	96,9	85,8	90,6	99,3	107,3	112,1	118,7
Einschlag ¹	37,6	53,7	39,5	42,4	51,2	54,5	56,9	62,3
Altpapier	37,5	39,7	40,1	39,7	39,6	41,5	43,9	45,1
Altholz	3,0	3,5	6,2	8,5	8,5 ⁵	11,3	11,3 ⁵	11,3 ⁵
Import	97,1	105,4	101,7	103,9	108,6	111,4	113,3	112,5
Rohholz	2,9	3,6	3,6	2,7	2,6	2,4	3,4	3,5
Restholz	1,2	1,5	1,4	1,2	1,0	1,6	1,5	1,5
Halbwaren ²	70,3	74,6	71,5	75,7	79,2	82,7	84,3	84,7
Fertigwaren ³	22,8	25,8	25,3	24,3	25,8	24,7	24,1	22,8
Verbrauch⁶	95,1	104,1	96,6	95,4	105,1	106,3	99,5	100,5
Export	80,0	91,9	92,1	99,6	101,5	113,1	125,0	131,3
Rohholz	4,6	5,6	3,6	4,9	4,6	5,6	6,9	6,8
Restholz	3,3	3,0	3,0	3,0	2,9	3,5	3,5	2,9
Halbwaren ²	55,5	63,7	71,5	70,5	72,2	81,1	89,1	91,6
Fertigwaren ³	16,6	19,6	25,3	21,2	21,8	22,9	25,5	29,1
Netto-Import (Import-Export)	17,1	13,5	9,6	4,3	7,1	-1,7	-11,7	-18,8

Quellen: Dieter, 2002, 2003, 2005, 2006, 2007.

1) Es wird hier nur der in der offiziellen Statistik erfasste Wert angegeben, vgl. im Text. Die Zahlen in Tabelle 4-3 (s.u.) umfassen im Gegensatz dazu u.a. auch den nicht erfassten Einschlag und weichen von den hier dargestellten Zahlen ab. Beide Tabellen sind damit nicht vergleichbar.

2) Halbwaren: Schnittholz, Platten, sonst. Halbwaren, Holzschliff, Zellstoff, Altpapier, Papier, Pappe

3) Fertigwaren: Holzwaren incl. Möbel, Papierwaren, Druckerzeugnisse, Sonstiges

4) vorläufige Daten

5) Wert fortgeschrieben

6) Der Verbrauch ergibt sich als rechnerische Restgröße aus der Differenz von Gesamtaufkommen und Export.

Rechnerische Differenzen ergeben sich durch Lagerbestände, die nicht in der Tabelle aufgeführt sind.

Allerdings gibt es **Datenunsicherheiten bei der Einschlagsstatistik**. Nach Erhebungen des Zentrums für Holzwirtschaft an der Universität Hamburg für das Jahr 2004 (und 2005) liegt das tatsächliche Rohholzaufkommen in Deutschland von 64,8 Mio. m³ (68,5 Mio. m³) deutlich höher als der in der amtlichen Statistik angegebene Einschlag von 54,5 Mio. m³ (56,9 Mio. m³) (Holz-Zentralblatt, 2007: 363, vgl. Mantau/Sörgel, 2006). Die Differenz erklärt sich u.a. durch einen offiziell nicht erfassten Einschlag im Kleinprivatwald (Holz für den Eigenbedarf z. B. als Brennholz) oder kleinere Mengen an gehandeltem Holz, die ebenfalls nicht erfasst werden (Mantau/Sörgel, 2006).

Tabelle 4-2: Holzrohstoffaufkommen der Jahre 2002, 2004–2006 [in Mio. Fm]

Inlandsaufkommen	2002 ¹⁾	2004 ¹⁾	2005 ²⁾	2006 ²⁾
Stammholz	30,3	33,6	37,5	41,7
Sonstiges Waldholz ³⁾	24,8	28,1	32,2	34,2
Sägenebenprodukte	10,4	11,8	14,3	16,3
Rinde	2,2	2,4	2,6	2,8
Sonst. Ind.-Restholz	4,1	4,1	3,5	3,9
Altholz	10,0	11,0	12,2	13,2
Landschaftspflegeholz	0,6	0,3	3,5	4,1
Bilanzausgleich	–	–	1,2	0
Summe	82,4	91,4	107,0	116,2

Quellen:
1) Mantau/ Sörgel 2006: 24;
2) Aretz et al. 2008: 11 (nach Mantau 2008)
3) Sonstiges Waldholz setzt sich in Mantau/Sörgel 2006 aus der Summe Industrieholz und Wald-Restholz/Schwachholz zusammen.

Die Unsicherheiten in der Holzeinschlagsstatistik wirken sich auch auf die Potenzialabschätzung aus.

4.1.2 Potenzialabschätzung

Basierend auf den Daten der Bundeswaldinventur wurden in der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM) Szenarien für die mögliche Entwicklung des Rohholzaufkommens für die nächsten rund 40 Jahre (2004–2042) erstellt. Die Bandbreite der Rohholzaufkommensmenge liegt hierbei zwischen dem „Basisszenario“ (bedingt durch die erwartete waldbauliche Praxis sowie eine stetige Entwicklung von Rohholzaufkommen und Holzvorräten) und dem „Szenario F“ (bedingt durch den Abbau von Holzvorräten auf den Stand von 1987).

Während das Basisszenario im betrachteten Zeitraum 2003–2042 ca. 81 Mio. m³ jährliches **Rohholzaufkommen** als Maximum prognostiziert, würden nach „Szenario F“ weit mehr, d. h. ca. 100 Mio. m³ Rohholz als Höchstwert eingeschlagen werden. Es zeigt sich aber, dass sich beide Szenarien im Laufe der Zeit annähern und in den Jahren nach 2025 in etwa gleich verlaufen (siehe [Abbildung 4-2](#)) (Spellmann/Mantau/Polley 2008). Vergleicht man das Basisszenario der Jahre 2003–2022 mit einem entsprechenden Zeitraum davor (1987–2002), ergibt sich ein erhöhtes potenzielles Rohholzaufkommen mit ca. 19 Prozent mehr Nutzungsmenge (Polley und Kroihner 2006: 69). Allerdings zeigt sich, dass zwar die Summe des Rohholzaufkommens langfristig steigt, sich aber das „künftige Nutzungspotenzial in seiner Baumarten-, Durchmesser- und Eigentümerstruktur erheblich vom bisherigen Holzeinschlag“ unterscheiden wird (ebd.).

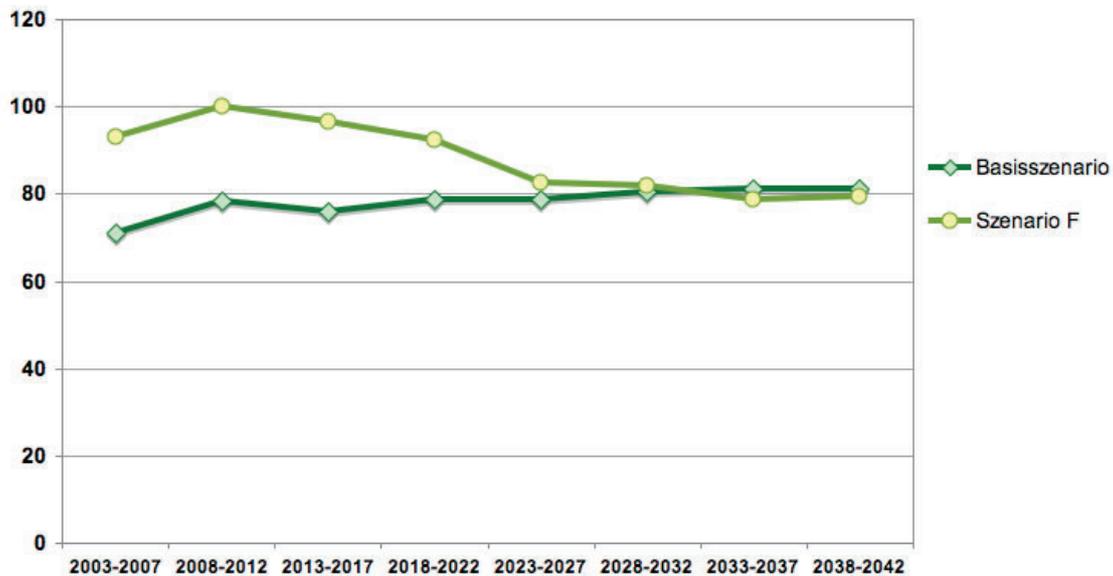


Abbildung 4-2: Potenzielles Rohholzpotenzial: Vergleich Basisszenario und Szenario F, basierend auf BWI 2 und WEHAM für den Zeitraum 2003–2042 in Mio Efm/a (Polley und Kroiher, 2006)

Aufgrund der vielfältigen Einflussmöglichkeiten und Variabilitäten bestehen **Unsicherheiten in der aktuellen Holzpotenzialdarstellung** und damit erheblicher Forschungsbedarf (Mantau/Sörgel, 2006; Mantau et al., 2007). Neben Polley und Kroiher gehen viele der Holzpotenzialstudien von einem zusätzlichem Potenzial der einheimischen Rohholznutzung aus (z. B. Dieter, Englert und Klein 2001, Fritsche u.a. 2004). In den letzten Jahren hat sich die Sichtweise auf die vorhandenen Rohholzpotenziale aber verändert. Zentraler Kritikpunkt ist, dass die eingeschlagenen Mengen in der offiziellen Einschlagsstatistik nur unzureichend erfasst wurden (siehe oben).

Weiteren **Steigerungen des Inlandsaufkommens sind Grenzen gesetzt**, da vor dem Hintergrund der statistischen Variationen zum Waldholzaufkommen davon auszugehen ist, dass bereits mehr Einschlag genutzt wird, als in der offiziellen Statistik erfasst wird (vgl. BMELV, 2007; Mantau/Sörgel, 2006). Insbesondere die Potenziale in den Waldeigentumsformen Staatswald, Landeswald und in größeren Privatwaldgebieten, sind weitgehend ausgeschöpft (Polley/Kroiher, 2006). Hier können in Abhängigkeit der Baumart und Altersklasse nur kleinere Steigerungen erfolgen.

Die Potenziale für eine erhöhte **Rohholzmobilisierung** im Inland liegen hauptsächlich in den kleineren Privatforsten und in bestimmten Waldholzsortimenten. Eine Mobilisierung dieser Potenziale erweist sich jedoch insbesondere im Kleinprivatwald als problematisch, da sich die Fläche von 5 Mio. ha Wald im Besitz von 2 Mio. Waldbesitzern befindet (Mrosek et al., 2005). Fast 60 Prozent der Privatwaldbesitzer haben kleinere Flächen als 20 ha (BMELV, 2004). Die Mobilisierungshemmnisse können aber teilweise mittels technologischer, logistischer und organisatorischer Ansätze überwunden werden, wie z. B. ein Zusammenschluss von Privatwaldbesitzern zu Forstbetriebsgemeinschaften, der eine Holzmobilisierung in Kleinprivatwäldern bewirken könnte.

Die größten Potenziale sind im Bereich des **Waldrestholzes** (nicht genutztes Derbholz) zu finden. Jedoch sind hier geminderte Nutzungsanteile auf Grund ökonomischer und ökologischer Nachteile zu beachten (Mantau, 2006; Kändler, 2006). Das Öko Institut geht in einer Studie zu nachhaltiger Biomasse von einem energetisch nutzbaren Waldrest- und Schwachholzpotezial in 2005 von insgesamt 16,59 Millionen t_{atro} pro Jahr aus (Eiche 0,94; Buche 4,65; Fichte 7,25; Kiefer 3,75). Das Aufkommen ist abhängig von den Baumarten, dem Rohholzaufkommen und den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, denn Rest- und Schwachholz fällt nur in Abhängigkeit zum Einschlag an, der wiederum Wirtschaftlichkeitskriterien unterliegt (Fritsche et al., 2004). Eine erhöhte Rohholzmobilisierung wird durch regional unterschiedliche Rohholzaufkommen (siehe Polley/Kroiher, 2006), die forstpolitische Situation und gesellschaftliche Strukturen einer Region beeinflusst (siehe u.a. UNI Göttingen, 2006). Hinsichtlich der Mobilisierung von Waldrestholz sollten mögliche ökologische Nachteile oder eine Beeinträchtigung der langfristigen Erträge berücksichtigt werden. Beispielsweise ist es für die Sicherung des Nährstoffkreislaufes wichtig, dass Wurzeln und Blätter auf der Fläche verbleiben. Um Bodenerosion und -verdichtung zu vermeiden und die Bodenfruchtbarkeit nicht zu beeinträchtigen, sollte die Nutzungsrate von Waldrestholz standortspezifisch angemessen sein.

In den letzten Jahren gewinnt **Agrarholz**, d. h. die Holznutzung aus Agroforstsystemen (Kombination aus forst- und landwirtschaftlichen Elementen) und Kurzumtriebsplantagen (KUP) (schnellwachsende Hölzer), an Bedeutung. Es eignet sich sowohl für die stoffliche als auch die energetische Nutzung. Während im Jahr 2003 in Europa ca. 2 Mio. t Energieholz aus landwirtschaftlichen Flächen genutzt wurde (KOM, 2005: 22), ist der Anbau von Agrarholz in Deutschland bisher eher auf Versuchsflächen beschränkt (FNR 2007, Nitsch 2008: 76, Murach et al. 2007). Für das Jahr 2020 geht Nitsch (2008: 76) von einem energetischen Nutzungspotenzial von 0,45 Mio. ha Fläche für Kurzumtriebsplantagen aus. Die Mobilisierung von bestehenden Potenzialen für eine erhöhte Nutzung (vgl. EEA, 2006; Knoll/Rupp, 2007) wird hier von Hemmnissen wie z. B. Mentalitäts- und Rentabilitätsbarrieren bei Landwirten (aufgrund eines mehrjährigen Vorlaufs von mind. 4 Jahren und einer mehrjährigen Festlegung), hinreichende Bereitstellung von Pflänzlingen oder der Nachholbedarf in der Züchtungsforschung entgegen (Knoll/Rupp, 2007; Große, 2006) begleitet.

Das Aufkommen der **Sekundärrohstoffe Altpapier und Altholz** ist von Konjunktur u.a. der Papier- und Druckbranche bzw. der Baubranche abhängig. Das Altpapieraufkommen aus dem Inland ist nach der Langzeitreihe der Holzbilanz (Dieter 2007) seit 1950 insbesondere seit den 1990er Jahren stark angestiegen. Während im Jahr 1950 ca. 1,2 Mio. m³ (r) Altpapier aufkamen, waren es 1990 ca. 18,4 Mio. m³ (r) (ebd.: Anhang Tabelle 3). Aktuell beträgt das Aufkommen 45,1 Mio. m³ (r) bezogen auf das Jahr 2006 (ebd.: Anhang Tabelle 1). Auch das inländische Altholzaufkommen ist in den Jahren 1999–2006 von 3,0 Mio. m³ (r) auf 13,2 Mio. m³ (r) gestiegen (Dieter 2002, 2003, 2005, 2006, Mantau 2008).

Zur Abschätzung der **Importe** dient das Verhältnis von Holzaufkommen und -verwendung, für das zukünftig zu erwarten ist, dass einerseits die Inlandsverwendung von Rohholz für energetische und stoffliche Zwecke deutlich steigen wird (siehe Kap. 4.2), und sich andererseits das inländische Rohholzaufkommen bis 2030 nur leicht erhöhen wird. Basierend auf den Trendentwicklungen der zu erwartenden Holzstrommengen bis 2030 ist davon auszugehen, dass die steigende Differenz zwischen inländischem Rohholzaufkommen und deutlich zunehmender Rohholzverwendung im Wesentlichen durch Importe gedeckt werden wird. Somit würde die Inanspruchnahme von Waldflächen im Ausland zunehmen. Eine weitere Förderung der inländischen Nachfrage nach

forstwirtschaftlichen Produkten sollte von einer Untersuchung der relevanten globalen Auswirkungen abhängig gemacht werden und insbesondere effizientere Nutzungssysteme (einschließlich der Optionen der Kaskadennutzung) anstreben. Besondere Beachtung erfordern auch jene Holzimporte, die auf illegalem Einschlag und nicht nachhaltiger Produktion beruhen.

Zusammenfassend scheint eine Erhöhung des inländischen Holzangebotes insgesamt z. B. mit einer veränderten Waldbewirtschaftung, Agrarholzanbau oder der Rohholzmobilisierung bisher wenig/ungenutzter Waldflächen möglich. Ebenso haben neben den regional unterschiedlichen Holzaufkommen (siehe Polley/Kroiher, 2006) die forstpolitische Situation und gesellschaftliche Strukturen einer Region (siehe u.a. UNI Göttingen, 2006) sowie Klimaveränderungen und neuartige Waldschäden einen Einfluss auf das Rohholzaufkommen (Behrendt et al., 2007). Zudem ist zu erwarten, dass das Potenzial des Anbaus von holzartiger Biomasse auf landwirtschaftlichen Flächen (z. B. in Kurzumtriebsplantagen) erst mittel- bis langfristig zu einem veränderten Angebot von energetisch und stofflich nutzbarem Holz führen könnte. Einschränkend ist zu sagen, dass sich mit der aktuellen Konjunkturkrise, der Außenhandel und das Aufkommen an Sekundärrohstoffen (Altpapier und Altholz) eher verringern werden.

4.2 Verwendung von Holz

Holzrohstoffe werden zur Herstellung von Halb- und Fertigwaren (Holzwaren) verwendet. Bei deren Produktion fallen Reststoffe an, die ebenso wie die Holzwaren stofflich verwendet oder schließlich energetisch verwertet werden können. Aus Rohholz (Stamm- und Industrieholz), Industrierestholz, weiteren Waldholzaufkommen (Rinde, Schwachholz, Landschaftspflegematerial) und anderen Rohstoffen wie Altholz werden Halbwaren wie Schnittholz, Holzwerkstoffe (Platten, Furnier, Sperrholz), Holz- und Zellstoff und andere Halbwaren hergestellt. Halbwaren und anfallende Reststoffe (Sägenebenprodukte) werden beispielsweise zu Fertigwaren im Baubereich, der Möbelindustrie sowie für Verpackungen und Transport weiter verarbeitet (Mantau/Sörgel, 2006).

In diesem Abschnitt werden zudem die beiden wichtigsten Verwendungsfelder der Holznutzung in Deutschland beschrieben: verschiedene Holzprodukte, sowie die Verwendung von Papier, Pappe, Karton und Chemiezellulose. Die energetische Holzverwendung wird im folgenden Kapitel 5 genauer dargestellt.

4.2.1 Holzrohstoffverwendung

Mantau und Sörgel geben einen Überblick über die Verwendung der in Deutschland verfügbaren Holzrohstoffe für die Herstellung von Halbwaren im Jahr 2004 (Mantau/Sörgel, 2006). [Tabelle 4-3](#) fasst die aktuelle Holzrohstoffbilanz aus dem Jahr 2004 zusammen (Methodik siehe Kasten in Kapitel 4.1.1). [Abbildung 4-3](#) gibt einen zeitlichen Überblick für die Jahre 1987–2010.

Tabelle 4-3: Verwendung von Holzrohstoffen 2004 in Deutschland [in Mio. m³]**

Holzrohstoff- sortimente	Σ Rohstoff- aufkommen*	Stoffliche Verwendung				Energetische Verwendung		
		HuZ	HWS	SÄG	SsV	>1MW	<1MW	HBR
Stammholz	33,6	-	-	33,3	0,3	-	-	-
Industrieholz	21,0	5,2	10,0	0,1	0,2	0,2	-	5,4
Wald-Restholz/ Schwachholz	7,1	-	-	-	-	-	1,2	5,4
Sägenebenprodukte	11,8	3,3	5,9	0,2	0,3	1,3	0,4	0,4
Rinde	2,4	-	-	-	1,6	0,5	0,3	-
Sonst. Ind.-Restholz	4,1	-	0,9	-	0,1	2,8	0,4	-
Altholz	11,0	-	2,6	-	0,3	5,8	1,2	1,2
Landschaftspflegeholz	0,3	-	-	-	-	0,2	0,1	-
Summe		8,5	19,4	33,6	2,7	11,3	3,6	12,3
Gesamtsumme	91,4	64,2				27,2		

Quelle: Mantau/Sörgel, 2006
 HuZ = Holzstoff und Zellstoff; HWS = Holzwerkstoffe; SÄG = Sägeindustrie; SsV = Sonstige stoffliche Verwendung;
 > 1 MW = Anlagen größer 1 MW; < 1 MW = Anlagen kleiner 1 MW; HBR = Hausbrand.

*) Das Aufkommen umfasst den statistisch erfassten Einschlag, den nicht erfassten Einschlag sowie die Im- und Exporte der jeweiligen Rohstoffsportimente. Altpapier ist nicht aufgeführt, da es Holzware aber kein Rohholz ist.

**) Die Angaben in Mio. m³ entsprechen Mio. Festmetern (Fm) (siehe Mantau/Sörgel 2006).

Die Rohstoffverwendung betrug im Jahr 2004 insgesamt 91,4 Mio. m³.³ Davon wurden ca. 70 Prozent stofflich (64,2 Mio. m³) und ca. 30 Prozent energetisch (27,2 Mio. m³) genutzt (Mantau/Sörgel, 2006). [Abbildung 4-2](#) stellt die (zukünftige) Entwicklung der Holzrohstoffverwendung für die Jahre 1987 bis 2010 dar (nach Mantau 2008). Es zeigt sich ein kontinuierlicher Anstieg der Holzrohstoffverwendung mit einer überwiegend stofflichen Nutzung. In den letzten Jahren hat sich das Verhältnis in Richtung einer erhöhten energetischen Nutzung verschoben (Mantau et al., 2007, Mantau 2008). Im Jahr 2000 wurden ca. 71 Prozent (50 Mio. Fm) stofflich und 29 Prozent (20 Mio. Fm) Holzrohstoffe energetisch genutzt (Mantau 2008). Im Jahr 2007 hat sich die Menge der energetisch genutzten Holzrohstoffe mehr als verdoppelt, sodass sich das Verhältnis auf 62,5 Prozent (75 Mio. Fm stofflich) zu 37,5 Prozent (45 Mio. Fm energetisch) verschoben hat, bei einer insgesamt gestiegenen Holzrohstoffnutzung (2000: 70 Mio. Fm auf 2007: 120 Mio. Fm) (ebd.).

Die differenzierte Betrachtung der Holzrohstoffverwendung verdeutlicht für das Jahr 2004 (siehe [Tabelle 4-3](#)) und im Trend für die zwei folgenden Jahre (siehe [Tabelle 4-4](#)), dass hinsichtlich der stofflichen Verwendung (64,2 Mio. m³) die Sägeindustrie den größten Anteil mit 52 Prozent (33,6

3 Im Vergleich zum inländischen **Holzaufkommen** (siehe [Tabelle 4-1](#)) ergibt sich ein geringeres Inlandsaufkommen für **Holzrohstoffe** (siehe [Tabelle 4-3](#)), da – trotz zusätzlich erfasster Aufkommen (nicht erfasster Einschlag, Sägenebenprodukte, Rinde und Landschaftspflegematerial) – Altpapier als wichtiger Holzstrom nicht als **Holzrohstoff** aufgeführt wird.

Tabelle 4-4: Holzrohstoffverwendung der Jahre 2005-2006 nach Mantau 2008 [in Mio. Fm]

Verwendung	2004	2005	2006
Sägeindustrie	33,4	37,2	41,4
Holzwerkstoffe	17,5	17,4	17,8
Zellstoff/Holzstoff	8,5	9,8	10,6
Sonst. stoffliche Verwendung	1,7	1,9	2,1
Energetisch > 1 MW	11,8	13,4	14,9
Energetisch < 1 MW	6,0	6,6	7,6
Hausbrand	14,7	20,7	21,5
Bilanzausgleich	0	0	0,3
Summe	93,6	107,0	116,2
Quelle: Aretz et al. 2008: 11 (nach Mantau 2008)			

Mio. m³) hatte. In den Jahren 2005-2006 nahm diese Verwendung weiter zu, sodass 2006 der Anteil auf ca. 58 Prozent stieg. In der Holzwerkstoffindustrie wurden nach Mantau/Sörgel (2006: 23) im Jahr 2004 19,4 Mio. m³ (30 Prozent) überwiegend für die Möbelproduktion eingesetzt. Nach Mantau 2008 (in Aretz et al. 2008: 11) sind die Mengen hier geringer (17,5 Mio. Fm) und in den folgenden Jahren gering steigend (17,8 Mio. Fm). In der Papier- und Zellstoffindustrie wurden im Jahr 2004 8,5 Mio. m³ Holzrohstoffe (13 Prozent) verwendet (Mantau/Sörgel, 2006), in der darüber hinaus ein hoher Anteil Altpapier eingesetzt wird. Von den 41,5 Mio. m³ Altpapier im Jahr 2004 (Inlandsaufkommen, wird in [Tabelle 4-3](#) nicht dargestellt) wurden 11,8 Mio. m³ exportiert, d. h. 29,7 Mio. m³ inländisches Altpapier wurden in der Papierindustrie verwendet (Dieter, 2006). Auch die Verwendung von Zellstoff/Holzstoff ist in den Jahren 2005–2006 gestiegen (10,6 Mio. Fm bzw. 15 Prozent) (nach Mantau 2008). Altholz wurde überwiegend energetisch genutzt. Die stoffliche Altholznutzung ist auf die Verwendung in der Holzwerkstoffindustrie (Herstellung von Spanplatten) beschränkt (Mantau/Sörgel 2006). Eine Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (2007) prognostiziert eine nahezu ausschließliche energetische Altholzverwertung, da vor dem Hintergrund gesetzlicher Neuregelungen (TA Siedlungsabfall, EEG) hohe Überkapazitäten in Altholzverbrennungsanlagen aufgebaut wurden (UBA 2007: 28 f.).

Für das Jahr 2008 gab der Branchenverband der deutschen Holz- und Möbelindustrie (HDH/VDM) einen insgesamt gesunkenen Umsatz von 1,8 Prozent bekannt. Insbesondere bei den Sägewerken (10,9 Prozent) und bei der Holzwerkstoffindustrie (9,3 Prozent) verzeichnete er einen starken Umsatzrückgang (HDH 2009).

Große und mittlere Heiz- und Kraftwerke (> 1MW) wiesen im Jahr 2004 einen energetischen Rohholzbedarf von 11,3 Mio. m³ auf, in denen auch Altholz im Umfang von 5,8 Mio. m³ energetisch verwertet wurde. Der Rohholzbedarf kleiner Heiz- und Kraftwerke (< 1MW) betrug dagegen 3,6 Mio. m³. Mit insgesamt 12,3 Mio. m³ pro Jahr wurde der private Rohholzbedarf von Haushalten beziffert. Dabei hat das Waldscheitholz den größten, der private Pelletverbrauch dagegen nur einen geringen Anteil (Mantau/Sörgel, 2006). Auf die weitere energetische Holzverwendung wird in Kapitel 5 genauer eingegangen.

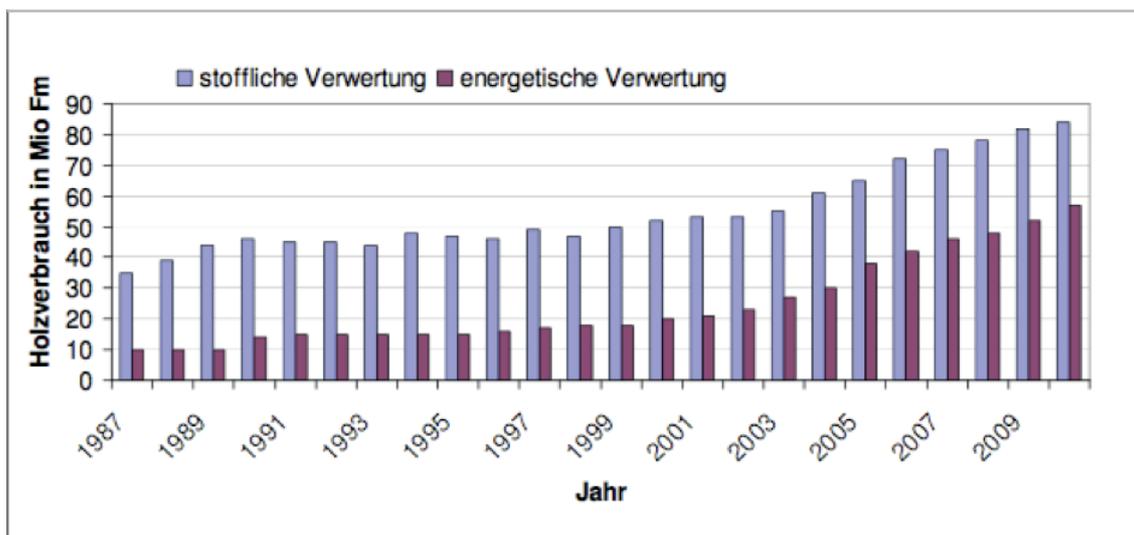


Abbildung 4-3: Entwicklung der Holzrohstoffverwendung 1987–2010 (Quelle: Mantau 2008)

4.2.2 Holznutzung nach Verwendungsbereichen

Die weitere Betrachtung der Stoffströme erweist sich durch eine Vielfalt an Gütern und einem hohen intersektoralen Güteraustausch der Holzhalbwaren zur Fertigwarenproduktion als schwierig. Mantau/Bilitewski, 2005, haben in einer methodischen Studie die Bedingungen eines „Stoffstrom-Modell-Holz“ für den Kreislauf von Holzprodukten untersucht und für das Jahr 2002 beispielhaft die Verknüpfung von Holzrohstoffaufkommen, Holzhalbwarenproduktion, Produktion von Holzfertigwaren sowie Einfuhr, Entsorgung inkl. Abfallstatistik für Altholz erarbeitet (siehe [Tabelle 4-5](#)).

Tabelle 4-5: Verwendung von Halbwaren im Jahr 2002 in Deutschland [in Mio. m³]

2002	Schnittholz		Furniere und Sperrholz		Platten		Halbwaren gesamt	
	in Mio. m ³	in %						
Baubereich	14,309	62,3	0,553	45,1	2,687	23,1	17,548	49,0
Möbel	2,362	10,3	0,440	35,9	8,647	74,3	11,449	32,0
Verpackung	4,938	21,5	0,211	17,2	0,136	1,2	5,285	14,8
Sonstiges	1,351	5,9	0,022	1,8	0,168	1,4	1,541	4,3
Summe	22,959	100,0	1,226	100,0	11,638	100,0	35,823	100,0
Summenanteil		64,1		3,4		32,5		100,0

Quelle: Mantau/Bilitewski, 2005

Insgesamt wurden im Jahr 2002 35,8 Mio. m³ Halbwaren für die Produktion von Fertigwaren verwendet (Mantau / Bilitewski, 2005) (siehe [Tabelle 4-5](#)).⁴ Holzhalbwaren verteilen sich im Jahr 2002 in Deutschland zu ca. 96 Prozent auf die folgenden Bereiche (Mantau / Bilitewski, 2005):

- Baubereich (u.a. Innenausbau, Konstruktion, inkl. Naturdämmstoffe),
- Möbelfertigung,
- Verpackungsmaterialien (u.a. Kisten und Paletten).

Zudem wird Papier als Rohstoff eingesetzt.

Baubereich

Holz ist der im **Baubereich** am stärksten eingesetzte nachwachsende Rohstoff (Deimling / Vetter, 2000: 1). Knapp die Hälfte der Halbwaren werden im Bausektor verarbeitet. Im Jahr 2002 entsprach dies einer Menge von 17,6 Mio. m³, wobei Schnittholz mit über 62 Prozent den größten Anteil ausmachte (siehe [Tabelle 4-5](#)). Die Verwendung von Schnittholz im Baubereich lässt sich beispielhaft für das Jahr 2003 verdeutlichen (Mantau, 2005b). Ca. 75 Prozent wurden für den Wohnungsbau genutzt (9,7 Mio. m³), darunter für den Wohnungsneubau 4,25 Mio. m³ und für die Wohnungsmodernisierung 5,43 Mio. m³ (ebd.). Schnittholz wird außerdem im Nichtwohnbau (3,3 Mio. m³) und im Tiefbau (2,0 Mio. m³ (ebd.) verwendet.

Die Verwendung von Holzwerkstoffen wird im Wesentlichen durch die Technologieentwicklungen und Vermarktung für die Verwendung von Holz, spezifische Marktanzreizprogramme des Baubereichs und vor allem auch durch die Baukonjunktur beeinflusst. Im Kontext der schlechten Konjunktur im Bausektor in den letzten Jahren ergaben sich steigende Absatzpotenziale insbesondere nur für Hölzer mit höheren Querschnitten und veredelte Produkte wie Duo-Triobalken, Thermoholz oder Brettschichtholz (Fornfeld et al., 2004: 54). 2005 entstand eine zunehmende Nachfrage nach Holzprodukten im Holzfertigbau (plus 7,5 Prozent) bedingt durch die starke Position der Energiesparhäuser (Bauzentrale 2006).

Eine weitere Verwendung von Holz im Baubereich sind **Naturdämmstoffe**, die aus Holzabfällen oder Altpapier oder aus pflanzlichen Fasern hergestellt werden. Naturdämmstoffe tragen aktuell mit einem Volumen von 1,3 Mio. m³ pro Jahr zu fünf Prozent zum gesamten deutschen Dämmstoff-Markt bei. Zellulose-Dämmstoffe tragen 32 Prozent und Holz-Dämmstoffe 48 Prozent Anteil an Naturdämmstoffen in Deutschland im Jahr 2004. Die restlichen 20 Prozent entfallen auf andere Naturmaterialien wie Flachs- und Hanf-Dämmstoffe.

Möbel

In der Möbelfertigung in Deutschland lag der Bedarf an Holzhalbwaren im Jahr 2002 bei 11,5 Mio. m³. Dies sind 32 Prozent der verwendeten Holzhalbwaren (siehe [Tabelle 4-5](#)). Gemessen an den Umsatz- und Beschäftigtenzahlen (103.180 Beschäftigte in 2007) ist die Möbelindustrie das wichtigste Standbein der Holz- und Möbelindustrie (HDH, 2006). Im Jahr 2008 ging der Umsatz der

4 Die Menge produzierter Holzfertigwaren resultiert aus der eingesetzten Rohstoffmenge, Halbwaren-Nettoimporten und Fertigwarenimporten abzüglich anfallender Reststoffe, Verdichtungsfaktoren sowie Produktionsverlusten. Zu den Rohstoffen zählen Stamm- und Industrieholz, Sägebenebenprodukte, Industrierestholz und Gebrauchtholz (Mantau / Bilitewski, 2005).

gesamten Holzindustrie in Deutschland aufgrund eines sinkenden Außenhandels und einer nachlassenden Dynamik um ca. 1,8 Prozent zurück (HDH 2009). Die Möbelindustrie hingegen hat 2008 ihren Umsatz gegenüber dem Vorjahr um 1,6 Prozent auf 15,9 Mrd. Euro gesteigert (HDH, 2009). Allerdings ist die Konsolidierungsphase der Branche nach einem Umsatzrückgang in den Jahren 2000–2003 nicht abgeschlossen (ebd.). Es ist zu erwarten, dass im Kontext der Finanzkrise Umsatzeinbrüche entstehen werden.

Verpackungen

Der Bedarf an Holzhalbwaren für die Herstellung von **Verpackungen** (wie z. B. Paletten, Kisten, Kabeltrommeln) lag im Jahr 2002 bei 5,3 Mio. m³. Die Palettenproduktion legte 2005 mengenmäßig im Vergleich zum Vorjahr um 1,8 Prozent zu. Die Hersteller von Kisten und anderen Holzverpackungen verzeichneten in 2005 ein Produktionsplus von 8,6 Prozent. Im Bereich Verpackungen wurde in 2005 ein Umsatzzuwachs von 6,9 Prozent auf 898 Mio. Euro erzielt, von denen 804 Mio. Euro (+ 7,3 Prozent) auf den Inlandsumsatz und 94 Mio. Euro (+ 3,1 Prozent) auf den ausländischen Umsatz entfielen. Parallel zeigte sich hinsichtlich der Zahl der Beschäftigten ebenfalls einen Aufwärtstrend (Anstieg um 3,9 Prozent auf 5.800 Beschäftigte). Die positive Entwicklung ist in erster Linie in der Exportkonjunktur der deutschen Wirtschaft und der daraus resultierenden Nachfrage nach Holzpackmitteln und Verpackungsdienstleistungen begründet (HPE, 2006). Auch im Jahr 2008 steigerte die Branche ihren Umsatz um 18,3 Prozent (HDH 2009).

Papierwaren und Zellulose

Für die Herstellung von **Papier, Pappe, Karton** umfassten die Materialinputs von inländischem Holz und Sägenebenprodukten für die inländische Zellstoff- und Holzstoffproduktion, den Netto-Außenhandel mit Zellstoff und Holzstoff sowie dem Inlandsverbrauch von Altpapier ca. 13 Mio. t im Jahr 2004. Chemiezellulose hat im Vergleich einen mengenmäßig geringen Umfang von ca. 0,3 Mio. t.

Der **Zellstoff**verbrauch in Deutschland lag 2004 bei 4,8 Mio. t. Der **Holzstoff**verbrauch lag dagegen im gleichen Jahr bei 1,5 Mio. t. Energiekosten und der Papierverbrauch in Abhängigkeit von der konjunkturellen Entwicklung sind die Haupteinflussfaktoren für den Verbrauch. Der Hauptrohstoff für die Zellstoffindustrie ist zu 73 Prozent Altpapier (Statistisches Bundesamt, 2006).

Die Verfahren für Holz- und Zellstoffherstellung, Altpapieraufbereitung und Papierherstellung sind etabliert. Bei der Papierherstellung ist Deutschland Marktführer in der EU-25. Technologisch sind in diesem Bereich keine signifikanten Entwicklungen zu erwarten.

In der Zellstoff- und Papierindustrie Deutschlands gab es im Jahr 2004 ca. 45.000 Beschäftigte (VDP, 2006). Die Zahl wird durch weitere ca. 2.500 Arbeitsplätze der Holzbereitstellung für Holz- und Zellstoffe ergänzt (Meó et al., 2006).

Die Faserstoffproduktion in Deutschland basiert auf relativ hohen Rohstoffimporten. Insgesamt wurden 2004 ca. 60 Prozent der Faserstoffe importiert und ca. 90 Prozent des Holzstoffs für die Faserproduktion stammt aus einheimischer Produktion. Der Anteil des einheimischen Zellstoffs beträgt hingegen nur 25 Prozent (Meó et al., 2006).

Ein geringer Anteil der Zellulose wird als **Chemiezellulose** eingesetzt. Der überwiegende Teil (97,5 Prozent) der Zellulose wird in der Papierindustrie eingesetzt. Lediglich 2,5 Prozent gehen in die Chemieindustrie und werden als Chemiezellulose für die Herstellung von u.a. Textilfasern, Bauhilfsstoffen, Verdickern oder Bindemittel verwendet (Meó et al., 2006). Der Bedarf von 320.000 t Chemiezellulose in Deutschland wird zu 100 Prozent über Importe aus Nord- und Südamerika, Südafrika, Skandinavien und anderer europäischer Länder gedeckt.

Die Herstellung von Chemiezellulose durch thermokatalytische Verfahren ist mit beträchtlichen Emissionen und einem hohen Energieverbrauch verbunden. Der Einsatz von Zellulose in der chemischen Industrie ist an hohe Anforderungen bzgl. Preis, Verfügbarkeit, Qualität sowie Möglichkeiten zur Weiterverarbeitung geknüpft, da sie ansonsten sehr leicht durch fossile Rohstoffe zu ersetzen ist (Meó et al., 2006).

Um eine Umorientierung von Petrochemie (Erdöl basiert) auf Nawaro-Chemie zu realisieren, ist eine grundlegende Veränderung wirtschaftlicher und technologischer Rahmenbedingungen notwendig: Die Entwicklung neuer Produktstambäume und Anwendungen, neue, komplexe Technologien (Bioraffinerie) und Logistiksysteme für eine dezentrale Standortstruktur sind notwendig (Meó et al., 2006).

4.2.3 Szenarien für die Holzverwendung

Mantau et al., 2007 haben Szenarien basierend auf der „European Forest Sector Outlook Study“ (EFSOS) (UNECE, 2005) entworfen. Mantau et al., 2007 berechnen zum einen die Mengen der stofflichen Holzrohstoffverwendungen der holzbasierten Industrie für die Jahre 2010 und 2020. Dazu kommen die Holzrohstoffmengen für die energetische Nutzung. Hierfür bewerten Mantau et al., 2007, die nationalen und europäischen energiepolitische Ziele hinsichtlich erneuerbarer Energie, Bioenergie und (falls verfügbar) Holzenergie für 2020 und übersetzen diese Ziele über einfache und transparente Annahmen (z. B. der Anteil von Holz an Bioenergie bleibt auf dem Niveau von 2005) in Holzrohstoffmengen für die energetische Nutzung. Die stofflichen und energetischen Nutzungen werden dann für das „business as usual“ Szenario addiert. Für ein zweites, realistischeres Szenario, das die Entwicklung der anderen erneuerbaren Energien, Effizienzsteigerungen sowie Preisentwicklungen berücksichtigt, gehen Mantau et al. hinsichtlich der Holzenergie von einer um 25 Prozent reduzierten Mengenentwicklung aus (Mantau et al., 2007). Dieses „75 Prozent Szenario“ soll im Folgenden als BAU I bezeichnet werden, während das erste Szenario (Business as usual) als BAU II bezeichnet werden soll. [Tabelle 4-6](#) stellt die Holzrohstoffbilanz für Deutschland in 2005 und als BAU I und II für die Jahre 2010, 2020, 2030 dar. Die Mengenangaben für 2010 sowie 2030 ergeben sich aus Inter- bzw. Extrapolation der Angaben von Mantau et al., 2007.

Insgesamt wird sich demnach das Holzrohstoffaufkommen bis 2020 (und 2030) unter der Annahme gleich bleibender Wachstumsraten für Rohholzaufkommen und Außenhandel nur leicht erhöhen (Mantau et al., 2007).

Die Holzrohstoffverwendung in der Holz- und Forstwirtschaft wird langfristig durch eine Reihe von Einflussfaktoren bestimmt (Detten, 2007; Behrendt et al., 2007). Die inländische Nachfrage

Tabelle 4-6: Holzrohstoffbilanz, 2005 und BAU I und II für 2010, 2020 und 2030 [in Mio. m³]

	2005	BAU I			BAU II		
		2010	2020	2030	2010	2020	2030
Holzrohstoffaufkommen¹	107	108	109	110	108	109	110
Holzrohstoffverwendung	111	114	144	174	128	168	207
Stofflich	69,7	70,5	72,3	74,1	70,5	72,3	74,1
Sägeindustrie	36,7	36,1	34,8	33,5	36,1	34,8	33,5
Holzwerkstoffe	20,5	22,4	26,6	30,8	22,4	26,6	30,8
Holz- und Zellstoff	10,3	9,8	8,7	7,6	9,8	8,7	7,6
Sonstige	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Energetisch²	40,9	43,5	71,7	99,9	58,0	95,6	133,2
Bilanz³	-3	-6	-45	-64	-20	-57	-97

Quelle: Mantau et al., 2007, und eigene Berechnungen (Interpolation für BAU I 2010, Extrapolation für BAU I und II 2030)

1) Die Position des Holzrohstoffaufkommens basiert auf den Annahmen der EFSO-Studie und denen von Mantau et al., 2007. Sie beinhaltet Außenhandel und Lagerbestandsänderungen. In den Szenarien sind aber keine Preiseffekte oder eine zusätzliche Rohstoffmobilisierung erfasst, die durch die angenommene Nachfragersteigerung zur Erfüllung der energiepolitischen Ziele induziert würden.

Für das Jahr 2005 wird davon ausgegangen, dass – wie im Jahr 2004 – das Aufkommen an Waldrestholz/Schwachholz, Sägebenebenprodukten, Rinde, sonstigem Industrierestholz und Landschaftspflegeholz insgesamt bei 25,7 m³ liegt.

Für den statistisch bislang nicht erfassten Holzeinschlag in kleinen Privatwäldern wird ein zusätzliches Aufkommen an Holzrohstoff in gleicher Größenordnung (25,7 m³) unterstellt. Ferner wird davon ausgegangen, dass sich das Gesamtaufkommen in den folgenden Jahrzehnten nicht wesentlich steigern lässt.

2) Bei der Verwendung der Rohstoffe wurde bereits für das Jahr 2005 vor allem die energetische Verwendung um ein Drittel nach oben korrigiert und die stoffliche Verwendung um ein Zehntel, um die Verwendung des statistisch nicht erfassten Holzeinschlags abzubilden. Die energetische Verwendung in den Szenarien ab 2010 beinhaltet zusätzlich zu den in der EFSO-Studie angenommenen Mengen auch die Mengen, die zur Erfüllung der energiepolitischen Ziele erforderlich wären, BAU I zu 75 Prozent, BAU II zu 100 Prozent.

3) Die Bilanz stellt somit eine rein rechnerische Größe dar, die sich aus der Differenz der in der EFSO-Studie angenommenen Aufkommen und von Mantau et al. (2007) angenommenen Verwendung ergibt. Da weder Preiseffekte noch eine zusätzliche Rohstoffmobilisierung in die Szenarien eingegangen sind, spiegelt die Bilanz die statistisch nicht erfassten Größen und eine theoretische „Versorgungslücke“ dar, die in der Realität durch Importe, Rohstoffmobilisierung oder eine Reduktion der Verwendung geschlossen werden würde. Die Bilanz kann – wegen einer „Lücke“ im Aufkommen, die auf statistisch nicht erfasste Rohholzströme hinweist, oder einer Überschätzung der Verwendung (wegen falscher Umrechnungsfaktoren oder Effizienzraten in der Holzindustrie) – unausgeglichen bleiben, wie z. B. im Jahr 2005 (Mantau et al., 2007). Genauere Ursachen sind nach Mantau et al. (2007) aufgrund z.T. mangelnder Daten in den verschiedenen Ländern und fehlender globaler Umrechnungsfaktoren nicht analysierbar. Auch nationale Analysen der Bilanz für Deutschland sind in Mantau et al. 2007 nicht enthalten. Werte für das Jahr 2004 sind in Tabelle 4-3 aufgeführt.

nach Holz und Holzprodukten wird, trotz einer stagnierenden Entwicklung bei rein konjunktureller Betrachtung, langfristig weiterhin steigen. Durch den starken Anstieg der Energiepreise wird die stoffliche und energetische Holznutzung insgesamt wettbewerbsfähiger und zudem werden Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsaspekte eine Rolle für die zukünftige Binnennachfrage spielen. Die langfristige Entwicklung der energetischen Holznutzung ist aufgrund der unklaren Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Biomasse-Energieträgern ungewiss (Detten, 2007).

Der Außenhandel der deutschen Holzindustrie wird aufgrund der globalen Nachfrage nach deutschen Holz und Holzprodukten kontinuierlich und deutlich wachsen. Gleichzeitig wächst auch der Konkurrenzdruck durch Angebote aus ausländischer Plantagenwirtschaft mit niedrigen Lohn- und Rohstoffkosten. Wie sich der Ölpreis langfristig als ein wichtiger Einflussfaktor entwickeln wird, ist unklar (Detten, 2007).

Die heutigen Trends einer sich verändernden Struktur der Holzindustrie setzen sich bis nach 2020 fort. Einerseits finden Konzentrationsprozesse in der Holzindustrie statt (wachsende Verarbeitungsvolumen oder -kapazitäten in Unternehmen) und andererseits eine Ausdifferenzierung in Global Player und Nischenanbieter. Die Technologieentwicklung beeinflusst die Struktur der Holzindustrie langfristig durch die Entstehung neuer Produktionsbereiche durch Produkte wie hybride Werkstoffe und der Holzverwendung in der chemischen Industrie („Entnaturierung von Holz“) und Anwendungen in Systemlösungen (Detten, 2007; Behrendt, et al. 2007). Der Wandel von Lebensstilen wirkt sich nach Behrendt et al., 2007, durch neue Zielgruppen positiv auf die Holzverwendung im Baubereich aus.

Die Holzrohstoffbilanz für Deutschland ergab im Jahr 2005 insgesamt eine Differenz von Verwendung und Aufkommen von ca. 3,4 Mio. m³ (Mantau et al., 2007). Betrachtet man die Annahmen über das Holzrohstoffaufkommen und die -verwendung für die Jahre 2010, 2020 und 2030 wird deutlich, dass die Differenz steigt und die Verwendung das Aufkommen bei weitem übertrifft. Im Jahr 2005 wurden Holzrohstoffe in Deutschland zu 63 Prozent stofflich und zu 37 Prozent energetisch genutzt. Bis zum Jahr 2030 würde sich bei einem steigenden Bedarf unter der Vorgabe der EU Ziele (erneuerbare Energie) das Verhältnis deutlich in Richtung der energetischen Nutzung verschieben. Die Kalkulationen zeigen auch, dass der Bedarf zur Erfüllung der energiepolitischen Ziele unter diesen Voraussetzungen nicht gedeckt werden kann.

Bringezu et al. (2008) gehen davon aus, dass Holz bis 2015 keinen signifikanten Beitrag zur Produktion von **Kraftstoffen** wie Bioethanol, BtL oder SNG (Synthetic Natural Gas) leisten wird. Die notwendigen Technologien (enzymatischer Aufschluss von Lignin zur Ethanolproduktion, Vergasung) stehen derzeit nicht in großtechnischem Maßstab zur Verfügung. Das könnte sich langfristig ändern. Möglicherweise können größere Potenziale durch die Nutzbarmachung von Holzrohstoffen für Biokraftstoffe erschlossen werden und sich indirekt – Stichwort: Flächen-nutzungskonkurrenzen – auf Energiepflanzenanbau und Nahrungsmittelproduktion auswirken. Auch die Nutzung der Holzvergasung steckt noch in der Erprobung und ist stark von der technologischen Entwicklung abhängig.

4.3 Aufkommen und Verwendung von Energiepflanzen und anderen pflanzlichen Erzeugnissen

In diesem Arbeitspaket erfolgt ein Überblick der Erzeugung und Nutzung von pflanzlichen Erzeugnissen die derzeit stofflich genutzt werden. Bei dieser Status quo Betrachtung werden nicht nur Energiepflanzen betrachtet, sondern auch andere pflanzliche Erzeugnisse, da es einer der Optionen einer Kaskadennutzung ist, die Grenze zwischen Energiepflanzen und Nicht-Energiepflanzen aufzuweichen.

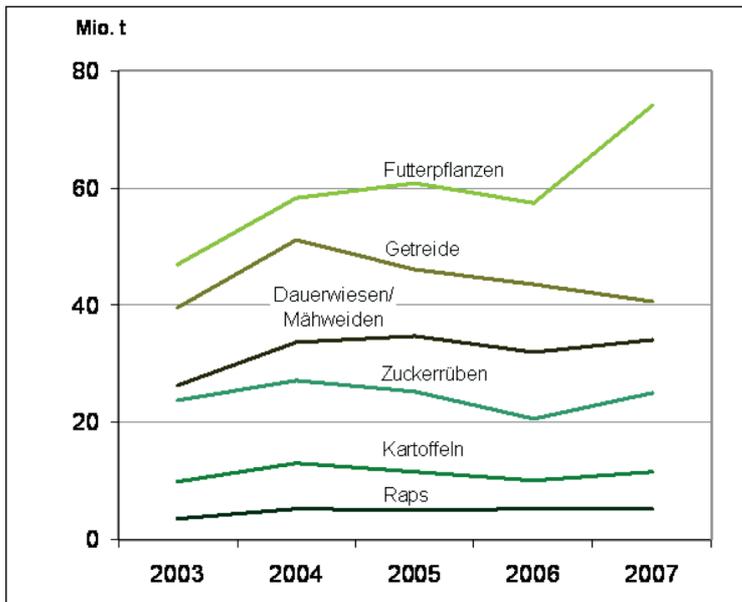


Abbildung 4-4: Erntemengen ausgewählter Feldfrüchte
(Datengrundlage Statistisches Bundesamt 2005/2006/2008)

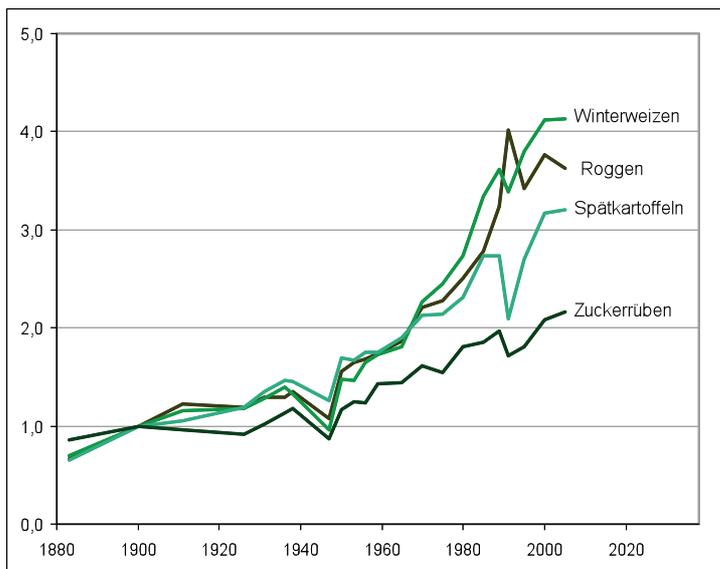


Abbildung 4-5: Erntemengen ausgewählter Feldfrüchte
(BMVEL 2008)

Nach der Produktionsmenge waren 2007 die Futterpflanzen die bedeutendsten pflanzlichen Produkte mit einer Produktionsmenge von insgesamt über 74,0 Mio. t gefolgt vom Getreide, mit einer Produktionsmenge von über 40,6 Mio. t, Heu von Dauerwiesen und Mähweiden (einschl. Grünfütter- und Weidenutzung), mit einer Produktionsmenge von über 34 Mio. t, Zuckerrüben mit einer Produktionsmenge von über 25 Mio. t und Kartoffeln mit einer Erntemenge von rund 11,6 Mio. t. Erst an dann kommt Raps mit einer Ernte von rund 5,3 Mio. t (Statistisches Bundesamt 2008). Schon diese Mengenverhältnisse machen das erhebliche Nutzungspotenzial der Nicht-Energiepflanzen deutlich.

Der größte Teil der Erntemengen wird für Ernährungszwecke eingesetzt. Für eine stoffliche Verwendung kommen in diesem Fall nur die anfallenden Abfall- und Reststoffe in Frage. Diese werden in Kapitel 4.4 behandelt. Im Folgenden Kapitel 4.3 wird nur die unmittelbare Nutzung von pflanzlichen Erzeugnissen beschrieben.

Bei allen Betrachtungen der Biomasseproduktion muss berücksichtigt werden, dass es sich hierbei nicht um eine konstante Größe handelt. vielmehr hängen die Erträge von einer Reihe von Faktoren ab die sich stetig ändern. Diese Veränderungen haben verschiedene Ursachen.

Aufgrund von Züchtungserfolgen, dem Einsatz besser geeigneter Sorten und verbesserten Anbaumethoden kam es in der Vergangenheit zu deutlichen Steigerungen der Ernterträge (vgl. Abb. 2).

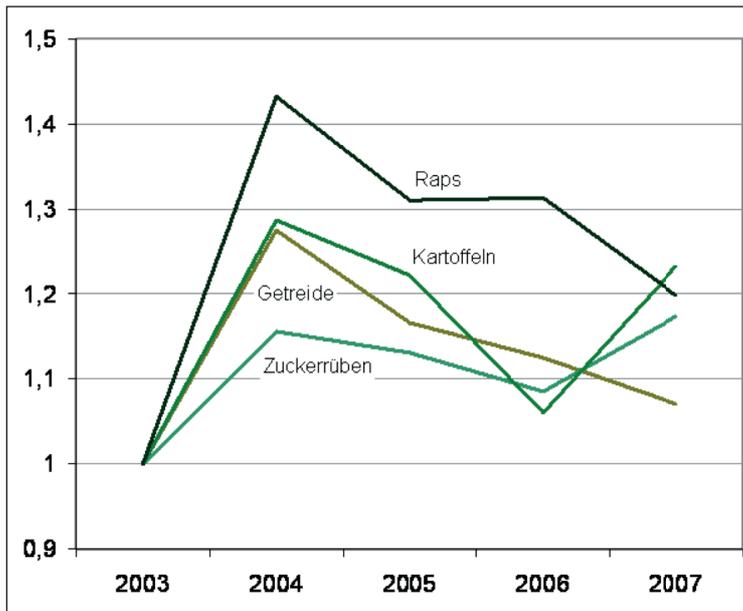


Abbildung 4-6: Entwicklung der Erträge pro ha
(Datengrundlage Statistisches Bundesamt 2005/2006/2008)

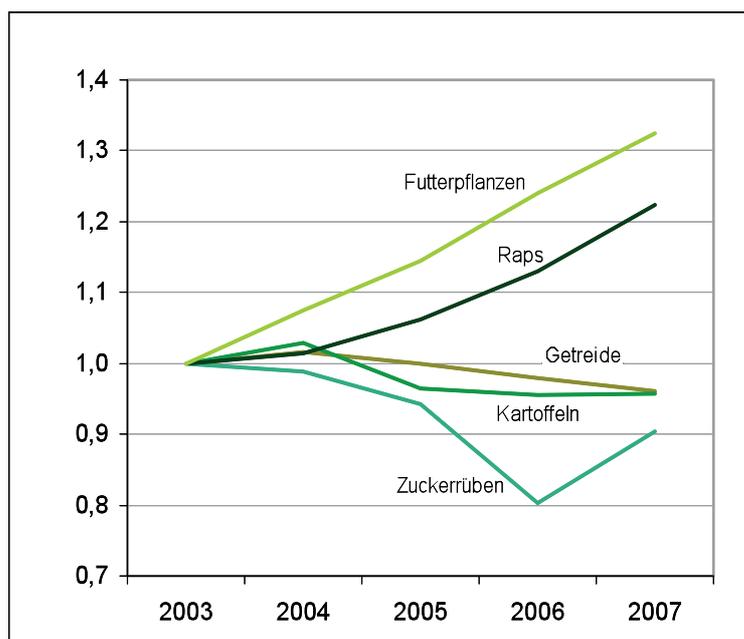


Abbildung 4-7: Entwicklung der Anbauflächen
(Datengrundlage Statistisches Bundesamt 2005/2006/2008)

Auch für die Zukunft ist durch Züchtungserfolge oder den Einsatz gentechnischer Verfahren von einer weiteren Steigerung der Erträge auszugehen.

Aufgrund von Witterungseinflüssen kommt es zu erheblichen jährlichen Ertragsschwankungen (vgl. Abb. 3). Ungünstige klimatische Veränderungen könnten jedoch auch zu Ertragseinbußen führen. Deutlich sind in Abb. 3 die ungewöhnlich niedrigen Erträge in 2003, hervorgerufen durch einen sehr trockenen und heißen Sommer, zu erkennen.

Neben den Witterungseinflüssen und den langfristigen Ertragssteigerungen haben Veränderungen der Anbauflächen einen relevanten Einfluss auf die absoluten Ernteerträge der einzelnen Feldfrüchte. Diese Veränderungen der Anbauflächen sind oft durch veränderte Rahmenbedingungen beeinflusst. So kann angenommen werden, dass die erhebliche Ausweitung der Anbauflächen für Raps auch wesentlich durch die Förderung von Biokraftstoffen hervorgerufen wurde. Zu Verschiebungen kommt es vor allem zwischen unterschiedlichen Feldfrüchten, hingegen ist die Fläche an Grünland wie auch die Gesamtanbaufläche in Deutschland seit einigen Jahren praktisch konstant.

4.3.1 Ölhaltige Pflanzen

Die mengenmäßig wichtigsten Agrarrohstoffe für die stoffliche Nutzung in Deutschland sind Fette und Öle. Etwa die Hälfte der Öle sind Rizinusöl, Palmöl, Sojaöl und Kokosöl. Ein Fünftel sind Rapsöl, Rüböl, Leinöl und Sonnenblumenöl. Rund 30 Prozent sind tierische Fette (meó et al. 2006).

In 2004 wurden insgesamt 840.000 t pflanzliche Öle für die stoffliche Verwendung in Deutschland abgesetzt. Davon entfielen 142.000 t auf Raps- und Rüböl, 46.000 t Sonnenblumenöl und 36.000 t Leinöl. Hinzu kommen 616.000 t importierte Öle wobei hier die Anteile der verschiedenen Öle nicht bekannt sind (meó et al. 2006). Mit 86 Prozent wurde in 2004 der größte Teil der importierten Öle Rizinusöl, Palmöl, Sojaöl und Kokosöl in der chemischen eingesetzt (meó et al. 2006). Jährlich gehen etwa 430.000 t pflanzlicher Öle in die Herstellung von Tensiden. Daneben werden sie zu Kosmetika und Pharmaka, zu Textil- und Lederhilfsmitteln und zu Klebstoffe und Lackrohstoffe verarbeitet (FNR 2007).

Neben der stofflichen Nutzung in der chemischen Industrie werden Öle aus Nawaro auch als Schmier- und Verfahrensstoff eingesetzt. In 2004 wurden ca. 20.000 t Nawaro aus deutschem Anbau für 7.100 t Schmier- und Verfahrensstoffe auf pflanzlicher Basis in Deutschland abgesetzt (meó et al. 2006).

Der weitaus größte Teil der ölhaltigen Pflanzen wurde jedoch nicht stofflich genutzt sonder entweder im Ernährungsbereich oder für die Erzeugung von Biokraftstoffen verwendet. Biodiesel hatte in 2006 einen Anteil von 72 Prozent am Biokraftstoffverbrauch, Pflanzenöl ca. 19 Prozent und, Bioethanol ca. 9 Prozent) (BMU 2008).

Der Gesamtabsatz von reinem Pflanzenöl als Kraftstoff betrug in Deutschland in 2005 ca. 0,196 Mio. t (BMU 2007). Dabei kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei dieser Menge praktisch vollständig um Rapsöl handelt (meó et al., 2006). In 2006 stieg die Verwendung von Pflanzenöl als Kraftstoff auf 0,7 Mio. t und in 2007 auf 0,84 Mio. t (910 Mio. l) an (BMU 2007, BMU 2008).

In 2004 produzierte Deutschland ca. 1,1 Mio. t Biodiesel. In 2006 lag der Biodieselabsatz in Deutschland bei 2,8 Mio. t (BMU 2007). In 2007 ist der Biodieselabsatz auf 3,32 Mio. t (3.800 Mio. l) gestiegen (BMU 2008). Auch bei der Herstellung von Biodiesel wird überwiegend Raps eingesetzt.

Die derzeit kontrovers geführte Debatte um Biokraftstoffe erschwert die Einschätzung der zukünftigen Entwicklung, insofern ist unklar, ob sich der Anstieg des Gesamtabsatzes von Biokraftstoffen im bisherigen Maße fortsetzen wird.

4.3.2 Kohlehydrathaltige Pflanzen

Stärke, Zellulose und Zucker werden in Deutschland in großen Mengen außerhalb des Ernährungsbereichs verarbeitet. Die Papier- und Pappeindustrie hat mit gut drei Vierteln den größten Anteil am Stärkeverbrauch. Der Rest wird von der chemischen Industrie verwendet. In 2004 wurden insgesamt 640.000 t Stärke aus Nawaro in Deutschland abgesetzt. Davon wurden 378.000 t für

die Papierherstellung, 115.000 t für die Wellpappeherstellung und 147.000 t in der die chemische Industrie eingesetzt (meò et. al. 2006). Bei der Stärke handelte es sich um 254.000 t Maisstärke, 204.000 t Weizenstärke und 182.000 t Kartoffelstärke.

In geringen Mengen wird Stärke auch für die Produktion von Kunststoffen eingesetzt. Für Polymilchsäure wird von einer weltweiten Produktionskapazität von 300.000 t/a ausgegangen die jedoch derzeit bei weitem nicht ausgelastet sein sollen (meò 2006).

Zucker wird als industrieller Rohstoff ausschließlich in der chemischen Industrie verwendet. In 2004 wurden insgesamt ca. 240.000 t Zucker für die stoffliche Nutzung in Deutschland abgesetzt. Hauptabnehmer war die Pharmaindustrie.

Obwohl es sich bei der stofflich eingesetzten Stärke und dem Zucker um beträchtliche Mengen handelt, sind die Mengen im Vergleich zur Nutzung im Ernährungsbereich insgesamt gering.

4.3.3 Faserpflanzen

In Deutschland wurden 2005 ohne Holzfasern ca. 179.000 t Naturfasern verwendet. Absolut dominierend war die Baumwolle mit 120.000 t, hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass hierin bereits etwa 47.000 t Reißbaumwolle als Recyclingmaterial enthalten ist (meò 2006). Die Produktion von Faserpflanzen ist in Deutschland seit Jahren rückläufig und inzwischen praktisch bedeutungslos (vgl. Abb. 6). In 2007 betrug die Anbaufläche für Hanf und Flachs (für die Faserverzweigung) in Deutschland zusammen nur noch 922 ha.

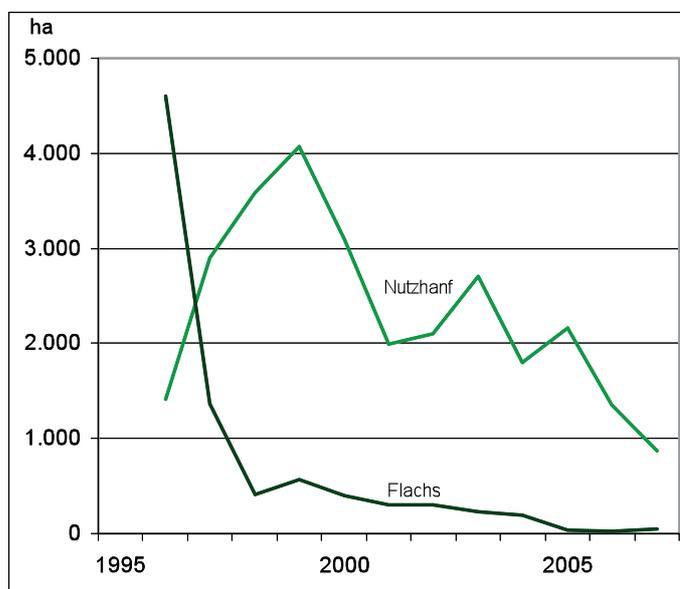


Abbildung 4-8: Entwicklung der Anbauflächen von Faserpflanzen in Deutschland (BMVEL 2008)

Neben den Naturfasern werden noch in erheblichen Mengen Fasern (z. B. Viskose, Modal) auf der Basis von Zellulose hergestellt. Die Rohstoffbasis für diese Fasern ist jedoch in aller Regel Zellulose auf der Basis von Holz⁵. Sie werden daher in diesem Abschnitt nicht behandelt obgleich auch andere Zellulose bei der Herstellung eingesetzt werden könnte.

Mit 91.000 t entfiel der größte Teil der verwendeten Naturfasern auf die Textilbranche, gefolgt von der Automobilindustrie mit 63.000 t und der sonstigen Verwendung mit 25.000 t

5 Gleiches gilt auch für andere Zelluloseprodukte wie Papier und Pappe aber auch Zellulosederivate wie sie in der Baustoffindustrie verwendet werden.

Tabelle 4-7: Verwendung von pflanzlichen Fasermaterialien in Deutschland (Quelle: meó et al. 2006)

	Autobau	Textil	Andere	Summe
	[t]	[t]	[t]	[t]
Naturfaserverstärkte Werkstoffe	–	–	19.000	19.000
Baumwollfasern	45.000	75.000	–	120.000
Flachsfasern	9.400	–	–	9.400
Hanffasern	2.300	–	–	2.300
Exotische Fasern	6.300	–	–	6.300
Leinen	–	16.000	–	16.000
Andere	–	–	6.000	6.000
Summe	63.000	91.000	2.5000	179.000
Holzfasern	25.000			25.000

(meó et al. 2006). Für die Herstellung von Dämmstoffen wurden in 2004 mit ca. 3.510 t Flachs und Hanf nur relativ geringe Mengen eingesetzt⁶. Das Markteinführungsprogramm zum Einsatz von Naturdämmstoffen ist Ende 2007 ausgelaufen, ursprünglich war schon ein Ende der Förderung für Ende 2006 vorgesehen. Insofern ist unklar, wie sich der Absatz von Naturdämmstoffen weiter entwickeln wird.

4.3.4 Arznei- und Färberpflanzen

Der Absatz von Arzneipflanzen lag 2004 in Deutschland bei ca. 22.000 t (meó et al. 2006). Der größte Teil der Arzneipflanzen wurde importiert. Einer inländischen Produktion von ca. 8.050 t standen Importe von 13.950 t gegenüber (Wuppertal Institut 2007). Verglichen mit anderen Bereichen sind die Mengen genutzter Arzneipflanzen sehr gering.

Genau Daten für den Absatz von Färberpflanzen in Deutschland liegen nicht vor. Die inländische Produktion betrug 2004 lediglich 16 t Trockenmasse und war damit vernachlässigbar gering.

4.3.5 Dauerwiesen und Mähweiden

Die Biomasseproduktion auf Dauerwiesen und Mähweiden lag in Deutschland in 2007 bei über 34 Mio. t und wird nur von der Futterpflanzen- und Getreideernte übertroffen. Derzeit wird der größte Teil der Graserträge zur Heu- und Silagegewinnung sowie für Viehfutter verwendet wird (Fritsche et al. 2004). In der Statistik wird nicht ausgewiesen welcher Anteil dem Grünfutter und der Weidenutzung zuzuordnen ist. Eine andere stoffliche Nutzung wird nicht ausgewiesen und dürfte derzeit vernachlässigbar gering sein.

⁶ Eine weit größere Bedeutung als Dämmstoffe auf der Basis von Faserpflanzen haben Holzwolledämmstoffe die bereits heute teilweise aus Resthölzern hergestellt werden und Zellulosefaserdämmstoffe die aus Altpapier hergestellt werden.

4.3.6 Entwicklung des Aufkommens von Energiepflanzen und anderen pflanzlichen Erzeugnissen

Für eine Abschätzung der Entwicklung Aufkommens von Energiepflanzen und anderen pflanzlichen Erzeugnissen müssen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden

- die Entwicklung der Anbauflächen
- die angebauten Früchte
- die Entwicklung der Hektarerträge (abhängig von Züchtungserfolgen und Klima)

Für Deutschland ist nicht davon auszugehen, dass die Anbauflächen insgesamt wesentlich erweitert werden können. Veränderungen zwischen den verschiedenen Flächen sind jedoch möglich. Es ist noch nicht sicher abschätzbar, ob es zu längerfristig relevanten Verschiebungen kommen wird. Sie könnten jedoch entstehen, wenn der Anbau von Energiepflanzen dauerhaft gefördert wird oder sich der Fleischkonsum verringern würde.

Bei der Entwicklung der Hektarerträge ist davon auszugehen, dass weitere Züchtungserfolge erzielt werden. Diese können die Mengen an Energiepflanzen und anderen pflanzlichen Erzeugnissen die zur Verfügung stehen erhöhen. Besonders deutliche Steigerungen erscheinen möglich, wenn verstärkt Biotechnologische Verfahren zum Einsatz kommen würden. Sollte es jedoch zu einem verstärkten Einsatz des ökologischen Landbaus kommen könnte dies angesichts der durchschnittlich geringeren Erträge im ökologischen Landbau zu Ertragsminderungen kommen.

Ein weiterer Aspekt ist die Entwicklung des Klimas. Zwar liegt Deutschland in einer klimatisch ausgesprochen bevorzugten Region – die Getreideerträge erreichen im weltweiten Vergleich absolute Spitzenwerte – dennoch kann es insbesondere in Ostdeutschland dazu kommen, dass aufgrund zu geringer sommerlicher Niederschläge die bisherigen hohen Getreideerträge nicht mehr erreicht werden können.

Zusammenfassend kann daher davon ausgegangen werden, dass sich das Aufkommen an Energiepflanzen und anderen pflanzlichen Erzeugnissen insbesondere dann ändern wird, wenn es zu einer dauerhaften Förderung des Anbaus von Energiepflanzen kommt. Dies ist jedoch auch abhängig von politischen Entscheidungen und gesellschaftlichen Entwicklungen die sich jedoch hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit nicht zuverlässig eingeschätzt werden können.

4.4 Aufkommen und Verwendung von Reststoffen

4.4.1 Landwirtschaft

Beim Anbau von Kulturpflanzen und bei der Viehhaltung entsteht regelmäßig ein erhebliches Biomasseaufkommen. So fallen bei der jährlichen Getreideernte und Pflanzenproduktion große Mengen Nebenprodukte und Rückstände an. Bei der Tierhaltung fallen große Mengen tierischer Exkremamente an die häufig als Wirtschaftsdünger oder als Bodenverbesserer eingesetzt werden. Sie können jedoch auch energetisch genutzt werden (Scholwin et al. 2007).

Tabelle 4-8: Getreideanbaufläche, K/S-Verhältnisse und Strohaufkommen in Deutschland im Jahr 2004 (nach Scholwin et al. 2007)

Strohart	Anbaufläche	K/SVerhältnis	Strohaufkommen
	ha		t/a
Weizen	3.100.000	1:0,85	21.527.950
Gerste	1.974.000	1:0,95	12.320.721
Roggen	621.000	1:1,4	5.329.422
Maisstroh	454.000	1:1,3	4.013.360
Triticale	505.000	1:1,1	3.605.195
Hafer	227.000	1:1,2	1.416.480
Raps	1.279.000	1:1,7	8.930.779
Sonnenblumen	37.000	1:4,1	297.332

Strohartige Biomasse

Zu den Stroh liefernden Kulturarten gehören u. a. Getreide, Raps und Sonnenblumen, die zusammen den größten Teil des Strohanfalls darstellen. Eine energetische Nutzung des anfallenden Stroh erfolgt gegenwärtig nur zu einem geringen Umfang und ist auch aufgrund des hohen Aschenanteils und der niedrigen Schmelztemperatur der anfallenden Aschen problematisch (meó et al. 2006).

In der betrieblichen Praxis werden die Ernterückstände von Ölsaaten, Maispflanzen und Leguminosen in den Ackerboden eingearbeitet werden. Aufgrund begrenzender technischer Möglichkeiten ist die Bergungsquote bei Maisstroh und Sonnenblumenstroh zudem sehr begrenzt.

Eine Abschätzung der gesamten in Deutschland zur Verfügung stehenden Strohmenge kann der folgenden [Tabelle 4-8](#) entnommen werden.

Insgesamt betrug der Strohanfall damit rund 57,44 Mio. t und übertrifft damit noch den Anfall von Biomasse von Dauerwiesen und Mähweiden aber auch den Getreideertrag deutlich. Eine umfassende Verwendungsstatistik liegt nicht vor. Nach Angaben des BMVEL wurden jedoch geringe Mengen von rund 3,8 Mio. t Stroh (ca. 1,85 Mio. t Getreideeinheiten) verfüttert (BMVEL 2008).

Rüben

Bei der Ernte von Zucker- und Futterrüben fallen in Deutschland jährlich erhebliche Mengen an Rübenblättern an. Die Menge der Rübenblätter ist sorten-spezifisch. Insgesamt ergibt sich ein Gesamtaufkommen von über 19,6 Mio. t Rübenblätter pro Jahr für beide Rübensorten (Scholwin 2007). Da ein Teil der Ernterückstände auf dem Feld verbleibt oder als Viehfutter verwendet wird kann angenommen werden dass noch etwa 25 bis 50 Prozent der Rübenblätter für eine andere Nutzung zur Verfügung stehen (Scheuermann et al. 2004).

Kartoffeln

In Deutschland wurden in 2007 auf einer Ackerfläche von 275.000 ha rund 11,65 Mio. t Kartoffeln angebaut (Statistisches Bundesamt 2008). Bei der Ernte fällt Kartoffelkraut als Grün-Rückstand an. Bei einem Frucht-Rückstands-Verhältnis von 1:0,4 (Scheuermann et al. 2004) ergibt sich ein jährliches Aufkommen an pflanzlichen Rückständen von über 4,66 Mio. t wobei ein Teil als Gründünger auf dem Feld verbleibt. Zusammen mit der Annahme, dass etwa 50 Prozent technisch erfasst werden können ergibt sich eine Rückstandsmenge von rund 2,33 Mio. t (Scholwin 2007).

Tierische Exkreme

In der Nutztierhaltung fallen in Deutschland jährlich erhebliche Mengen tierischer Exkreme an (vgl. [Tabelle 4-9](#)).

Tabelle 4-9: Viehbestände der betrachteten Nutztierhaltungen in Deutschland 2004 (STBA 2005 B; BMVEL 2004; KTBL 2002; KTBL 1992)

	Bestand 2004	Bestand 2004	Ø Festmistanfall
	Anzahl	in GVE	kg/(GVE d)
Rinderhaltung	12.952.300	10.053.500	26 – 31
Schweinehaltung	26.334.800	2.948.200	18 – 279
Geflügelhaltung	120.397.000	364.300	5 – 29
Pferde	525.000	474.900	ca. 25

Aufgrund der Weidezeiten verringert sich das nutzbare Exkremenaufkommen. Daher kann für 2004 von einem nutzbaren Festmistaufkommen von 28,3 Mio. t bei Rindern, 11,4 Mio. t bei Schweinen sowie 1,87 Mio. t aus der Geflügel sowie 2,71 Mio. t aus der Pferdehaltung ausgegangen werden. Insgesamt ist von einem nutzbaren Festmistaufkommen von 44,29 Mio. t auszugehen (Scholwin et al. 2007).

Der in Deutschland anfallenden Wirtschaftsdünger, d.h. die in landwirtschaftlichen Betrieben anfallenden tierischen Exkreme, werden derzeit überwiegend als Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt. Bei ca. 15 Prozent, fast ausschließlich Gülle, erfolgt eine energetische Vornutzung bei der Biogaserzeugung (Daniel et al. 2008).

4.4.2 Reststoffe aus der Industrie

In der Industrie und dem Gewerbe fallen in verschiedenen Bereichen unterschiedliche Abfälle und Reststoffe organischer Herkunft an. Hierzu gehören Rückstände der Alkoholbrennereien (Schlempen), der Zuckerverarbeitung (Melasse), der Milchverarbeitung (Molke) sowie Abwässer der Papierindustrie.

Eine genaue Erhebung der organischen Reststoff- und Abfallströme aus Industrie und Gewerbe ist aufgrund der schlechten Datenverfügbarkeit kaum möglich. In (Schlowin et al. 2007) wurden für einige Bereiche Abschätzungen vorgenommen die im Folgenden übernommen und teilweise aktualisiert wurden.

Bierproduktion

In Deutschland wurden 2007 über 102 Mio. hl Bier produziert. Die Bierproduktion in Deutschland ist seit längerer Zeit rückläufig. In 2005 lag die Bierproduktion in Deutschland noch bei über 107 Mio. hl in 1992 – dem Jahr der höchsten Produktion – sogar noch bei über 120 Mio. hl (Deutscher Brauer Bund 2008). Die europäische Bierproduktion lag in 2005 bei über 306 Mio. hl⁷ (The European Brewers 2008).

Bei der Bierproduktion fallen verschiedene Rückstandsfraktionen an (Heiß- und Kühltrub, Kieselgurschlamm, Malzstaub, Hefe und Treber). Die größte Fraktion stellt mit rund 75 Prozent der Biertreber dar (FNR 2005). Pro Hektoliter Bier fallen etwa 19 kg Treber und 2,5 kg Hefe als Rückstandsmengen an (FNR 2005). Damit sind in 2007 in Deutschland ca. 1,938 Mio. t Treber und 0,255 Mio. t Hefe angefallen. In Europa sind in 2005 mindestens 5,814 Mio. t Treber und 0,765 Mio. t Hefe angefallen.

Der Treber wird zu einem großen Teil als Futtermittel in der Landwirtschaft eingesetzt. Andere Nebenprodukte werden als Abfall entsorgt (Deutscher Brauer Bund 2005).

Ölsaat- und Ölfruchtverarbeitung

Im Jahr 2005 wurden in Deutschland ca. 1,4 Mio. ha Raps angebaut. Dieser wurde für die Nahrungsmittel- und die Biodieselproduktion verwendet. Unter Berücksichtigung der Im- und Exporte von Rapsöl wurden in deutschen Ölmühlen ca. 5,7 Mio. t Rapssaat verarbeitet (Scholwin et al. 2007). Dabei fallen neben dem Rapsöl etwa 3,2 Mio. t Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen als Nebenprodukte durch Extraktion der Rapssaat in Ölmühlen an. Aufgrund von Exporten verbleiben ca. 2,43 Mio. t des Rapsschrotes in Deutschland (IE 2006).

Rapskuchen mit einem Fettgehalt von 15–20 Prozent entsteht beim Kaltpressverfahren das vor allem in kleinen Ölmühlen angewendet wird. Hierbei wird Rapsöl durch einfaches Abpressen der vorgetrockneten Rapssaat gewonnen (Scholwin 2007). Fett ärmeres Rapsextraktionsschrot fällt bei der Extraktion von Raps in großtechnischen Anlagen an wenn hierbei durch eine Behandlung mit Lösemitteln eine fast vollständige Extraktion des Öls erreicht wird. Sowohl Rapskuchen als auch Rapsextraktionsschrot finden in der Landwirtschaft als Beimischung für Futtermittel Verwendung (Schöne et al. 2005).

Erhebliche Mengen Ölkuchen und Schrote fallen auch bei der Verarbeitung anderer Ölsaaten und Ölfrüchte an. Nach Angaben des BMVEL wurden in 2005/06 in Deutschland rund 4,4 Mio. t Ölkuchen und Schrote aus Sojabohnen sowie ca. 0,44 Mio. t aus Palmkernen verbraucht (BMVEL 2008).

7 In der Statistik sind einige relevante Bierproduktionsnationen, insbesondere Spanien und Dänemark, nicht berücksichtigt.

Zuckerherstellung

Der Anbau von Zuckerrüben in Deutschland erfolgt hauptsächlich für die Erzeugung von Kristallzucker. In 2005 wurden auf eine Fläche von rund 443.545 ha über 27 Mio. t Zuckerrüben geerntet die zu über 4,3 Mio. t Kristallzucker verarbeitet wurden (Baron 2005). Als Nebenerzeugnisse fallen bei der Zuckerherstellung Produktion Melasse und Rübenschnitzel an. 2004 fielen bei der Zuckerproduktion ca. 0,84 Mio. t Melasse und 1,68 Mio. t Rübenschnitzel an (BARON 2005). Ein Teil der Nebenerzeugnisse werden als Futtermittel eingesetzt. In 2005/06 wurden insgesamt ca. 0,28 Mio. t Melasse (0,275 t Getreideeinheiten), und rund 1,4 Mio. t Trockenschnitzel (1,385 Mio. t Getreideeinheiten) aus inländischer Erzeugung verfüttert (BMVEL 2008).

Saftherstellung

Die Herstellung von Fruchtsäften und -nektar belief sich im Jahr 2003 auf insgesamt 31,3 Mio. hl. dabei entfielen ca. 25,8 Mio. hl auf Fruchtsaft und ca. 5,2 Mio. hl auf Fruchtnektar (Statistisches Bundesamt 2005). Bei der Saftherstellung fallen Putzreste und Obsttrester als Rückstand aus dem Entsaftungsprozess an. Pro Liter Saft entstehen durchschnittlich 0,25 kg und pro Liter Nektar durchschnittlich 0,1 kg Rückstände an (Kaltschmitt et al. 2002). Damit fielen in 2003 ca. 52.000 t Trester aus der Nektarproduktion und 645.000 t Trester aus der Fruchtsaftproduktion, zusammen also rund 697.000 t Trester an. Ein Teil der Rückstände wird als Viehfutter, zur Pektinherstellung sowie als Grundstoff für die Alkoholproduktion benutzt. Die genaue Nutzung der Reststoffe ist nicht bekannt.

Wein

In Deutschland wurden in 2007 auf einer Gesamtfläche von 97.702 ha (Statistisches Bundesamt 2008) Reben für die Wein- und Mostherstellung angebaut. Die Erntemenge lag in 2007 in Deutschland bei insgesamt 10,365 Mio. hl (Statistisches Bundesamt 2008).

Beim Prozess der Kelterung bzw. bei der Traubensaftauspressung fallen pflanzliche Reststoffe in Form von Rebentrester an, die zum großen Teil aus Beerenhülsen, Kernen und Kämmen (Stiele, Rappen) bestehen. Die Treber werden wegen seiner noch relativ hohen Gehalte an Zucker, Weinsäure und anderen Substanzen bevorzugt für die Herstellung von Trester-Bränden bzw. Tresterweinen verwendet. Der Trester kann aber auch als Dünge- oder Futtermittel in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Nach Angaben der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR 2005) wird ein spezifisches Tresteraufkommen von 25 kg/hl angenommen, aus dem für die Wein- und Mostproduktion rund 259.125 t Trester im Jahr 2007 resultieren. Der anfallende Trester wird derzeit überwiegend stofflich genutzt.

Tierverarbeitung

In Deutschland wurden im Jahr 2007 über 53 Mio. Schweine, etwa 3,8 Mio. Rinder und Kälber sowie über 1 Mio. Schafe geschlachtet (Statistisches Bundesamt 2008). Die gesamte Schlachtmasse betrug ca. 6,2 Mio. t bei insgesamt steigender Tendenz. Die dabei anfallenden für den Verzehr ungeeignete Schlachtabfälle können, sofern diese nicht den Kategorien I und II des Tierische-Nebenprodukte-Beseitigungsgesetzes unterliegen, weiter verwendet werden.

Über das Aufkommen der Rückstände und Abfälle aus Schlachthöfen und Betrieben der Fleischverarbeitung können mangels zuverlässiger Daten keine genauen Aussagen getroffen werden (Scholwin 2007). Der Schlachtabgang variiert zwischen 50 Prozent bei Schafen und Kühen und 20 Prozent bei Schweinen, und dürfte damit über 1,5 Mio. t liegen.

In 2005 (neuere Zahlen sind bisher nicht veröffentlicht) wurden in Deutschland 348.500 t Tiermehl hergestellt, die überwiegend (285.900 t) thermisch verwertet wurden. Von den 220.100 t erzeugten Fleischknochenmehl wurde der größte Teil (208.500 t) technisch verwendet. Andere Tiermehle (Blutmehl, Federmehl, Geflügelprotein und Sonstige Proteine) werden überwiegend zu Futtermitteln verarbeitet (BMVEL 2008). Daneben werden Häute (insbesondere Rinderhäute) für die Lederherstellung verwendet.

Gemüse und Zierpflanzen

In Deutschland wurden 2007 auf einer Anbaufläche von 109.332 ha Gemüse angebaut (Statistisches Bundesamt 2008). Des Weiteren wurden in Deutschland in 2003 auf 9.270 ha Zierpflanzen und Schnittblumen angebaut (BMVEL 2004). Bei der Herstellung Zierpflanzen und Gemüse fallen organische Reststoffe an und Nebenprodukte an. Die genauen Reststoffmengen sind unbekannt. In (Scholwin et al. 2007) wird davon ausgegangen, dass pro ha Gemüse- und Zierpflanzenanbau etwa 10 t FM an Reststoffen anfallen. Damit ergibt sich eine Gesamtmenge von rund 1,18 Mio. t FM Reststoffe.

4.4.3 Organische Abfallstoffe aus Kommunen

Neben den Substraten der Landwirtschaft der Industrie fallen auch bei der kommunalen Entsorgung organische Rest- und Abfallstoffe an.

Organische Siedlungs- und Marktabfälle

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes sind in 2006 insgesamt 3.757 Mio. t Abfälle aus der Biotonne, 4.045 Mio. t biologisch abbaubare Garten- u. Parkabfälle, 0,603 Mio. t biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle und 0,076 Mio. t Marktabfälle (Statistisches Bundesamt 2008). Die Menge und Zusammensetzung dieser Abfallfraktion sind stark von der Siedlungsstruktur und der Art des Erfassungssystems abhängig (Janke 2002). Damit beträgt das jährliche Bioabfallaufkommen in Deutschland rund 8,5 Mio. t FM. Der überwiegende Teil der organischen Siedlungsabfälle wird derzeit in Kompostierungsanlagen behandelt.

Überlagerte Lebensmittel

In Deutschland fallen jährlich große Mengen überlagerter Lebensmittel an, die aus hygienischen und gesundheitlichen Gründen nicht mehr verkauft werden dürfen und i. d. R. als Abfall entsorgt werden. Die Mengen überlagerter Lebensmittel, die jährlich anfallen, werden statistisch nicht erfasst, eine Abschätzung geht von jährlich pro Person etwa 2,5 kg aus (Scholwin et al. 2007), was einem jährlichen Gesamtaufkommen von rund 0,21 Mio. t FM entspricht.

Straßenbegleitgrün

Aufgrund der mangelnden Datenerfassung sind nur unzureichende Informationen über die jährlich anfallende Biomassemenge am Straßenbegleitgrün verfügbar. In (Scholwin et al. 2007) wird abgeschätzt, dass 0,51–1,02 Mio. t und damit 1/3–2/3 des anfallenden Straßenbegleitgrün als Teil des Landschaftspflegematerials jährlich energetisch nutzbar wären. Damit kann für das Straßenbegleitgrün eine gesamte Biomasse von 1,53 Mio. t abgeschätzt werden.

4.4.4 Zukünftiges Aufkommen an Reststoffen

Das Aufkommen an Reststoffen aus der Landwirtschaft wird vor allem durch das Aufkommen an landwirtschaftlichen Produkten bestimmt. Insofern kann hier, wie unter Abschnitt 4.3.6 dargestellt, davon ausgegangen werden, dass es zu keinen großen Veränderungen des Anfalls von Reststoffen aus der Landwirtschaft kommen wird. Als zusätzlicher, das Aufkommen reduzierender, Faktor kann hinzukommen, dass Züchtungen in aller Regel so ausgerichtet werden, dass Ernteerträge höher und der Reststoffanteil geringer wird.

Die Entwicklung der Reststoffmengen aus der Industrie hängt in einem hohen Maße von den industriell erzeugten Produkten ab. Die Bierproduktion ist seit Jahren rückläufig, auch für die Zuckerproduktion ist aufgrund der Neuordnung der Zuckermarktordnung eher von rückläufigen Reststoffmengen auszugehen. In beiden Fällen werden die Reststoffe überwiegend verfüttert und stehen auch aufgrund ihrer Stofflichen Zusammensetzung kaum für eine Kaskadennutzung im engeren Sinne zur Verfügung.

Bei den anderen Reststoffen aus der Industrie ist von eher geringen Veränderungen auszugehen. Bei den organischen Abfällen aus Kommunen handelt es überwiegend um organische Siedlungsabfälle. Es ist nicht erkennbar, dass es hier zu einer relevanten Änderung des Anfalls kommen wird.

Zusammenfassend wird davon ausgegangen, dass sich das Aufkommen an Reststoffen nur wenig verändern wird. Es muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass Reststoffe kaum in Kaskaden genutzt werden können sondern sich vor allem zur direkten energetischen Nutzung eignen.

4.5 Zwischenfazit: Biomasse-Stoffströme

Insgesamt wird sich das **Holzrohstoffaufkommen** im Ausblick nur leicht erhöhen. Der Anstieg wird durch Erhöhung des inländischen Holzangebotes insgesamt z. B. mit einer veränderten Waldbewirtschaftung, Agrarholzanbau oder der Rohholzmobilisierung bisher wenig/ungenutzter Waldflächen möglich. Zudem ist zu erwarten, dass das Potenzial des Anbaus von holzartiger Biomasse auf landwirtschaftlichen Flächen (z. B. in Kurzumtriebsplantagen) erst mittel- bis langfristig zu einem veränderten Angebot von energetisch und stofflich nutzbarem Holz führen könnte. Einschränkend ist zu sagen, dass sich mit der aktuellen Konjunkturkrise, der Außenhandel und das Aufkommen an Sekundärrohstoffen (Altpapier und Altholz) eher verringern werden.

Die **Holzrohstoffverwendung** in der Holz- und Forstwirtschaft wird langfristig hauptsächlich durch folgende Faktoren bestimmt: zum einen die inländische Nachfrage nach Holz und Holzprodukten, die im Ausblick langfristig als steigend angesehen wird; zum anderen den Außenhandel der deutschen Holzindustrie, der aufgrund der globalen Nachfrage nach deutschen Holz und Holzprodukten ebenfalls als wachsend eingeschätzt wird. Durch den starken Anstieg der Energiepreise wird sowohl die stoffliche als auch die energetische Holznutzung insgesamt wettbewerbsfähiger – in starker Abhängigkeit zur jeweils aktuellen Konjunkturentwicklung. Zudem spielen Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsaspekte eine Rolle.

Die **Holzrohstoffbilanz** für Deutschland ergab im Jahr 2005 insgesamt eine Differenz von Verwendung und Aufkommen von ca. 3,4 Mio. m³ (Mantau et al., 2007). Betrachtet man die Annahmen über das Holzrohstoffaufkommen und die -verwendung für die Jahre 2010, 2020 und 2030 wird deutlich, dass die Differenz steigt und die Verwendung das Aufkommen bei weitem übertrifft.

Für die Analyse der **agrarischen Produkte** (pflanzliche Erzeugnisse, die stofflich genutzt werden, landwirtschaftliche Reststoffe sowie Energiepflanzen und andere Pflanzen die u. U. in einer Kaskade auch energetisch genutzt werden können) sind der derzeitige Status Quo sowie eine Abschätzung der Trends der Erzeugung und Nutzung dargestellt worden.

Dabei sind für eine Reihe von Feldfrüchten statistische Angaben einschließlich von Zeitreihen zu den Produktionsmengen genutzt worden, soweit diese vorhanden sind. Zum Teil konnte auch von der Angabe der Anbaufläche mit den jeweiligen Erträgen auf die Stoffströme geschlossen werden. Für die Verwendung von Agrarrohstoffen musste auf Literaturquellen zurückgegriffen werden, da die statistischen Informationen nicht hinreichend sind.

Im Ergebnis zeigt sich, dass der größte Anteil der landwirtschaftlichen Fläche in Deutschland zur Produktion von Getreide und Futterpflanzen genutzt wird. Bei dem erzeugten Getreide handelt es sich bei etwa der Hälfte (56 Prozent) um Brotgetreide, bei rund 38 Prozent um Futter- und Industriegetreide sowie zu einem kleineren Anteil von 6 Prozent um Körnermais. Damit wird der größte Teil der Erntemengen für Ernährungszwecke (Nahrungs-/Futtermittel) eingesetzt. Daraus lässt sich ableiten, dass die Nutzung von Abfall- und Reststoffen für eine gekoppelte Nutzung eine große Bedeutung hat. Diese steht aber nicht im Fokus der vorliegenden Untersuchung.

Über die letzten Jahre hat es kontinuierliche Ertragssteigerung bei den wichtigsten Feldfrüchten gegeben. Die weitere Entwicklung ist aufgrund von gegenläufigen Effekten (u.a. Züchtungserfolge und Klimaeinflüsse) jedoch unklar. Einzelne Bereiche können sich stark individuell entwickeln; so ist die inländische Produktion von Faserpflanzen rückläufig. Das Angebot an heimisch erzeugtem Zucker einschließlich seiner Neben- und Abfallprodukten kann infolge der Zuckermarktreform zurückgehen. Bei der chemischen Industrie ist davon auszugehen, dass vermehrt Rohstoffen biogenen Ursprungs eingesetzt werden. Die Nachfrage nach Biokunststoffen wird zunehmen. Das Wachstum startet jedoch von einem niedrigen Niveau und wird mittelfristig keine relevante Rolle bei der Nachfrage nach Stärke spielen.

Bezüglich der **Biomasse-Reststoffe** lässt sich festhalten, dass Stroh, insbesondere Getreidestroh, mengenmäßig dominiert. Eine Verwendungsstatistik liegt nicht vor, die direkte energetische Nutzung ist relativ problematisch. Rübenblätter und Kartoffelgrün haben ebenfalls ein erhebliches Aufkommen, hier erfolgt allenfalls eine Nutzung als Futtermittel. Perspektiven einer anderen stoff-

lichen Nutzung sind nicht erkennbar. Verglichen mit den landwirtschaftlichen Reststoffen und Abfällen sind die Mengen an biogenen Abfällen aus industriellen Prozessen gering. In vielen Fällen werden diese bereits unternehmensintern einer Weiterverarbeitung oder Entsorgung zugeführt.

Reststoffe eignen sich in aller Regel vor allem für eine unmittelbare energetische Nutzung, da für einen Reststoff per Definition keine hochwertige stoffliche Nutzung mehr möglich ist. Tierische Exkremate lassen sich kombiniert stofflich (Dünger) und energetisch nutzen, hier ist eine Kaskadennutzung schon am weitesten etabliert. Die Reihenfolge in der Kaskade ist dann jedoch verändert (erst energetisch, dann Rückstände stofflich).

5 Energetische Nutzung von Biomasse

Eine Vielzahl von Möglichkeiten steht heute bereits zur Verfügung, um Biomasse in Energie umzuwandeln, und weitere Optionen werden erforscht und weiterentwickelt. [Abbildung 5-1](#) gibt einen Überblick über verschiedene denkbare Nutzungspfade ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Die mengenmäßig wichtigsten Nutzungspfade werden in den folgenden Abschnitten dargestellt. Dabei erfolgt zunächst eine Einordnung der verwendeten Mengenströme (Abschnitt 5.1), sowie ein Abriss über die Technik der Umsetzung (5.2). In Abschnitt 5.3 wird die allgemeine Prozessbeschreibung um eine erste Abschätzung der technischen Restriktionen erweitert, die auftreten können, wenn anstelle der originären Biomasse „vom Feld bzw. aus dem Wald“ andere Ressourcen eingesetzt werden sollen. Hier sind die Variationen aus den Komponenten Einsatzstoff, technischer Prozess und Anlagenauslegung hinsichtlich der möglichen Schadstoffbelastung sehr vielfältig. Die Betrachtung kann daher nicht jede Möglichkeit im Detail erfassen, sondern soll zunächst einen Überblick über die zu erwartenden Restriktionen geben. Dieser kann im Anschluss an den Syntheseschritt zu ausgewählten Kaskadennutzungen für die speziellen Anwendungsfälle erweitert und vertieft werden.

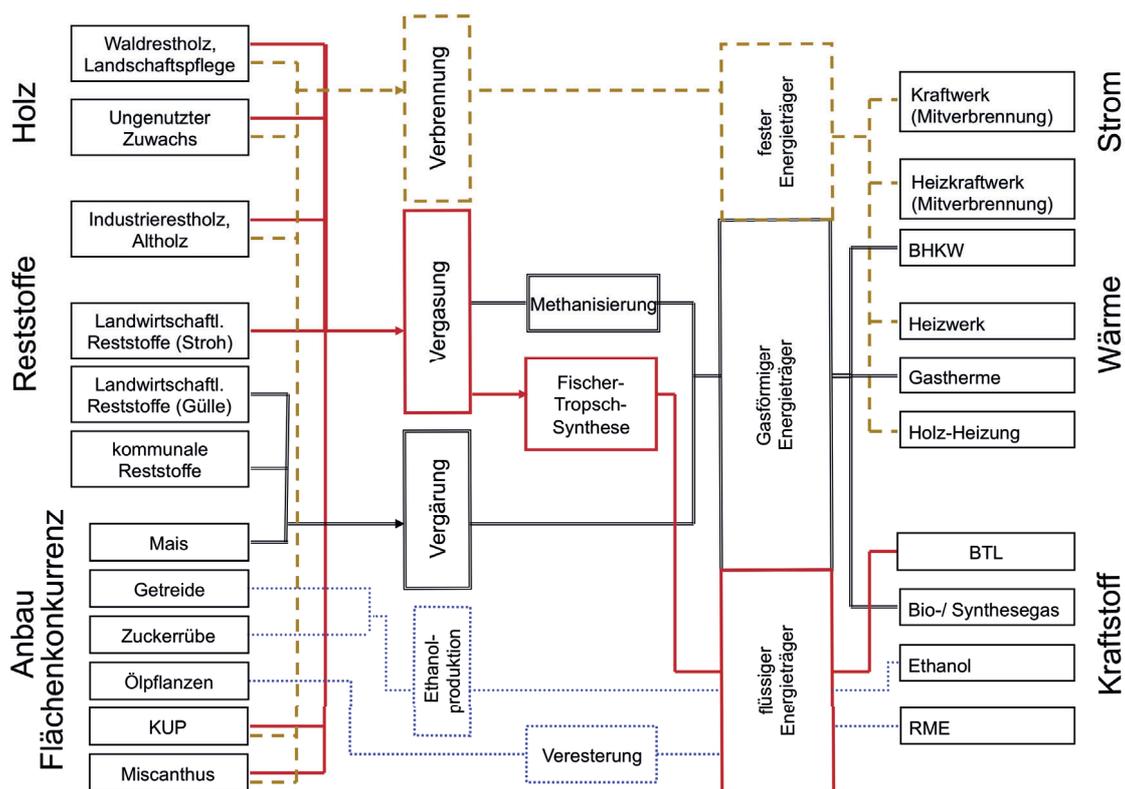


Abbildung 5-1: Exemplarische Darstellung der Möglichkeiten der Energiegewinnung aus Biomasse (eigene Darstellung)

5.1 Mengenströme: energetische Nutzung

Das Aufkommen an Biomasse zur energetischen Nutzung ist im vorangegangenen Kapitel 4 ausführlich beschrieben worden. Im Folgenden wird dargestellt, welchem Verwendungszweck die Rohstoffe tatsächlich zugeführt werden. Biomasse ist unter den erneuerbaren Energieträgern der einzige, der in den drei Bereichen der Strom-, Wärme- und Kraftstoffbereitstellung flexibel eingesetzt werden kann. Aus [Abbildung 5-2](#) wird deutlich, dass der überwiegende Teil der in 2007 eingesetzten Bioenergie zur Wärmeerzeugung diente. In diesem Bereich wurden insgesamt rund 70 Prozent der Biomasse umgesetzt, während es im Stromsektor mit ca. 20 Prozent und im Kraftstoffbereich mit rund 10 Prozent deutlich geringere Anteile waren. Die thermische Nutzung bildet also derzeit das Rückgrat der Bioenergie. Seit dem Vorjahr ist die biogene Wärmenutzung allerdings konstant geblieben, während im Strom ein Zuwachs von rund 20 Prozent zu verzeichnen ist. Dieser geht im Wesentlichen auf die Stromerzeugung durch Biogas zurück. Der Einsatz von Biokraftstoffen, insbesondere Biodiesel, ist im gleichen Zeitraum ebenfalls, um 10 Prozent angestiegen. Die Struktur der einzelnen Sektoren wird in den folgenden Abschnitten noch etwas ausführlicher erläutert.

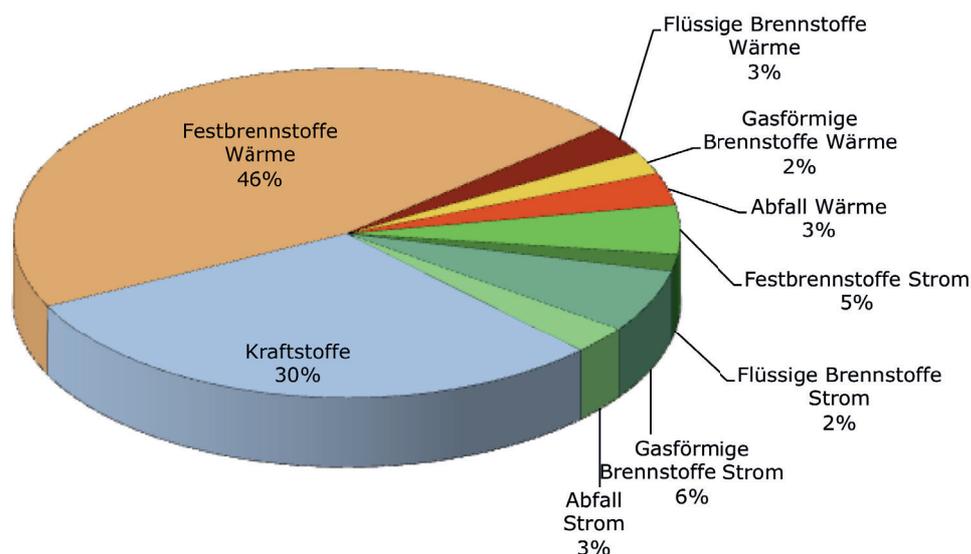


Abbildung 5-2: Einsatz von Bioenergie nach Energieträger in den drei Sektoren Strom, Wärme, Kraftstoff (eigene Darstellung nach BMU, 2008)

5.1.1 Strom

Die Struktur der Stromerzeugung aus Biomasse ist in im Rahmen des EEG Monitoring (Scholwin et al., 2007) detailliert untersucht worden. Die wichtigsten Ergebnisse mit Relevanz für die mögliche Kaskadennutzung von Biomasse fasst [Tabelle 5-1](#) zusammen.

Tabelle 5-1: Stromerzeugung aus Biomasse- Kenndaten zum Anlagenbestand 2006
(verändert nach Scholwin et al. 2007)

		Feste Brennstoffe	Feuchte Brennstoffe	Flüssige Brennstoffe
Bestand Ende 2006				
Anlagenzahl		160	3300	1800
Installierte Leistung (ges.)	MWel	920	1000	237
durchschn. Leistung	kWel	5750	300	130
Brennstoffbedarf	PJ/a	76-90	55	15
Technologien				
Hauptbestand		Dampfkraftprozess	Fermentierung	BHKW
innovative Technologien		ORC (30 Anlagen), Vergasung (5 Anlagen), Dampfmotor	Aufbereitung/ Einspeisung, Trockenfermentation	Nachverstromung ORC
innov. T. am Bestand	%	14	3	0
Rohstoffe				
Wichtigste Rohstoffe		Altholz, Industrierestholz, Sägennebenprodukte	Gülle, Nawaro, Abfall	Palmöl, Rapsöl, Sojaöl
Rohstofflieferanten		Entsorger, Holz- Industrie	Landwirte, Entsorgungsbetriebe	Ölmühlen, Landhandel, intern. Großhändler

Von besonderem Interesse ist der Hauptbestand der Technologien, die derzeit zur Stromerzeugung aus Biomasse eingesetzt werden, sowie die Ausweisung des Anteils an innovativer Technik in diesem Bereich. Am aussichtsreichsten scheint demnach der Sektor der festen Brennstoffe zu sein, da dieser Anteil innovativer Techniken am größten ist. Zudem werden hier bereits zu großen Teilen Biomassen eingesetzt, die zuvor schon stofflich genutzt worden sind.

5.1.2 Wärme

Die thermische Nutzung von Biomasse wird vom Einsatz von Festbrennstoffen in Haushalten dominiert (Tabelle 5-2). Bioenergie überwiegt in der regenerativen Wärmebereitstellung alle anderen erneuerbaren Energieträger. Nach Angaben der (FNR, 2007d) handelt es sich dabei zu über 80 Prozent um Scheitholz aus Wald, Garten und Landschaft. Die übrigen Anteile werden mit abnehmenden Mengenanteil von Altholz, Schnittholzresten, Holzbriketts, Hackschnitzel und Holzpellets gestellt. Wiederum der weitaus größte Anteil davon wird mit über 80 Prozent in Kaminöfen und Kachelheizungen umgesetzt, nur ca. 20 Prozent in Holz-Zentralheizungen.

Als flüssiger biogener Energieträger kann Pflanzenöl (z.B. Rapsöl) genutzt werden, welches in einem umgebauten Heizölbrenner verfeuert werden kann. Der Einsatz von Pflanzenöl in reinen Wärmeerzeugungsanlagen ist jedoch bisher und wohl auch perspektivisch unbedeutend und wird daher an dieser Stelle nicht weiter vertieft (FNR, 2007e).

Tabelle 5-2: Struktur der biogenen Wärmeerzeugung in D in 2007 (BMU, 2008)

	PJ/a	% an EE Wärme
Festbrennstoffe		
Haushalte	208,0	4,2
Industrie	40,5	0,8
Heiz- und Heizkraftwerke	8,3	0,2
Flüssige Brennstoffe	16,2	0,3
Gasförmige Brennstoffe	12,5	0,3
Abfall (biogener Anteil)	17,7	0,4
Gesamt Biogene Wärme	303,1	6,2

Beachtlich ist ein Umschwenken der Nutzung von Festbrennstoffen zu flüssigen Brennstoffen auch im Haushalt: in 2006 sind noch rund 221 PJ/a an Festbrennstoffen im Haushalt und nur 5 PJ/a an flüssigen Brennstoffen umgesetzt worden.

Ein großer Anteil der thermisch genutzten Holzbrennstoffe in der Industrie stammt aus Holzabfällen, die als Nebenprodukte des Produktionsprozesses anfallen. Davon wird jeweils die Hälfte am Markt gehandelt (für stoffliche oder energetische Nutzung) oder innerbetrieblich verwendet (Meo Consulting Team et al. 2006). Auch hier findet demnach bereits eine Kaskadennutzung statt.

5.1.3 Kraftstoff

Die Betrachtung des derzeitigen Einsatzes von Biomasse im Kraftstoffsektor beschränkt sich auf die Nutzung von Biokraftstoffen der ersten Generation – also Biodiesel, Bioethanol und Pflanzenöl. Unter diesen ist mit Blick auf die Kaskadennutzung insbesondere die Nutzung von Pflanzenöl interessant, da dieser Kraftstoff die geringste chemische Umwandlung erfährt und eine Vielzahl von Einsatzstoffen in Frage kommt. Darunter sind Erfahrungsberichten zufolge auch Speiseöle und Altfette (z. B. Frittierfett). Die Nutzung dieser unbehandelten bzw. recycelten Öle ist in Deutschland jedoch einer sehr kleinen Anzahl von Anwendern vorbehalten und wird Experteneinschätzungen zufolge über eine Nischenanwendung kaum hinauswachsen.

Tabelle 5-3: Biokraftstoffe in D in 2007 (BMU, 2008)

	PJ/a	% an ges. Kraftstoff
Biodiesel	123,8	5,6
Pflanzenöl	31,5	1,4
Bioethanol	12,3	0,6
Gesamt Bio-Kraftstoffe	167,6	7,6

Nach Angaben des VCD⁸ (Verkehrsclub Deutschland) werden derzeit rund 20.000 Fahrzeuge in Deutschland mit Pflanzenöl betrieben, überwiegend in der Landwirtschaft. Die Nutzung von Altölen stellt unter diesen noch mal eine gesondert Gruppe dar und ist mengenmäßig kaum erfassbar. Mit Blick auf [Tabelle 5-3](#) ist der Anteil an Pflanzenölen im Kraftstoffsektor in 2007 zwar höher gewesen als der Anteil an Bioethanol. Dieses Benzin-Substitut findet in der Tat in Deutschland bislang keinen Markt. Im Ausblick werden hier aber durchaus größere Nachfragen erwartet.

5.2 Technische Beschreibung der relevanten Pfade zur energetischen Nutzung

Im Folgenden werden die relevantesten Umwandlungsrouten für Biomasse zu Energie kurz vorgestellt. Diese sind:

- Vergasung fester Biomasse
- Verbrennung fester Biomasse
- Vergärung feuchter Biomasse zu Biogas
- Vergärung zu Bioethanol
- Veresterung zu Biodiesel

Die Darstellung gliedert sich in einen Überblick über die jeweils verwendeten Einsatzstoffe sowie den technischen Prozess, und schließt mit den wesentlichen Kenndaten der Umwandlung und Energieerzeugung.

5.2.1 Vergasung fester Biomasse

Bei der Vergasung handelt es sich um einen physikalisch-chemischen Vorgang, bei dem feste Biomasse teilweise in gasförmigen Zustand überführt wird. Dies geschieht grundsätzlich durch Erhitzen, wobei die Temperatur, die Druckverhältnisse und die Vergasungsatmosphäre, sowie zahlreiche andere Prozessparameter Einfluss auf den Prozess haben. Somit ist „Vergasen“ als ein Oberbegriff für eine Reihe von chemischen Vorgängen zu sehen, die je nach Verfahren unterschiedlich ausfallen können und somit auch unterschiedliche Produktgase erzeugen. In den meisten Fällen erhält man darüber hinaus feste Rückstände.

Einsatzstoffe

Je nach Beschaffenheit der eingesetzten Biomasse werden andere Anforderungen an das Vergasungsprozess gestellt. Ferner wird dabei auch ein Produktgas (im weiteren Verlauf Rohgas genannt) erzeugt, das sich spezifisch jeweils anders zusammensetzt, und wiederum spezifische Anforderungen an die Gasreinigung stellt, um seiner eigentlichen Bestimmung zugeführt zu werden. Daraus ergibt sich eine breite Variationspalette, die sich nicht nur auf der Input-, sondern auch auf der Technologie- sowie der Output-Seite auswirkt.

8 Quelle: <http://www.vcd.org/501.html>

Die derzeitigen F&E Bestrebungen des Vergasungssektors gelten denn auch zum einen der Vereinheitlichung der unterschiedlichen Verfahren bzw. der Optimierung der vorhandenen Vergasungsverfahren bezüglich der gewünschten Einsatzzwecke.

Bereits bei der Bereitstellung der Biomasse wird die Komplexität der hier zu betrachtenden Problematik deutlich. Die Palette der einsetzbaren Brennstoffe, die man zur Energiegewinnung verwenden kann, ist deutlich breiter, als z. B. im Bereich der fossilen Energieträger und unterschiedliche Einsatzstoffe erfordern unterschiedliche Parameter bei der Prozessführung bzw. sogar den Einsatz unterschiedlicher Vergasungstechnologien.

Nach ihrer Herkunft können die biogenen Fest-Brennstoffe zunächst in zwei Kategorien unterteilt werden:

- die zum Zwecke der Vergasung speziell angebaute Biomasse (hierunter fallen sämtliche Energiepflanzen, die sowohl holz- aber auch halmartig sein können, wie z. B.: Holz aus Energiewäldern, Chinaschilf, ganze Getreidepflanzen und Energiegräser) sowie
- Reststoffe, Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle. Diese können ebenfalls sowohl holzartig (Waldrestholz, Schwachholz, Landschaftspflege-Holz, Sägerestholz, unbehandeltes und behandeltes Altholz und Holz nach Endnutzung) als auch halmartig sein (Stroh, Landschaftspflege-Heu, Straßengrasschnitt sowie Wurzel und Hülsenfrüchte)

Generell lässt sich bezüglich der chemischen Zusammensetzung sagen, dass der jeweilige Gehalt an Kohlen-, Wasser- und Sauerstoff der biogenen Festbrennstoffe, ob holz- oder halmartig, untereinander fast gleich sind und in einer ähnlichen Größe liegen, wie die der fossilen Energieträger. Der Kohlenstoffgehalt von Anthrazit liegt allerdings doch deutlich über dem der biogenen Brennstoffe, der Schwefelgehalt dagegen um eine Größenordnung niedriger. Des Weiteren weist die halmartige Biomasse einen deutlich höheren Anteil an Chlor- und Stickstoffverbindungen auf, was besonders aufwendige Reinigungsverfahren des Rohgases erfordert. Ferner ist der Heizwert der biogenen Brennstoffe niedriger als der Heizwert der fossilen Energieträger und hängt größtenteils von der Feuchte der zu vergasenden Biomasse ab, sodass man meistens die Biomasse vortrocknen muss, bevor sie dem eigentlichen Vergasungsprozess zugeführt wird. Auch die Menge der anfallenden Asche liegt höher, besonders bei halmartiger Biomasse.

In der nächsten Instanz können sich weitere Unterschiede beim Einsatz von derselben Biomassenart schon aufgrund verschiedener Lagerungsbedingungen, Erntezeit und -art bzw. der Be- oder Verarbeitung ergeben. Der Feuchtegehalt ist einer der ausschlaggebenden und bereits angesprochenen Parameter. Außerdem erfordert z. B. die Vorbelastung der zu vergasenden Reststoffe durch Schadstoffe andere Vorverarbeitung als z. B. bei der Vergasung von Frischholz. Ferner ist zu beachten, dass die meisten Biomassenarten nicht nur regionalen, sondern auch starken saisonalen Schwankungen unterliegen.

All diese, und viele weitere Variationsmöglichkeiten, stellen vor dem Hintergrund der gewünschten, gleich bleibenden Qualität des Produktgases enorme Erfordernisse an die eigentliche Vergasung, sodass man in der Praxis die Anzahl der einsetzbaren Brennstoffe so stark reduziert (meist aus dem wirtschaftlichen Blickpunkt betrachtend) dass sich die Anlage auf Vergasung von einer bzw. mehreren verwandten Biomassearten beschränkt. Auf anderem Wege kann man die Qualität

des Produktgases nicht gewährleisten. Im Folgenden wird zum Zwecke des Technologievergleichs holzartige, unbehandelte Biomasse als Einsatzstoff betrachtet.

Prozess

Grundsätzlich kann man den Prozess der Vergasung von fester Biomasse in mehrere Schritte unterteilen: (1) Bereitstellung und Vorbehandlung der Biomasse, (2) die eigentliche Vergasung, (3) die Rohgasreinigung sowie dann (4) die Reingasnutzung.

Im Laufe der Jahre haben sich zahlreiche unterschiedliche Vergasungsverfahren entwickelt, die je nach eingesetzter Biomassenart allesamt Vor- und Nachteile mit sich bringen. Dabei spielt bei der Auswahl des geeigneten Verfahrens nicht nur die Zusammensetzung der zu vergasenden Biomasse eine Rolle. Darüber hinaus müssen, abhängig von der gewünschten Verwendung des Gases (z. B. Umsetzung in Gasturbine zu Strom und Wärme, Methanisierung zu SNG oder mittels Fischer-Tropsch-Synthese zu BTL) die Eigenschaften des Produktgases so eingestellt werden, dass dieses erst der nachgeschalteten Reinigung als auch der Verwendung zugeführt werden kann.

Man unterscheidet je nach Reaktorart des Vergasers zwischen den Festbettvergäsern, Wirbelschichtvergäsern sowie mehrstufigen Sonderverfahren.

Für den dezentralen Einsatz in Holzvergäsern oberhalb von 2 bis 5 MW werden überwiegend **Festbettvergäser** verwendet; da hier der verfahrenstechnische Aufwand vergleichsweise geringer ist, und eine bessere Gasqualität (hinsichtlich der Beladung mit unerwünschten Bestandteilen wie Teer und Partikel) erreicht werden kann⁹. Je nach Bewegungsrichtung der Biomasse und des Vergasungsmittels zueinander lässt sich die Hauptgruppe der Festbettvergäser in die Untergruppen aufteilen: Gleichstrom-Prinzip, Gegenstrom-Prinzip, Doppelfeuer-Prinzip (Kombination aus Gleich- und Gegenstrom) und Querstrom-Prinzip. Am häufigsten wird das Gleichstrom-Verfahren angewandt. Eine wenig verbreitete Bauart unter den Festbettvergäsern ist der sog. Querstromvergäser, bei dem das Vergasungsmittel senkrecht zur Bewegungsrichtung des Brennstoffs eingeblasen wird.

Oberhalb einer Leistung von ca. 2 MWel werden dagegen das **Wirbelschicht-Verfahren** sowie mehrstufige Vergäser eingesetzt (Steinbrecher & Walter, 2001; Arnold et al., 2006). Die Wirbelschichtvergäser unterteilen sich ebenfalls in mehrere Untergruppen abhängig davon, ob das feinkörnige, inerte Bettmaterial (z. B. Sand), das während des Betriebs durch die Anströmung des Vergasungsmittels eine flüssigkeitsähnliche Wirbelschicht ausbildet, ständig im Reaktor verbleibt oder zwischen diesem und einer zweiten Vergäserkammer zirkuliert. So spricht entweder man von stationärer Wirbelschichtvergasung oder von Zirkulierender Wirbelschichtvergasung.

Der Vorteil der beiden Verfahren gegenüber den Festbettverfahren ist die homogene Temperaturverteilung (700–900 °C) innerhalb des Reaktors, die durch das wirbelnde Bettmaterial zustande kommt. Auf diese Weise wird verfahrenbedingt eine bessere Wärmeübertragung und daraus resultierend auch ein besserer Durchsatz des Brennstoffs bei kompakten Anlagengrößen erzielt.

Das Teergehalt des Rohgases liegt etwa zwischen den Werten des Gleich- und des Gegenstromvergäser. Die Stäube entsprechen den mittleren Werten für die Festbettvergäser. Im Allgemeinen haben sich Wirbelschichtvergäser aufgrund des größeren technischen Aufwands, der benötigten

9 Quelle: <http://www.pyroforce.ch/index.asp?id=c>

Zusatzstoffen sowie der komplizierten Anlagentechnik bei Vergasern der Größenordnung über 10 MW bewährt.

Eine Besonderheit bei den Vergasertechnologien bilden die **mehrstufigen Sonderverfahren**, bei denen die Teilschritte der Vergasung voneinander entkoppelt werden können, sodass man einen sowohl teearmen als auch einen staubarmen Produktgas erhält. Der wesentliche Nachteil dieser Verfahren ist ihre Komplexität, die sie zum einen für dezentrale Energielösungen ungeeignet macht und zum anderen auch im zentralen Bereich großes Investitionskapital erfordert. Ein Beispiel für einen solchen zweistufigen Vergasungsprozess ist der Carbo V Vergaser, der für die Produktion des synthetischen Biokraftstoffs BTL eingesetzt wird (Arnold et al., 2006).

Weitere Unterscheidungen von Vergasungsverfahren betreffen die Bereitstellung der benötigten Wärme (autotherm oder allotherm) sowie das Vergasungsmedium (Luft, Sauerstoff, Sauerstoff-Wasserdampf-Gemisch unter unterschiedlichem Druck).

Kenndaten

In [Tabelle 5-4](#) sind einige relevante Kenndaten verschiedener ausgeführter Biomasse-Vergaser dargestellt. Wie aus den obigen Ausführungen erkennbar, werden kleinere Anlagen eher als Festbett-Vergaser, größere verstärkt als Wirbelschicht ausgelegt. Der Vergaser des Fraunhofer UMSICHT Instituts in Oberhausen, der in der ersten Zeile beschrieben ist, bildet eine Ausnahme, da es sich vor allem um eine Versuchsanlage in Labormaßstab handelte.

Ebenso ist erkennbar, dass gerade in den größeren Leistungsklassen bisher vor allem unbehandeltes Holz eingesetzt worden ist; die Umsetzung von verschiedenen Alt- und Resthölzern bleibt den eher dezentraler arbeitenden Anlagen vorbehalten. Die größte Flexibilität weist der Blaue Turm auf, der aufgrund seiner gestuften Reformierung verschiedenste Einsatzstoffe verarbeiten kann und dies in der Praxis auch schon gezeigt hat. Der Choren-Vergaser soll nach Herstellerangaben ebenfalls in der Lage sein, verschiedene Althölzer sowie Stroh umzusetzen. Im Dauerbetrieb ist dies in der Versuchsanlage aber noch nicht getestet worden.

Der Kaltgaswirkungsgrad ist definiert als das Verhältnis zwischen dem Energieinhalt des Energieträgers vor der Vergasung im Rohzustand (z. B. Heizwert von Holz) und dem Energieinhalt des Produktgases nach der Vergasung. Er ist speziell definiert für den Vergasungsprozess. Der Produktgasstrom muss temperaturbereinigt sein, wodurch es sich um rein chemische Energieinhalte handelt. Der Kaltgaswirkungsgrad kann zu Vergleichen zwischen Vergasern herangezogen werden, die das produzierte Gas unterschiedlichen Anwendungen zuführen. So wird z. B. die Anlage von Choren nicht primär im KWK-Betrieb gefahren, sondern es soll der synthetische Kraftstoff BTL erzeugt werden. Sowohl in Güssing als auch in Värnamo wird die weitere Methanisierung des Produktgases und die Bereitstellung von SNG (*Synthetic Natural Gas*) getestet. Die hohe Bandbreite der Angaben in Värnamo deutet auf den noch nicht vollständig ausgereiften Betrieb des Vergasers hin.

Tabelle 5-4: Kenndaten verschiedener Biomasse-Vergaser
(eigene Darstellung und verändert nach Steinbrecher & Walter, 2001)

		UMSICHT	Choren	Blauer Turm	Pyroforce	Güssing	Värnamo
Brennstoff							
Art		Hackschnitzel	Hackschnitzel	Hackschnitzel	Hackschnitzel	Hackschnitzel	Hackschnitzel
Stückigkeit	mm	k.A.	2-100	min 5x5x60, max 10x10x200	k.A.	min 15	0,5-8
Herkunft		Fichte, Naturholz, Spanplatten	Holz (Stroh, Altholz)	Grünschnitt, diverse Biomasse	Waldholz, Altholz: Parkettreste, Sägereste	holzartige Biomasse	(Holz)
Teergehalt	mg/Nm ³	2500	> 50	<1	k.A.	2000	2000-4500
Vergaser							
Reaktor		Wirbelschicht, stationär	zweistufig (Flugstrom / Wirbelschicht)	gestufte Reformierung	Festbett, Kombi aus Gleich- und Gegenstrom	Wirbelschicht, zirkulierend	Wirbelschicht, zirkulierend
Leistungsdaten							
Brennstoffeinsatz	kW	300	> 480	400 - 800	>590	6.000-7.000	18.000
elektr. Leistung	kW	60 /43	150	k.A.	200	1.700	4.900 - 5.800
Wärme-Nutzung	kW	keine Nutzung	250	k.A.	230	4.500	8.200 - 8.900
Wirkungsgrade							
Kaltgas	%	70 - 74	k.A.	75	78	72	66-83
elektrisch	%	27	31	k.A.	k.A.	26	29-32

5.2.2 Verbrennung fester Biomasse

Für die Erzeugung von Wärme aus Biomasse haben verschiedene Arten der Holzfeuerung die größte Bedeutung. Zu unterscheiden ist zunächst grob nach Art des Brennstoffeinsatzes zwischen Scheitholz-, Hackschnitzel- und Pelletkesseln. Scheitholz und Pellets eignen sich sowohl für Einzelraumfeuerungen als auch für Zentralheizungssysteme und kommen vorwiegend im Hauswärmebereich zum Einsatz, während Hackschnitzel vorwiegend in größere Heizanlagen und Heizkraftwerken verbrannt werden.

Einsatzstoffe

Scheitholz, oder Stückholz, ist in der Regel Restholz, welches bei der Gewinnung von Nutzholz als nicht verwertbarer Anteil anfällt und nur durch Axt und Säge auf entsprechende Größe (ca. 30 bis 100 cm Länge) gesägt bzw. gespalten wurde. Als Holzarten kommen sowohl die volumenbezogen etwas energiereicheren Laubhölzer (z. B. Buche und Eiche) als auch Nadelhölzer (z. B. Kiefer und Fichte) in Betracht. Scheitholz ist typischerweise der preiswerteste Holzbrennstoff.

Holzhackschnitzel werden mit einem Hacker aus Rest- und Schwachholz hergestellt. Sie sind etwa Streichholz- bis Zigarettenschachtel groß. Ihr Rindenanteil sollte nicht zu groß sein, da sonst in verstärktem Maße Asche anfällt. Gegenüber Stückholz haben Hackschnitzel den Vorteil, dass sie schütffähig sind, so dass eine automatische Beschickung ermöglicht wird. In Deutschland gibt es keine DIN Normen für Holzhackschnitzel, obwohl die Anforderungen an den Brennstoff bezüglich Größe, Querschnitt und Wassergehalt recht genau definiert sind. Bislang wird in Deutschland die österreichische Norm M 7133 zur Anwendung gebracht; auf europäischer Ebene wird aber bereits an einem Normungswerk für feste Biobrennstoffe aus Produkten der Land- und Forstwirtschaft, aus pflanzlichen Abfällen aus Land- und Forstwirtschaft und der Nahrungs- und Futter-

mittelindustrie sowie Holz- und Korkabfälle gearbeitet. Diese Normen werden die Terminologie, Spezifizierung und Klassierung von Biobrennstoffen, die Probenahme und Probenaufbereitung, physikalische, mechanische und chemische Prüf- und Analyseverfahren und die Qualitätssicherung von Biobrennstoffen regeln. Die Brennstoffpreise für Holzhackschnitzel liegen zwischen denen von Scheitholz und Pellets.

Holzpellets sind normierte, auf maximal 12 Prozent Restfeuchte getrocknete, und wie Holzdübel geformte Presslinge aus naturbelassenen Restholz, die i.d.R. aus Sägemehl sowie Fräs- und Hobelspanen der Holzverarbeitenden Industrie hergestellt werden. Die Pellets haben einen Durchmesser von 4 bis 10 mm bei einer Länge von 20 bis 50 mm. Zur Qualitätssicherung trägt die Normierung nach DIN 51731 (für Deutschland, sowie ÖNORM M 7135 für Österreich) bei. Seit dem Frühjahr 2002 gibt es die DINplus, sie fasst die deutschen und österreichischen Normen zusammen und gewährleistet einheitliche Qualität auf beiden Seiten der Alpen¹⁰.

Ein Vorteil der Pellets ist ihre hohe Lagerdichte und gute Transportlogistik: Ihr Energieinhalt beträgt rund 5 kWh/kg und ist volumenbezogen etwa vier mal so groß wie der von Hackschnitzeln. Pellets können in größeren Mengen mit Silotankwagen und in kleineren Mengen sackweise angeliefert werden.

Aufgrund des niedrigen Aschegehalts der Pellets (< 1,5 Prozent) muss lediglich vier- bis fünfmal im Jahr Asche entnommen werden. Diese kann als Dünger verwendet oder in der Bio- bzw. Hausmülltonne entsorgt werden.

Prozess

Scheitholzkessel müssen – in der Regel alle vier bis acht Stunden – von Hand beschickt werden und sind daher weit weniger komfortable als Hackschnitzel- oder Pelletanlagen. Allerdings ist die Verbrennung gleichmäßig und erfordert wenig Wartung. Es wird zwischen Oberbrandkessel und Vergaserkessel unterschieden. Die Oberbrandkessel haben das Funktionsprinzip des oberen Abbrands, das Holz brennt also von oben nach unten im Festbett ab. Die feuerungstechnische Wirkungsgrade sind vergleichsweise gering bei relativ hohen Staub- und CO-Emissionen. Bei Scheitholzvergaserkessel dagegen die Flamme nicht nach oben durch die Brennstoffschicht, sondern das Holz vergast im Glutbett und die seitlich oder nach unten geführten Holzgase werden in einer separaten Brennkammer verbrannt.

Die im Glutbett entstehenden Schwelgase (Pyrolysephase) werden mit Hilfe eines Saugzuggebläses in die Brennkammer gesaugt, wo sie mit vorgewärmter Sekundärluft verbrennen (Oxidationsphase). Stückholzkessel können nicht über die Brennstoffdosierung in ihrer Leistung reguliert werden, jedoch ist durch Veränderung der zugeführten Verbrennungsluft eine begrenzte Leistungsregelung möglich (bei modernen mikroprozessorgesteuerten Anlagen herunter auf bis zu 50 Prozent der Nennleistung). Mittels Messung mit einer Lambdasonde und anschließender entsprechender Einstellung der Sauerstoffzufuhr können außerdem die Emissionen vermindert werden. Um hinsichtlich Wirkungsgrad und Emissionen im optimalen Betriebspunkt fahren zu können, empfiehlt sich zusätzlich die Installation eines Pufferspeichers mit einer spezifischen Mindestgröße zwischen 50 und 100 Litern je Kilowatt Nennleistung.

¹⁰ Quelle: <http://www.dk-pellets.de/din-din-plus->

Trotz – im Vergleich zu Pellets – geringerer Brennstoffpreise sind aufgrund des höheren technischen und baulichen Aufwands *Hackschnitzelanlagen* erst ab einer Größe von ca. 50 kW wirtschaftlich zu betreiben. Das ist darin begründet, dass Hackschnitzel-Heizungen aus deutlich mehr Anlagenkomponenten bestehen: Hackschnitzelsilo/-lager mit Austragungssystem, Hackschnitzel-Förderanlage, Kessel mit Sicherheitssystem (Rückbrandsicherung, Sicherheitswärmetauscher), Ascheaustragung und ggf. Aschelagerbehälter, ggf. Pufferspeicher. Auch der Platzbedarf für Heizraum und Lager/Silo ist größer. Entsprechend liegen auch die Investitionen in Hackschnitzelheizungen deutlich höher.

Moderne Hackschnitzelfeuerungen zeichnen sich durch hohe Kesselwirkungsgrade aus. Sie werden in den verschiedenen Ausführungen wie Einschub-, Unterschub- und Rostfeuerung betrieben. All diese sind automatisch beschickte Systeme, die mittels Schnecke oder hydraulischer Schubvorrichtung den Brennstoff entsprechend dem Bedarf dem Brennraum zuführen. In Kombination mit einer automatisch geregelten Luftzufuhr für Primär- und Sekundärluft werden relativ hohe Wirkungsgrade erzielt. Die Brennerleistung kann auf bis zu 30 Prozent der Nennleistung moduliert werden. Ein Pufferspeicher ist nicht unbedingt erforderlich, jedoch empfehlenswert, um in Schwachlastzeiten die notwendige Zahl an Kesselstarts zu minimieren.

Pellet-Heizsysteme werden in verschiedenen Bauarten nach Anwendungsbereichen, Heizleistung und Bedienkomfort angeboten. Man unterscheidet laut (FNR, Pelletzentralheizung) nach

- Pelletöfen mit/ohne Wassertasche zur Aufstellung in Wohnräumen,
- halbautomatische Pellet-Zentralheizungen (mit Vorratsbehälter),
- vollautomatische Pellet-Zentralheizungen (mit Saug- oder Schneckenförderung aus Lagerraum/Silo),
- sonstige Pelletfeuerungen (Pelletfeuerungen für Kachelöfen, Kochherde mit Pelletsfeuerung).

Als Einzelöfen werden sie mit einer Leistung zwischen 2–15 kW bauartbedingt hauptsächlich dort aufgestellt, wo die Wärmenutzung stattfindet, da die Wärmeabgabe überwiegend über Konvektion und Radiation erfolgt. Sie besitzen einen vom Brennraum abgetrennten Vorratsbehälter, der in regelmäßigen Abständen von Hand befüllt werden muss. Der Behälter ist so ausgelegt, dass der Vorrat – abhängig von Modell und Heizbedarf – für eine Brenndauer von ca. 24 bis 100 Stunden ausreicht. Der Vorratsbehälter kann auch während des Heizbetriebs gefahrlos aufgefüllt werden. Aus dem Vorratsbehälter werden die Pellets mittels einer Schnecke vollautomatisch in den Verbrennungsraum gefördert und elektrisch gezündet. Die Menge der eingetragenen Pellets wird hierbei durch die zuvor über einen Thermostatregler eingestellte Heizleistung bzw. Raumtemperatur bestimmt.

Im Wohnraum aufgestellte Einzelöfen können in einer erweiterten Variante – zusätzlich mit Wassertaschen ausgestattet und an ein Heizsystem angeschlossen – neben der direkten Strahlungswärme (ca. 20 Prozent) auch Wärme an Radiatoren in anderen Räumen und für die Brauchwassererwärmung abgeben. Diese Variante ist ideal in Kombination mit einer Solaranlage, die in der heizfreien Zeit die Warmwasserversorgung übernimmt. Über die Einspeisung von erwärmtem Wasser in ein Zentralheizungssystem kann damit auch die gesamte Gebäudeheizung und Brauchwassererwärmung erfolgen. Aufgrund der geringen Größe der Brennstoff-Vorratsbehälter und der daher erforderlichen regelmäßigen Befüllung eignet sich dieses Heizsystem insbesondere

für die Beheizung von Häusern und Wohnungen mit geringem Wärmebedarf (Etagenwohnung, Niedrigenergiehaus, Passivhaus).

Als Zentralheizungsanlagen (Wärmenutzung nur außerhalb des Aufstellraums) werden Pelletanlagen mit automatischer Beschickung über eine Saug- oder Schneckenförderung aus einem Pelletbunker angeboten. Letztere werden in einem Heizraum installiert und sind ähnlich komfortabel zu bedienen wie konventionelle Öl- oder Gasheizungen. Pelletheizungen erreichen aufgrund ihrer gleichmäßigen Verbrennung sowohl die höchsten Wirkungsgrade (bis zu 95 Prozent) als auch die besten Emissionswerte von den hier betrachteten Holzverbrennungssystemen. Pelletkessel werden neben der Standardausführung als Niedertemperaturkessel mittlerweile auch in Brennwerttechnik angeboten.

Halbautomatische Pellet-Zentralheizungen verfügen am Heizkessel über einen größeren Vorratsbehälter, der den Wochen- oder Monatsbedarf an Pellets aufnehmen kann. Der Vorratsbehälter wird manuell befüllt. Wie bei den Pelletöfen werden auch bei den voll- und halbautomatischen Zentralheizungen die Pellets mit Hilfe einer Förderschnecke in den Brennraum transportiert. Die Menge der eingetragenen Pellets wird hierbei von einer programmierbaren Steuerungsanlage geregelt und ist mit der Brennstoffzuführung moderner Ölheizungen vergleichbar. Im Gegensatz zu den Pelletöfen, bei denen die Abgabe von Strahlungs- und Konvektionswärme zur Beheizung des Wohnraumes erwünscht ist, sind die Zentralheizungen vollständig isoliert, um die Abstrahlungsverluste im Heizungsraum zu minimieren.

Pufferspeicher sind bei Pellet-Zentralheizungssystemen nicht zwingend erforderlich. Durch den Einbau eines Pufferspeichers ist es jedoch möglich, die Zahl der täglichen Brennerstarts zu reduzieren und den Heizkessel über längere Zeit im Vollastbetrieb zu fahren. Auf diese Weise können der Wirkungsgrad verbessert und die Emissionen verringert werden. Vor allem für Gebäude mit einem geringen Wärmebedarf ist der Einbau eines Pufferspeichers empfehlenswert. Insgesamt gesehen erhöht der Einbau eines Pufferspeichers den Komfort der Anlage.

Tabelle 5-5: Kenndaten verschiedener Biomasse-Feuerungssysteme (eigene Darstellung)

		Scheitholz	Pellets	Hackschnitzel
Brennstoff				
		Restholz; Holzbricketts	naturbelassenes Holz	Waldrestholz, Schwachholz, Landschaftspflege; chem. unbehandeltes Restholz
Einsatzbereich				
Leistungsbereich				
von	kW	4 - 15	5 - 15	15 - 1.000
bis	kW	50	30	> 1.000
Einsatz in		Hauswärme; Einzelraum - und Zentralheizung	Hauswärme; Einzelraum - und Zentralheizung	Heizungsanlagen; überwiegend Heizkraftwerke
technische Daten				
Auslastung	h/a	1.600	1.600	1.600
Nutzungsgrad	%	65	85	83-85

5.2.3 Vergärung feuchter Biomasse zu Biogas

Biogas kann durch Vergärung (sog. Fermentation) unterschiedlicher Eingangsstoffe (Substrate) gewonnen werden, deren Aufbau auf Kohlehydraten, Fetten, Eiweißen sowie Zellulose oder Hemizellulose (Lignin) beruhen. Dazu zählen verschiedene Reststoffe, wie landwirtschaftliche Ernterückstände und Tierexkremate (Gülle), industrielle und kommunale Rückstände aus Biotonne. Von Bedeutung ist dazu zunehmend die Vergärung von Nachwachsenden Rohstoffen (Nawaro).

Einsatzstoffe

Abbildung 5-3 gibt einen Überblick über den Einsatz der unterschiedlichen Substratkategorien für die Situation von Mitte 2005 bis Ende 2006 (Scholwin et al., 2007). Seitdem ist die Fläche, die für den Anbau von Biogassubstraten verwendet wird, nochmals stark auf 500.000 ha in 2008 (2006: ca. 200.000 ha geschätzt) angestiegen¹¹, so dass eine nochmalige deutliche Verschiebung der Anteile hin zu Nawaro erwartet werden kann.

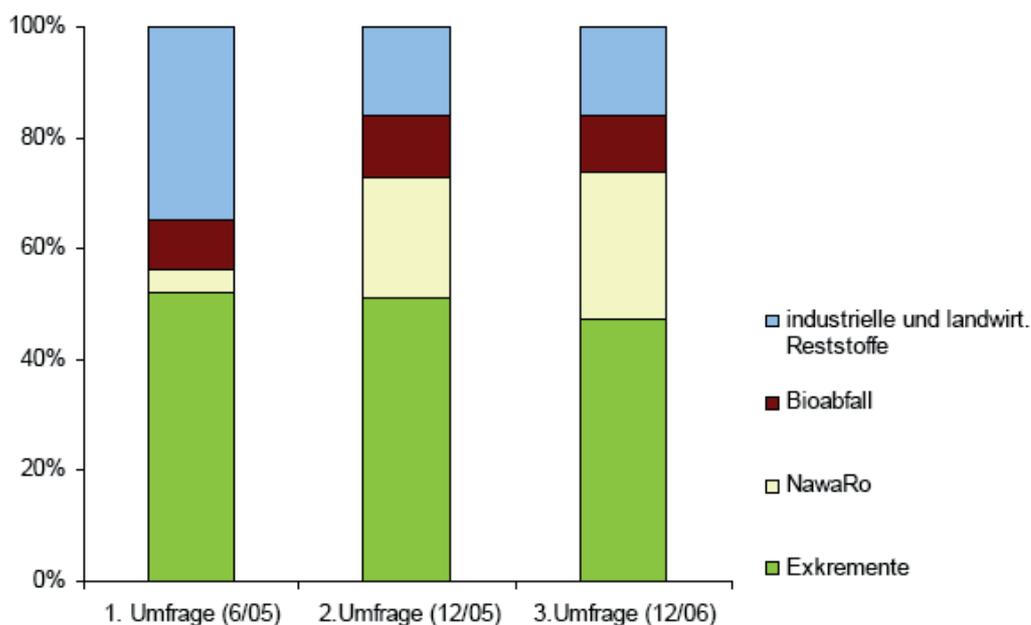


Abbildung 5-3: Verteilung der Biogassubstrate nach Herkunft (Scholwin et al. 2007)

Eine andere Entwicklung lässt gegenläufige Entwicklungen erwarten: seitdem zum November 2006 das Verbot zur Verfütterung von Küchen- und Speiseresten in Kraft getreten ist, müssen für diese andere Entsorgungs- bzw. Verwertungswege gefunden werden. Es wird erwartet, dass diese zum großen Teil in (betriebseigenen) Vergärungsanlagen umgesetzt werden (Hempfen, 2006).

Durch die Novellierung des EEG zum Anfang 2009 (siehe Abschnitt 3.1.1) sollen mittels eines höheren Gülle-Bonus auch die Potenziale an tierischen Reststoffen wieder verstärkt in die Nutzung genommen werden.

¹¹ Online Statistik der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (www.fnr.de)

Prozess

Der Prozess der Erzeugung von Biogas wird im Folgenden allgemein am Beispiel der Nutzung Nawaro kurz beschrieben. Auf die Besonderheiten der Vergärung von Reststoffen wird in Abschnitt 5.3.2 näher eingegangen.

Das Substrat wird in unmittelbarer Nähe der Biogasanlage im Silo eingelagert und mit Folie abgedeckt. Die Bevorratung großer Mengen Biomasse ist insbesondere bei Nutzung von Nawaro erforderlich, denn die Erträge aus einer oder maximal zwei Ernten pro Jahr (abhängig von den eingesetzten Substraten) müssen für den dauerhaften Volllastbetrieb der Biogasanlage bis zur nächsten Ernteperiode zur Verfügung stehen. Die abgedeckte Lagerung der Biomasse dient als biochemische Konservierungsmethode, die als Silierung bezeichnet wird: Hierbei werden aerobe Mikroorganismen wie Schimmelpilze unterdrückt und Zucker wird mit Hilfe von Milchsäurebakterien in Säure umgewandelt, wodurch das Wachstum gärschädlicher Bakterien behindert wird (Soukup, 2008).

Aus dem Silo wird das Substrat dem Fermenter und dem eigentlichen Prozess der Gasbildung zugeführt. Bei Einsatz des weit verbreiteten kontinuierlichen oder quasi-kontinuierlichen Verfahrens wird hierfür durch einen Rad- oder Teleskoplader zunächst ein Dosierer beschickt, welcher mit Förderschnecken automatisch für einen gleichmäßigen Eintrag der Silage in den Fermenter sorgt. Eine entsprechend große Menge an vergorenem Substrat verlässt gleichzeitig den Reaktor. Es entsteht ein gleichmäßiger Durchfluss, dessen Geschwindigkeit die durchschnittliche Verweildauer der Biomasse im Fermenter bestimmt. Beides ist von der Umsetzung des Substrats zu Biogas abhängig ist.

Daneben werden auch diskontinuierliche oder Batch-Verfahren eingesetzt, bei denen die vollständige Befüllung eines Fermenters mit frischem Substrat in einem Arbeitsgang erfolgt. Es existieren demnach verschiedene Fermentationsverfahren und zudem eine Vielzahl unterschiedlicher Fermenterbauformen: stehende oder liegende Behälter aus Beton oder Stahl in verschiedenen Größen, oft ausgerüstet mit unterschiedlichsten Rührwerken zur Substratdurchmischung. In Abhängigkeit vom Trockenmassegehalt des Fermentationsraumes unterscheidet man zudem zwischen Nass- und Trockenfermentation (Soukup, 2008).

Unabhängig von der technischen Ausführung verläuft die Biogasgewinnung immer unter Licht- und Sauerstoffabschluss nach dem gleichen Prinzip der anaeroben Fermentation. Die meisten Fermenter werden im mesophilen Temperaturbereich von 32 ° C bis 42 ° C betrieben, was eine Wärmedämmung und Beheizung des Behälters erforderlich macht. Der Prozess läuft in vier Stufen ab: der Hydrolyse (Zerlegung des Ausgangsmaterial in einfache organische Bausteine), Acidogenese (Bildung von niederen Fettsäuren), Acetogenese (Umwandlung der Zwischenprodukte zu hauptsächlich Essigsäure, Kohlendioxid und Wasserstoff) und Methanogenese (Methanbildung) (FNR, 2007c). Die dargestellten Phasen der Biogasgewinnung können entweder in einstufigen Anlagen gemeinsam ablaufen (unter Ausrichtung an die optimalen Bedingungen für die besonders empfindlichen Methan-Bakterien) oder durch mehrstufige Auslegung des Fermenters räumlich voneinander getrennt werden, um die verschiedenen Milieuanforderungen der unterschiedlichen Bakterienstämme besser berücksichtigen zu können.

Zu beachten ist, dass sich die Erzeugung von Biogas als mehrstufiger biochemischer Prozess nach obigem Prinzip in einem empfindlichen Gleichgewicht befindet (vgl. FNR, 2006). Bei Hemmung

der Aktivität einzelner Bakterienstämme (z. B. durch Abweichung von ihrem Temperatur- oder pH-Optimum) kann es zu unerwünschten Kettenreaktionen bis hin zum „Zusammenbruch“ der Fermenterbiologie kommen.

Die Stoffkonzentrationen der einzelnen Bestandteile des Biogases können insbesondere in Abhängigkeit von den Nährstoffzusammensetzungen der Ausgangssubstrate und der Betriebsführung der Anlage stark variieren.

Das mit Hilfe der Fermentation gewonnene Rohgas gelangt in einen Speicherraum, der bei stehenden Fermentern üblicherweise als Folienspeicher oberhalb des Reaktorraumes angelegt ist und das Dach der Anlage bildet. In einer typischen landwirtschaftlichen Biogasanlage wird das Rohgas nun in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zu elektrischem Strom und Wärme umgesetzt. Die Speicherung des Gases bewirkt hierbei, dass sowohl Fermenter als auch BHKW für kurze Zeit unabhängig vom jeweils anderen Anlagenteil betrieben werden können: Bei Ausfall oder Wartung des BHKW können die Speicher gefüllt werden, anstatt das Gas über eine Notfackel abbrennen zu müssen. Umgekehrt kann das BHKW bei schwankender Gasproduktion durch Bezug des gespeicherten Gases mit konstanter Leistung arbeiten. Sowohl bei der Fermentierung und Lagerung als auch im BHKW kann es zu Methanverlusten kommen, die durch Prozessoptimierung zwar reduziert, aber nicht gänzlich verhindert werden können.

Während der Speicherung und Verfeuerung des Biogases wird das weitgehend ausgefaulte Ausgangssubstrat, das jetzt als Gärrest bezeichnet wird, nach einer gewissen Verweildauer im Fermenter in einen Nachgärbehälter und schließlich in ein Gärrestlager überführt. Auch hier findet nach dem oben beschriebenen Prinzip noch Neubildung von Biogas statt, wenn auch in deutlich geringerem Ausmaß. Moderne Biogasanlagen verfügen über ein abgedecktes Gärrestlager, wodurch auch die Einleitung dieser Gasmengen in die Folienspeicher ermöglicht wird. Unkontrolliertes Entweichen methanhaltiger und damit stark klimawirksamer Gase in die Atmosphäre wird so verhindert. Ältere Anlagen sind dagegen oft noch mit offenem Gärrestlager konstruiert.

Die Mineralstoffe, die von den Energiepflanzen während ihres Wachstums aufgenommen wurden, bleiben nach der Fermentation zu einem Großteil im Gärrest zurück, weshalb dieser ein wertvolles Nebenprodukt darstellt: Mit Traktor und Tankwagen wird der Gärrest zur Ausbringung auf die Felder gefahren. Als Wirtschaftsdünger ersetzt er hier zumindest teilweise den Zukauf von großtechnisch hergestellten Mineraldüngern. Von einem vollständig geschlossenen Nährstoffkreislauf kann allerdings nicht ausgegangen werden, da z. B. der Stickstoff im Gärrest nur teilweise in pflanzenverfügbarer Form vorliegt. Dennoch senkt die Gärrestnutzung die Kosten des Substratanbaus und reduziert die Umweltbelastung aus den Vorketten der Düngemittelproduktion. Die entsprechende Gutschrift ist in die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen mit einzuschließen. Sie ist nicht als optional zu betrachten, da der Umgang mit den anfallenden Gärresten ein wesentlicher Bestandteil sowohl der Anlagentechnik als auch des Substratmanagements ist (Soukup, 2008).

Kenndaten der Vergärung

Die verschiedenen Substratkategorien können aus technischer Sicht in nahezu beliebigen Zusammensetzungen in der Anlage vergärt werden. Auf Restriktionen in Bezug auf die Verwendung verschiedener Substrate wird in Abschnitt 5.3.2 eingegangen.

Tabelle 5-6: Spezifische Kenndaten für exemplarische Biogasanlagen (eigene Darstellung nach KTBL, 2007)

	Substrateigenschaft	Biogasertrag l/kg oTS	Methangehalt %	Ertrag elektr. Strom kWh/t FM
Wirtschaftsdünger				
Hühnerkot	Trockengut, ohne Stroh	500	65	383
Pferdemist	ohne Stroh	300	55	121
Rindergülle	ohne Futterrest	280	55	35
Nachwachsende Rohstoffe				
Maissilage	Teigreife	600	52	315
Getreide-GPS	mittlere Kornanteile	520	52	311
Gras	Silage	560	54	325
Zuckerhirse	-			
Weiterverarbeitung organischer Reststoffe				
Obsttrester	frisch, unbehandelt	520	52	204
Bioabfall	<i>Einzelfallbetrachtung erforderlich!</i>	615	60	258
Frittierfett	-	1.000	68	1.966
Getreideschlempe	aus Alkoholproduktion	640	59	74
Glyzerin	-	850	53	713
Speisereste	mittlere Fettgehalte	680	60	199

Tabelle 5-6 zeigt die Ausbeuten an Roh-Biogas, Methangehalt sowie elektrischem Strom (angenommener Wirkungsgrad der Verstromung 35 Prozent im BHKW) für verschiedene Substrate im Vergleich. Es wird deutlich, dass sowohl ein hoher Rohgasertrag als auch ein hoher Methangehalt wichtig für eine möglichst hohe Stromausbeute sind. Allerdings können Substrate mit potenziell hohem Stromertrag andere Schwierigkeiten mit sich bringen, so dass die hier aufgeführten Kennzahlen nur einen Beitrag zur Entscheidungsfindung leisten, diese aber nicht allein bestimmen. So ist z. B. bei Einsatz von Hühnerkot zu beachten, dass mit dem Substrat Sand in den Fermenter getragen wird, was eine häufigeres Reinigungsintervall mit sich bringt. Die großmaßstäbliche Verwendung von Frittierfett oder Glyzerin ist ebenfalls derzeit trotz hoher Stromerträge nicht bekannt.

5.2.4 Vergärung zu Bioethanol

Eine Option zu energetischen Nutzung von Biomasse, die in letzter Zeit wieder attraktiver wird, ist die Herstellung von Bioethanol. Dabei kann sowohl getreideartige als auch zellulosehaltige Biomasse unter Beigabe verschiedener Zusätze zu Bioethanol verarbeitet werden.

Mit Hilfe der Daten der zwei größten Bioethanol-Hersteller Deutschlands soll im Folgenden der Prozess näher beleuchtet werden. Es handelt sich hierbei um die Firmen Verbio und CropEnergy ansässig in Schwedt an der Oder bzw. in Zeitz in Sachsen-Anhalt.

CropEnergy ist der europaweit größte Bioethanol-Produzent, der jährlich ca. 700.000 t stärkehaltiges Getreide und Zuckersirup in über 205.000 t Bioethanol umwandelt. Bei der Firma Verbio aus

Schwedt setzt man etwas weniger um. Aus 500.000 t Getreide werden etwa 160.000 t Bioethanol hergestellt.¹²

Einsatzstoffe

Als Inputstoffe verwenden beide Firmen vorwiegend Getreide. Bei CropEnergies werden Weizen, Gerste, Triticale und Mais, sowie Zuckersirupe aus der nahe gelegenen Zuckerfabrik umgesetzt. Außerdem experimentiert man derzeit mit zellulosehaltigen Biomassen wie Holz und Stroh. Bei Verbio liegt der Fokus auf Roggen, Weizen und Triticale; es werden Tests auf Basis von Mais durchgeführt.

Prozess

Der Prozess der Ethanolherzeugung ist bei beiden Unternehmen sehr ähnlich. Zuerst wird das Getreide zermahlen, dann unter Beigabe von Wasser und Katalysatorenzymen verzuckert. Anschließend wird dem Gemisch Hefe hinzugefügt, sodass die eigentliche Vergärung beginnen kann. Als Produkt erhält man eine ethanolhaltige Maische, die nach mehrmaligen durchlaufen der Destillation und Rektifikation schließlich entwässert wird und als nahezu 100-prozentiges Bioethanol zur Verfügung steht.¹³

Arbeitet man statt mit Getreide mit Zuckersirupen (CropEnergies), so entfallen die beiden ersten Schritte (Zermahlung und Verzuckerung), sodass der Sirup direkt mit Hefe vermischt und der Fermentation hinzugefügt wird.¹⁴

In beiden Fällen fällt als Nebenprodukt der Vergärung die sog. Schlempe an – eine proteinhaltige Masse, die nach Trocknung und ggf. Pellettierung vielfältigen Verwendungen zugeführt werden kann. So vermarktet CropEnergies die Schlempe als Kraftfutter unter einem eigenen Markennamen. Sie kann aber auch als Dünger eingesetzt werden. Bei Verbio dagegen denkt man derzeit darüber nach, die Schlempe zur Biogaserzeugung einzusetzen.

Kenndaten

Betrachtet man die energetische Bilanz der Bioethanol-Herstellung der o. g. Firmen, so ergibt sich ein Wirkungsgrad von ca. 0,76. Dabei werden in der Prozesskette auf der positiven Seite sowohl der Energiegehalt des Bioethanols als auch das der Nebenprodukte eingerechnet. Auf der Seite der Aufwendungen summieren sich auf: der energetische Aufwand beim Anbau (Aussaat, Düngung, Ernte, Lagerung, Transport, usw.), der Aufwand bei der Bioethanol-Herstellung selbst, sowie der Energiebetrag, der zur Fertigstellung der Nebenprodukte benötigt wird (z. B. Trocknung der Schlempe).

Bei den Produkten beider Firmen handelt es sich jeweils um ca. 100-prozentiges Bioethanol, dessen Energiegehalt bei ca. 2.355,5 kWh/t liegt. Aus den jeweiligen Produktionsmengen ergeben sich die jährlich bereitgestellte Energiemengen von rund 376,88 GWh (Verbio) und 482,88 GWh (CropEnergies).

12 Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bioethanol>

13 Quelle: http://www.verbio.de/Portaldaten/1/Resources/unternehmen/zahlen_daten_fakten/VERVIO-Flyer_de.pdf

14 Quelle: http://www.cropenergies.com/de/Bioethanol/Produktionsverfahren/Schema-d_2.pdf

5.2.5 Veresterung von Ölen und Fetten

Eine weitere Möglichkeit der energetischen Nutzung fester Biomasse ist die Veresterung von Pflanzenölen bzw. Fetten zu Biodiesel. Die Firma Verbio aus Schwedt an der Oder als einer der größten Biodiesel-Hersteller in Deutschland verfügt nach eigenen Angaben über eine jährliche Nennkapazität von 400.000 t Biodiesel.¹⁵ Dies ergibt, nach Einbeziehung des Biodiesel-Heizwerts¹⁶ einen jährlichen Energieertrag von 4.160 GWh.

Einsatzstoffe

Prinzipiell kommen alle ölhaltigen Pflanzen als Rohstoff für die Biodieselproduktion in Frage. In Deutschland wird in erster Linie Raps eingesetzt, in kleineren Mengen werden auch importierte Öle wie Sojaöl oder Sonnenblumenöl, aber auch in geringem Maße Fettsäuren verwendet.

Prozess

Die Früchte der Ölpflanzen werden zunächst in Ölmühlen ausgepresst. Dabei fällt als Nebenprodukt eine ölhaltige Masse an, die u. U. energetisch weiterverwendet werden kann. Im nächsten Schritt werden die o. g. Pflanzenöle raffiniert, um freie Fettsäuren aus dem Prozess zu entfernen. Die so gereinigte Mischung kann dann nach Zugabe von Methanol und einem weiteren Katalysatorstoff chemisch zu Biodiesel umgewandelt werden. Dabei fällt als Nebenprodukt Glycerin an. Bevor das Endprodukt für die Distribution freigegeben werden kann, muss es zunächst noch gewaschen und anschließend getrocknet werden.

Sowohl das für die Waschung verwendete Wasser als auch das Nebenprodukt Glycerin werden gereinigt (im Falle des Glycerins muss als Adsorber für die Verunreinigungen Aktivkohle eingesetzt werden) und entweder dem Prozess wieder zugeführt, oder aber separat vermarktet. Die Firma Verbio vermarktet das auf die o. g. Weise produzierte Glycerin auf dem Pharma-, Kosmetik- und Lebensmittelsektor.

Als Inputstoffe für die Biodieselproduktion setzt man bei Verbio in erster Linie (ca. 70 Prozent) Raps ein. Außerdem verwendet man zu geringen Anteilen auch Sojaöl und Fettsäuren.

5.3 Technische Restriktionen der jeweiligen energetischen Nutzungen

Wie in der Einleitung des Kapitel erwähnt, wird im Folgenden auf technische oder organisatorische Hindernisse eingegangen, die entstehen können, wenn anstelle von unbehandelter Bio-Rohstoffe solche eingesetzt werden, die zuvor eine oder mehrere stoffliche Nutzungen durchlaufen haben. Dabei ist es nicht möglich, jede Möglichkeit erschöpfend zu behandeln; es soll vielmehr ein Überblick gegeben werden, der es ermöglicht, eine Vorauswahl an Kaskadennutzungen zu treffen. Die folgenden Untersuchungen orientieren sich in weiten Teilen an den verschiedenen

15 Quelle: http://www.verbio.de/Portaldaten/1/Resources/unternehmen/zahlen_daten_fakten/VERVIO-Flyer_de.pdf

16 Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>

Brennstoffen, mit denen Erfahrungen vorliegen. Die Ergebnisse sind daher nicht in jedem Fall aussagekräftig für die Nutzung von recycelten Reststoffen, können aber einen Eindruck vermitteln, an welchen Stellen mit welcher Art von Problemen zu rechnen sein kann.

5.3.1 Thermische Umsetzung fester Biomasse

Die Schwierigkeiten, die bei der Verbrennung bzw. Vergasung fester Biomassen auftreten können, sind in weiten Teilen recht ähnlich, da sie mit der Chemie der thermischen Umsetzung zusammenhängen. Beide Verfahren werden daher im Folgenden parallel betrachtet. Wie auch für die Abschnitte 5.2.1 und 5.2.2 gilt, dass an dieser Stelle nur ein recht allgemeiner Überblick über zu erwartende Restriktionen gegeben werden kann, da die technischen Anforderungen und das Emissionsverhalten stark vom eingesetzten Brennstoff sowie der Prozessführung der Verbrennung bzw. Vergasung abhängig sind (Steinbrecher & Walter, 2001). Die folgenden Ausführungen werden daher für die später ausgewählten Kaskaden genauer spezifiziert.

Für alle Kleinf Feuerungsanlagen gilt generell, dass ausschließlich naturbelassene (d.h. unbehandelte) Hölzer verwendet werden dürfen, die außerdem zuvor ausreichend getrocknet werden sollten (ein- bis zweijährige Lagerung) (FNR, 2007e).

Die Qualität von Holzhackschnitzel und Holzpellets wird durch Normen geregelt, die neben Größe und Abmessungen auch Eigenschaften wie Wasser-, Asche-, Stickstoff- und Chlorgehalt sowie Heiz- bzw. Brennwert festlegen. Insbesondere für die Betreiber kleinerer Hackschnitzelheizungen mit Austragungs- und Fördersystemen, die nicht auf die Förderung größerer Anteile Feinmaterial oder Hackgut mit erheblicher Überlänge ausgelegt sind, bieten die Normen und Zertifizierungsangebote die Möglichkeit, klassifizierte Hackschnitzel einzukaufen, die einen störungsfreien Anlagenbetrieb gewährleisten (FNR, 2007e). Wenn im Zuge einer Kaskadennutzung andere Rohstoffe als bisher zu Hackschnitzel oder Pellets verarbeitet werden sollen, sollten diese die definierten Eigenschaften so weit als möglich einhalten, um nicht die KMU und privaten Anwender als Märkte zu verlieren.

Ein generelles Problem bei der thermischen Umsetzung von Biomasse ist der **Aschegehalt** der Energieträger, der zu einer Auswirkung auf die Schadstoffemissionen und damit die Umweltbelastungen hat, zum anderen die technischen Aufwendungen beeinflusst (Hartmann et al., 2003). Wesentlich für die technischen Anforderungen ist neben dem Aschegehalt das Erweichungsverhalten in Abhängigkeit der Aschezusammensetzung.

Lagern sich Aschepartikel z. B. auf Wärmetauscherflächen ab und kommt es dort zu einer Verschmelzung und „Anbacken“ der Asche, wird die Funktion erheblich gestört. Mit einigem Aufwand kann diese Verschlackung verhindert (wassergekühlte Rostsysteme, Abgasrückführung, Ascherecher, Brennstoffverwirbelung, etc. (Hartmann et al., 2003) oder die verunreinigten Flächen gereinigt werden (AGFW, 2004). Die beschriebenen Probleme können eingedämmt werden, wenn die Temperatur im Feuerraum unter der Ascheerweichungstemperatur gehalten wird. Das wirkt sich umgekehrt allerdings negativ auf die Umwandlungswirkungsgrade auf (AGFW, 2004).

Unbehandeltes Holz hat den geringsten Aschegehalt im Vergleich mit anderen Biomassen ([Tabelle 5-7](#)). Das Temperatur-Viskositäts-Verhalten von Holz liegt im ähnlichen Bereich wie das von

	Heizwert (wasserfrei) MJ/kg	Aschegehalt (wasserfrei) %	Erweichungspunkt Asche ° C
Holz			
Fichte mit Rinde	18,8	0,6	1.426
Weide	18,4	2,0	1.283
Rinde (Nadelholz)	19,2	3,8	1.440
Stroh			
Roggen	17,4	4,8	1.002
Weizen	17,2	5,7	998
Raps	17,1	6,2	1.273
Halmgut			
Miscanthus	17,6	3,9	973
Landschaftspflegeheu	17,4	5,7	1.061
Weidelgras	16,5	8,8	k.A.
Körner			
Rapskörner	26,5	4,6	k.A.
Weizenkörner	17,0	2,7	687
Kohle			
Steinkohle	29,7	8,3	1.250
Braunkohle	20,6	5,1	1.050

Tabelle 5-7:
Verbrennungstechnische Kenndaten von naturbelassenen Biomasse-Festbrennstoffen (Auszug aus Hartmann et al., 2003)

Steinkohle und ist damit aus technischer Sicht relativ unkritisch. Bei Einsatz von halmgutartiger Biomasse (Energiegräser, Heu, ...) und Stroh befinden sich die Werte mit unter 1.200 °C in einem Bereich, in dem vermehrter Aufwand betrieben werden muss. Als besonders problematisch ist die Umsetzung von Getreidekörnern anzusehen.

Ähnlich wie bei der Vergärung kann prinzipiell auch die Asche als Rückstand der Vergasung wieder ausgebracht werden, um noch darin enthaltene Nährstoffe wieder für das Pflanzenwachstum zur Verfügung zu stellen. Bei der Vergasung behandelter oder belasteter Hölzer sind die zulässigen Grenzwerte für Schadstoffe in der Asche zu beachten, die eine Nutzung der Asche natürlich einschränken. Ebenfalls ist zu beachten, dass je nach Art der Vergasung eine Rückführung der Asche nicht sinnvoll sein kann, da die Rückstände verglast sein können und die Nährstoffe so fest eingebunden sind, dass eine Rückgewinnung nur mit sehr hohem Aufwand erfolgen könnte (Arnold et al., 2006).

In Abhängigkeit des eingesetzten Rohstoffs ist das Produktgas mit **Schadstoffen** belastet und muss gereinigt werden. Zu den am häufigsten anzutreffenden Schadstoffen gehören neben den bereits erwähnten Teeren und Stäuben auch Stickstoff-, Schwefel- und Halogenverbindungen sowie Alkalien.

- Halogenverbindungen müssen nur entfernt werden, wenn man halmartige Biomasse vergast, deren Cl-Gehalt um eine Größenordnung höher liegt als das der holzartigen. Entsprechend des Chlorgehalts der eingesetzten Biomasse kann es zu Hochtemperaturkorrosion an Überhitzerflächen kommen (AGFW, 2004).
- Die Kalium- und Natriumverbindungen, die ebenfalls bei Vergasung dampfförmig frei gesetzt werden, können bei Abkühlung Ablagerungen und kleine Partikel bilden. Beim Einsatz in Gasturbinen kann dies zu der sog. Heißkorrosion führen.

- Neben Schwefel und Chlor können bei der Vergasung von Altholz auch Schwermetalle als Emissionen auftreten. Dass es zur Bildung von Dioxinen kommt, ist aufgrund der höheren Temperaturen und längeren Aufenthaltszeiten im Vergaser nicht notwendigerweise zu erwarten, kann aber trotzdem nicht ausgeschlossen werden. Messungen dazu liegen bislang kaum vor (Steinbrecher & Walter, 2001).
- Der im Brennstoff gebundene Stickstoff wird im Zuge des Vergasungsprozesses zum größten Teil zu Ammoniak, das die Zersetzung der Maschinenschmiermittel beschleunigt. Der Rest von Stickstoff entweicht dem Vergasungsprozess als NO_x -Verbindungen und muss wegen der geltenden Emissionsbestimmungen auch entfernt werden.
- Die Teere bilden bei der Kondensation Ablagerungen, die bei der Gasnutzung zu Schäden in den Turbinen bzw. Motoren führen können, in denen sie zum Einsatz kommen. Deshalb müssen sie aus dem Rohgas zwingend entfernt werden.
- Da der Schwefelgehalt biogener Festbrennstoffe normalerweise niedrig liegt (Hartmann et al., 2003), kann in den meisten Fällen auf die Entfernung der im Rohgas enthaltenen Schwefelverbindungen verzichtet werden. Es sei denn, man vergast unvorbehandelte und ursprünglich entsprechend stark belastete Biomasse.

Je nach eingesetztem Brennstoff, Vergasungsart sowie deren Parameter und nicht zuletzt abhängig von der beabsichtigten Nutzungsart, können die gewünschten Schadstoffgrenzen variieren und die o. g. Empfehlungen außer Kraft setzten. Nicht desto trotz haben sich in der Praxis einige technologische Methoden durchgesetzt, die eine einheitliche Qualität der Reingases garantieren.

Man unterscheidet grob zwischen kalten und heißen Abscheideverfahren. Die kalten Verfahren können unterhalb der 100 ° C-Grenze eingesetzt werden und man unterteilt diese Verfahrensgruppe weiterhin in trockene und nasse Abscheideverfahren.

Zu den trockenen, kalten Abscheideverfahren zählen sämtliche Filter und Filtermedien sowie die Fliehkraftabscheider. Die letzteren können bei Wirbelschichtvergasung eingesetzt werden um das zwangsweise mit dem Rohgas austretendes Bettmaterial abzuscheiden. Ihr Einsatzgebiet sind die groben Partikel mit Durchmesser > 5 µm. Für Kleinstpartikel eignen sich besser Filtersysteme. Allerdings muss dabei nicht nur die Tatsache beachtet werden, dass sie gewechselt werden müssen, darüber hinaus sollte ein Regenerationskonzept für die verunreinigten Filter vorliegen.

Die nassen Verfahren ermöglichen neben ebenfalls guter Partikelabscheidungsquote eine bessere Abscheidung von Teeren, Ammoniak, Halogenen, sowie Schwefelwasserstoffen (falls vorhanden). Die Abscheidung von Teeren mit Hilfe der kalten Nasswäsche erfordert eine Abkühlung des Rohgases auf dessen Kondensationstemperatur. Die hierbei zum Einsatz kommende Waschflüssigkeit (meist Wasser) muss, sobald mit Schadstoffen beladen, gesondert entsorgt werden. Am Häufigsten kommt in der Praxis der sog. Venturiwäscher zum Einsatz, der zwar hohe Partikelabscheiderate garantiert, aber gleichzeitig auch zu einem großen Druckverlust führt. Benutzt man statt Wasser ölhaltige Waschmittel, so können diese bei Sättigung verfeuert werden. Um die Schwefel- bzw. Halogenkomponenten gesondert abzuscheiden kann man auch die basischen Flüssigkeiten, wie DEA oder MDEA verwenden. Der Nachteil hierbei sind die hohen Betriebs- und Investitionskosten.

Eine etwas andere Technik stellt der Nasselektrofilter dar, der prinzipiell auch in trockenen Systemen betrieben werden kann. Er scheidet zuverlässig Partikel und Teere, sofern diese in kondensierter Form vorhanden sind, ab und zeichnet sich des Weiteren mit geringem Druckverlust und Betriebskosten aus. Allerdings findet er seine Anwendung wegen seiner Größe sowie der erheblichen Investitionskosten nur bei großen Anlagen.

Soll das Gas ohne wesentliche Abkühlung gereinigt werden, greift man zu den heißen Abscheideverfahren. Ein Elektrofilter stellt hierbei eine Möglichkeit der Partikelabscheidung dar. Außerdem können Filter wie Keramikkerzenfilter oder Fliehkraftabscheider (Heißgaszyklon) eingesetzt werden.

Mit Hilfe der gleichen Technologie lassen sich auch Alkalien aus dem Rohgas entfernen, sofern man das Gas zuvor auf unter 600 °C abgekühlt hat. Wünscht man eine solche Abkühlung nicht, so bleibt als Alternative eine Adsorption in einem aktivierten Bauxit.

Teere können im Heißgasbereich (800–900 °C) in stabile Gaskomponenten wie Kohlenstoffmonoxid überführt werden. Dazu ist jedoch der Einsatz eines zusätzlichen Katalysators nötig. Meist verwendet man hierzu Dolomite, Zeolithe o. ä.). Metallische Katalysatoren können darüber hinaus auch Ammoniak umwandeln, sind jedoch wesentlich teurer und kurzlebiger.

Zum Einsatz von **Katalysatoren** ist allgemein zu sagen, dass eine Mehrbelastung mit Schadstoffen, wie sie durch vorhandelte Althölzer oder Hölzer in einer der Schadensklassen auftreten kann, generell von Nachteil ist. Erfahrungsberichten zufolge sind die meisten behandelten Hölzer „Katalysatorgifte“, da die Schadstoffe die chemischen Prozesse stören und zu einer verminderten Reaktionsfähigkeit oder Standfestigkeit des Katalysators beitragen. Beides vermindert die Wirtschaftlichkeit oder sogar die technische Machbarkeit eines Prozesses erheblich.

Für die Vergasung sind je nach Gesetzeslage in der Regel Althölzer der Kategorien A1 und A2 zugelassen, die zu den Biomassen zählen. Die Verwendung von weiter belasteten Hölzern ist demnach nicht zulässig. Nach Aussagen von Betreibern eher dezentraler Holzvergaser¹⁷ sollte das technisch jedoch kein Problem darstellen.

Ein anderes Problem, das im Zusammenhang mit dem Einsatz von nicht genormten Biomassen auftreten kann, steht nicht im Kontext der thermischen Umsetzung, sondern ist eher organisatorischer Art. Die **Stückigkeit** der eingesetzten Biomasse sollte zum reibungslosen Ablauf der Verbrennung oder Vergasung trotzdem auf jeden Fall beachtet werden. Die Stückigkeit beschreibt die Abmessung und Geometrie des Brennstoffs. Sie ist vor allem bei der Beschickung der Feuerungsanlagen von Bedeutung, und zwar unabhängig davon, ob eine dezentrale Anlage von Hand, oder eine zentrale Vergasung automatisch beschickt werden soll – auch wenn die Anforderungen unterschiedlich sind und in jedem Fall stark von der jeweiligen Anlage abhängen. Auf nähere allgemeine Ausführungen wird an dieser Stelle daher verzichtet; in jedem Einzelfall sollte aber geprüft werden, welche besonderen Anforderungen an Stückigkeit, Größenverteilung, Feinanteil, Rieselfähigkeit und Lagerdichte gestellt werden.

17 Quelle: <http://www.pyroforce.ch>

5.3.2 Vergärung feuchter Biomasse zu Biogas

Grundsätzlich ist eine Vielzahl von Rohstoffen für die Vergärung in Biogasanlagen geeignet. Der in 5.2.3 beschriebene Prozess der Gaserzeugung läuft prinzipiell für alle Einsatzstoffe gleich ab, die Prozessbiologie kann aber durch die Einbringung von gelösten Schwermetallen oder großen Mengen an (Tier-)Arznei- und Desinfektionsmittel (Eintrag über Gülle) gestört werden (KTBL, 2007).

Der Aufwand, den die verschiedenen Substrate im Gesamtprozess verursachen, ist dennoch sehr unterschiedlich hoch und schlägt sich vor allem bei der Bereitstellung der Substrate sowie der Ausbringung des Gärrests nieder. In [Tabelle 5-8](#) sind einige Substrate und die unterschiedlichen Aufwendungen, die notwendig sind, aufgeführt.

Demnach ist der Einsatz von gezielt produzierten Substraten wie Nawaro verständlicherweise am wenigsten aufwendig, da so gut wie keine Störstoffe enthalten sind, die eine Entfernung oder Hygienisierung erforderlich machen. Der erleichterte Umgang schlägt sich allerdings in den Substratkosten nieder. Rohstoffe, für die im Gegenzug Entsorgungsgebühren an den Anlagenbetreiber gezahlt werden, also wirtschaftlich sehr günstig sind, erfordern dagegen in der Regel eine aufwendigere Vorbehandlung. Ob und in welchem Maße eine Hygienisierung erfolgen muss, wird vor allem durch die Verordnung (EG) 1774/2002 geregelt (Hygienevorschrift für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte). Diese ordnet tierische Nebenprodukte entsprechend ihres Risikopotenzials in Kategorien ein, die den Umgang mit den Reststoffen regeln. Die Hygienisierung hat demnach bei Temperaturen von bis zu 70 °C und einen Zeitraum von mindestens einer Stunde zu erfolgen (Hempfen, 2006). Die entsprechenden Einrichtungen sind, wenn erforderlich, bei der Biogasanlage vorzuhalten.

Tabelle 5-8: Einordnung von Substraten nach Aufwand für die Bereitstellung (verändert nach KTBL, 2007)

Substrate	Aufwand für...				
	Substrat-kosten	Lagerung / Konservierung	Störstoff-entfernung	Hygienisierung	Wasser-gehalt
Wirtschaftsdünger	Koppelprodukte der landw. Produktion		nicht erforderlich	i.d.R. nur in Gemeinschaftsanlage erforderlich	mittel bis hoch
Nawaro	hoch	gering bis hoch	nicht erforderlich	nicht erforderlich	gering bis hoch
Abfälle aus Nahrungs- und Genussmittel-industrie (BioAbfV, VO (EG) Nr. 1774/2002)	Koppelprodukt	mittel bis hoch	gering	erforderlich, sofern keine Vorbehandlung	mittel bis hoch
Abfälle aus Biotonne	Entsorgungs-gebühren üblich	mittel bis hoch	sehr hoch	erforderlich	mittel bis hoch
Tierische Nebenprodukte (VO (EG) Nr. 1774/2002)	Entsorgungs-gebühren anstreben	hoch	nicht erforderlich	erforderlich	mittel bis hoch
Sonstige Küchen- und Speiseabfälle (VO (EG) Nr. 1774/2002)	Entsorgungs-gebühren anstreben	hoch	hoch	erforderlich	mittel bis hoch

Aus technischer Sicht spricht nach Aussagen von Anlagenbetreibern nichts gegen das Einbringen von Substanzen, die sich durch die Vergärung nicht umwandeln lassen. So liegen Erfahrungsberichte von Anlagenbetreibern vor (Friedmann, 2006), die mit Speiseresten auch die synthetischen Verpackungen (Plastiktüten, Folien, etc.) in den Fermenter gegeben haben. Diese nicht abbaubaren Substanzen sammeln sich demnach am Grunde des Reaktors, ohne den Biogasprozess wesentlich zu stören. Allerdings ist natürlich eine recht häufige Öffnung und Säuberung des Reaktors notwendig, damit diese Stoffe keine Schwimmschicht ausbilden, die das Rührwerk stören. Daher müssen Einbußen bezüglich der Gasausbeute und damit bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Anlage in Kauf genommen werden. Da dies für Betreiber von Nawaro-Anlagen in der Regel kritischer ist, werden z. B. mit Sand oder Erde verunreinigte Substrate ungern eingesetzt.

Ein weiterer Einwand betrifft die Ausbringung der Gärreste. Bei der Nutzung von Nawaro und landwirtschaftlichen Reststoffen ist die Ausbringung und Nutzung als Dünger der Regelfall, der unter Aspekten der Nährstoffkreisläufe und der Humusbilanz des Ackers notwendig ist. Bei Vergärung von anderen Substraten ist sicherzustellen, dass mit dem Gärrest keine Schadstoffe oder zu stark konzentrierte Nährstoffe auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen gelangen. Zu diesem Zweck sind Anforderungen an den Gärrest hinsichtlich Probeentnahmen, Überwachung und Komponenten einzuhalten (Kohl, 2006). Neben der rechtlichen Seite ist berücksichtigen, dass viele Landwirte zögern, Gärreste aus Biogasanlagen anzunehmen, die aus Biotonne-Abfällen beschickt werden, da die potenziellen Einträge für Störstoffe mit der Anzahl der einzelnen Haushalte sehr hoch sind. Trotz der vorgeschriebenen Stichproben ist das Misstrauen gegenüber möglichen Störquellen hoch (Siekerkotte, 2009).

Aber nicht nur die Anlagentechnik, sondern natürlich auch die Betriebssicherheit spielt eine große Rolle. So ist es im Jahr 2006 zu einem tödlichen Unfall an einer Biogasanlage gekommen, die Speisereste (Milch), Fettabfälle sowie Biotonne-Abfälle einsetzt. Durch zu hohe Schwefelwasserstoffkonzentration sind vier Menschen ums Leben gekommen¹⁸. Insbesondere bei Einsatz von schwefelhaltigen Abfällen ist verstärkt darauf zu achten, dass organisatorische und technische Maßnahmen getroffen werden, welche die Freisetzung von toxischen Gasen verhindern. Die Möglichkeiten dazu sind nach dem derzeitigen Stand der Technik gegeben (KTBL, 2007)

Soll lignin- und zellulosehaltiger Biomasse wie Stroh vergärt werden, ist eine Vorbehandlung des Substrats erforderlich, da diese nur bedingt zur Biogasproduktion geeignet sind. Zum einen bilden sie im Fermenter leicht Schwimmschichten, die durch einen verstärkten Einsatz von Rührwerken verhindert werden müssen, was den Energiebedarf der Biogasanlage anhebt. Zum anderen muss die Zellulose durch Einsatz von Enzymen vor Beginn des Gärprozesses aufgespaltet werden. Die Vergärung von Stroh wird derzeit in Pilotanlagen¹⁹ gezeigt, entspricht aber noch nicht dem heutigen Stand der Technik. Vor einer weiteren Verbreitung dieser Technik sollte geklärt werden, wie viel Energie zusätzlich in den Prozess eingebracht werden muss und wie sich die resultierende Energie- und Treibhausgasbilanz darstellen lässt. Daten hierzu liegen derzeit nicht vor.

18 Mitteilung des Niedersächsischen Umweltministeriums an die staatlichen Gewerbeaufsichtsämter; 10. November 2005

19 Quelle: <http://www.stern.de/wissenschaft/natur/:Biogas-Pilotanlage-Stroh-Strom/654052.html>

5.3.3 Vergärung zu Bioethanol

Laut den Bioethanol-Herstellern²⁰, Verbio und Cropenergies, wurden bisher keine Versuche mit verunreinigtem Getreide oder sonstigen Einsatzstoffen als Input durchgeführt. Somit lässt es sich derzeit schwer abschätzen, welchen Einfluss Unreinheiten bzw. Belastungen der eingesetzten Biomasse auf den Prozess haben könnten. Auch eine Aussage über die dadurch bedingten Emissionsänderungen lässt sich unter gegebenen Umständen nicht treffen.

5.3.4 Veresterung zu Biodiesel

Laut der Firma Verbio²¹ hat man in dem Biodiesel-Herstellungsprozess bisher weder Altöle noch stark verunreinigte Öle zum Einsatz gebracht. Wegen der hohen Qualitätsansprüche des Produkts – Mindestanforderungen bestehen, wenn Biodiesel nach der seit Herbst 2003 gültigen europäischen Norm DIN EN 14214 produziert werden soll²² – beschränkt man sich dort und bei den meisten der Biodiesel-Hersteller auf den Einsatz von unbelastenden, pflanzlichen Biomassen höchster Güte.

Ein Anbieter von Biodiesel in Deutschland verwendet allerdings systematisch recycelte Altfette, die zu einem Kraftstoff umgeestert werden, welcher den Anforderungen der DIN-Norm entspricht. Das entsprechende Vorgehen ist praxistauglich und das Produkt auf dem Markt verfügbar. Eine genauere Beschreibung erfolgt in der Beschreibung des Fallbeispiels in Abschnitt 6.3.

Einsatz von Pflanzenöl und anderen Altölen /-fetten in Motoren

Untersuchung von Motorprozessfunktionen²³ haben gezeigt, dass mit den Biokraftstoffen Biodiesel und Pflanzenöl günstige Effekte auf die Schadstoffbildung (NO_x-PM Trade-Offs) erreichbar sind. Um diese Emissionsreduktionspotenziale nutzen zu können, muss das Motormanagement auf den jeweilig eingesetzten Kraftstoff angepasst werden. Dabei sind bei beiden alternativen Kraftstoffen neben umfangreichen Arbeiten an der Motorsoftware auch Anpassungen der Hardware notwendig. Dies gilt insbesondere für die Komponenten heutiger Höchstdruck-Einspritzsysteme. Darüber hinaus ist bei Einsatz von Pflanzenölen eine Begrenzung der Aschebildner im Kraftstoff erforderlich, insbesondere dann, wenn Abgasnachbehandlungssysteme (vor allem Partikelfilter) verwendet werden.

Anders als Biodiesel greift Rapsöl keine Dichtungen und Buntmetalle an. Daher müssen bei Betrieb mit Biodiesel Dichtungen, evt. Schläuche und andere Komponenten aus Buntmetall ausgetauscht werden, was bei Einsatz von reinem Pflanzenöl nicht der Fall ist.

Umgekehrt muss für den Betrieb mit Pflanzenöl ein System installiert werden, welches sicherstellt, dass das Fahrzeug in allen Betriebszuständen (z. B. auch bei niedrigen Temperaturen) einwandfrei läuft. Dies ist notwendig, da Pflanzenöl weniger gute Fliesseigenschaften bei niedrigen Temperaturen aufweist. Es empfiehlt sich ein 2-Tank-System (z. B. mit 20–30 Prozent Diesel und 70–80 Prozent Pflanzenöl). So wird zum einen ein sicheres Anfahren auch aus dem Kaltstart

20 persönliche telefonische Mitteilung am 26./27. 02.2009

21 persönliche telefonische Mitteilung am 26. 02.2009

22 Nachzulesen bei der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. (<http://www.agqm-biodiesel.de>)

23 Quelle: http://www.vwp-europe.com/images/downloads/080700_MTZ_Artikel_Abgasemissionen.pdf

gewährleistet, zum anderen hat das Fahrzeug damit immer noch Notlaufeigenschaften, falls etwas mit dem Pflanzenöl nicht stimmt. Da es hier keine garantierte Kraftstoffqualität gibt, ist die Vorrhaltung eines Notvorrats an Kraftstoff zu empfehlen.

In umfangreichen Untersuchungen der organisch löslichen Partikelfraktion konnte keine erhöhte mutagene Wirkung der Rapsölabgase gegenüber dem Dieselmotor festgestellt werden. Untersuchungen zu Altölen und Fetten liegen nicht vor; da diese Kraftstoffe stark heterogen und in keiner Weise genormt sind, sind wissenschaftliche und nachvollziehbare Untersuchungen schwer durchzuführen. Eine Einzelfallprüfung ist erforderlich.

5.4 Zwischenfazit

Im voran gestellten Abschnitt sind Optionen zur kaskadischen Nutzung aufgezeigt worden, in dem vom Ende der Nutzungskette her untersucht worden ist, welche biogenen Rohstoffe für eine **(mehrfache) stoffliche Erstnutzung und eine anschließende energetische Nachnutzung relevant** sein können. Zu diesem Zweck ist gezeigt worden, in welchen Anwendungsbereichen Biomasse derzeit und im Ausblick energetisch umgesetzt wird und welche Techniken dabei zum Einsatz kommen.

Den größten Anteil an der energetischen Biomassenutzung stellt der Einsatz von Festbrennstoffen zur Hauswärmeversorgung, während die Stromerzeugung von relativ wenigen, aber großen thermischen Anlagen sowie der Biogasverstromung dominiert wird. Unter den Bio-Kraftstoffen ist vor allem Biodiesel auf Basis von Raps (RME) von Bedeutung.

Im Kontext der vorliegenden Studie ist es von besonderem Interesse, zu untersuchen, wo sich aufgrund von technischen Restriktionen und Möglichkeiten Pfade ergeben, die für eine Kaskade besonders vor- oder nachteilig erscheinen.

Die Darstellung erfolgt dabei **überblicksartig**; eine Vertiefung in einzelne Techniken bzw. technische Restriktionen kann aufgrund der Komplexität der Fragestellung nicht geleistet werden. Einzelfallprüfungen sind für jede Kombination von (recyclerter) Biomasse und Umwandlungstechnik erforderlich.

Generell lässt sich für die verschiedenen Endenergiesektoren folgendes festhalten:

- Im Bereich der **Hauswärmeversorgung** kommen vor allem Scheitholz, Holzhackschnitzel und Pellets zum Einsatz. In Kleinfeuerungsanlagen wird in aller Regel nur naturbelassenes Holz verwendet; die bestehenden Normen müssen beachtet werden, um die Absatzmärkte im Bereich KMU und privaten Anwender zu schützen.
- Bei der **Stromerzeugung** ist die thermische Umsetzung von Altholz, Industrierestholz, etc. in Kraftwerken etablierte Technik; eine Kaskadennutzung von gebrauchtem Holz findet vielfach bereits statt.

- Für die Biogaserzeugung werden diverse und teils sehr heterogene landwirtschaftliche Roh- und Reststoffe sowie industrielle und kommunale Reststoffe eingesetzt. Der notwendige Aufwand zur Vorbehandlung und Hygienisierung fällt unterschiedlich hoch aus. Teils lohnende Methanerträge von Reststoffen machen auch hier eine betriebswirtschaftliche Einzelfallrechnung erforderlich.
- Um als **Biokraftstoff** einen breiten Markt in Deutschland bedienen zu können, muss für den gängigsten Kraftstoff Biodiesel die Norm DIN 14214 erfüllt werden. Die Angaben von Herstellern dazu sind kontrovers; auch hier ist eine betriebswirtschaftliche Entscheidung wesentlich. Die technische Machbarkeit ist bewiesen.

Bezüglich der erwartbaren Entwicklungen von neuartigen Techniken lässt sich festhalten, dass der Trend derzeit eher dahin geht, aus gleichwertigen Ausgangsstoffen ein höherwertiges Produkt zu formen. Dies ist etwa bei der Vergasung von Festbrennstoffen mit anschließender Methanisierung zu SNG bzw. anschließender FT-Synthese zu BTL, aber auch bei der Vergärung von Lignin zu Ethanol der Fall. Bei Prozessen, in denen Katalysatoren eine bedeutende Rolle spielen, wird das Spektrum der möglichen Rohstoffe eingeschränkt, da der Einsatz von vorbehandeltem Material generell eher kritisch zu sehen. Erfahrungsberichten zufolge sind die meisten **behandelten Hölzer „Katalysatorgifte“**, da die Schadstoffe die chemischen Prozesse stören und zu einer verminderten Reaktionsfähigkeit oder Standfestigkeit des Katalysators beitragen. Beides vermindert die Wirtschaftlichkeit oder sogar die technische Machbarkeit eines Prozesses erheblich.

Die derzeit absehbaren technischen Entwicklungen scheinen daher für eine Kaskadennutzung von Biomasse eher nicht geeignet sein.

6 Darstellung von Fallbeispielen

Im Rahmen der vorliegenden Studie muss die Auswahl der Optionen der Kaskadennutzung eingeschränkt bleiben und kann die darauf folgende Untersuchung und Bewertung nicht in jedem Detail erfolgen. Um einen Überblick über die Bandbreite der Möglichkeiten zur Umsetzung sowie die Ansätze zur Bewertung zu geben, werden im Folgenden je ein Fallbeispiel aus dem forst- sowie landwirtschaftlichen Bereich vorgestellt. Damit wird zum einen die breite Anwendbarkeit des Konzepts als auch die unterschiedlichen Fragestellungen, die je nach Anwendung auftreten, verdeutlicht.

Im Anschluss werden im nächsten Kapitel 7 drei ausgewählte Indikatoren näher betrachtet, indem ihre Wirkung auf die Nachhaltigkeit von Kaskadennutzungen sowie die Methode der Erhebung und Bewertung der relevanten Daten vorgestellt werden.

6.1 Auswahl von Fallbeispielen

Aus der Vielzahl der Möglichkeiten werden im Rahmen dieser Studie zwei Fallbeispiele vorgestellt. Die Auswahl gründet sich auf dem folgenden, mehrstufigen Verfahren.

Im ersten Schritt wird nur die theoretische Option zur Kaskadennutzung geprüft, ob sowohl eine stoffliche (Vor-)Nutzung gegeben, als auch die Möglichkeit vorhanden ist, die Rohstoffe nach der stofflichen Nutzung wieder zurück zu gewinnen und energetisch umzusetzen. An dieser Stelle ist zunächst nur die prinzipielle Machbarkeit von Bedeutung.

[Tabelle 6-1](#) verdeutlicht das Vorgehen: aufgetragen sind die derzeit auf den Ackerflächen angebauten Pflanzen (exklusive der Nahrungs- und Futtermittel) sowie Holz und der derzeitiger Verwendungszweck. Die dritte und vierte Spalte geben die theoretisch denkbaren weiteren stofflichen und energetischen Einsatzmöglichkeiten wieder. Die Fragezeichen verdeutlichen eine Unsicherheit insbesondere bezüglich einer wiederholten stofflichen Nutzung; diese kann zwar in mehreren Fällen denkbar sein, es existieren aber vielfach keine gesicherten Daten dazu.

So ist es z. B. aus technischer Sicht denkbar, Nawaro-basierte Schmier- und Verfahrensstoffe wie pflanzliche Öle thermisch umzusetzen. Damit ist eine kaskadische Nutzung grundsätzlich vorstellbar, wenn die Öle in geschlossenen Kreisläufen eingesetzt werden, so dass eine Rückgewinnung möglich ist.

Ebenso wäre es prinzipiell möglich, Zucker und Stärke aus der chemischen Industrie zurückzugewinnen und der Ethanolproduktion zuzuführen. Jedoch ist es eher unwahrscheinlich, dass die Rückgewinnung der Rohstoffe in solcher Qualität gelingt, dass eine solche Kaskade aufgebaut werden könnte. Aussichtsreicher scheint die Option, den Biokraftstoffen Pflanzenöl und Biodiesel (RME) eine stoffliche Nutzung vorzuschalten.

Faserpflanzen, wie sie in der Textil- oder Automobilindustrie eingesetzt werden, sind grundsätzlich recycelbar und können im Kreislauf geführt werden. Eine thermische Umsetzung ist bei

Tabelle 6-1: Schema zur ersten Auswahlstufe für die Kaskadennutzung

Rohstoff	Stoffliche Nutzung derzeitiger Stand	Wiederholte Stoffl. Nutzung	Energetische Nutzung	Bemerkung
Holz	Baumaterialien	Altholzaufbereitung; Wiederverwendung als Baumaterial	thermisch	stoffliche Vornutzung je nach Altholzkategorie möglich
	Möbel	Altholzaufbereitung; Wiederverwendung als Möbel	thermisch	stoffliche Vornutzung je nach Altholzkategorie möglich
	Verpackung	Altholzaufbereitung; Wiederverwendung als Verpackung	thermisch	stoffliche Vornutzung je nach Altholzkategorie möglich
	Papier und Pappe	Recyclingpapier	thermisch	
pflanzliche Öle	Schmier- und Verfahrensstoffe	ggf. rückgewinnbar, d.h. nur Einsatz in geschlossenen Systemen	thermisch	wenn rückgewinnbar, d.h. nur nach Einsatz in geschlossenen Systemen
	Textil- und Lederhilfsmittel Klebstoffe und Lackrohstoffe	-	thermisch	eher indirekter Beitrag zur Kaskade, wenn mit anderen Materialien eingesetzt
	?	?	Pflanzenöl / KS	stoffliche Vornutzung möglich
	?	?	Biodiesel	stoffliche Vornutzung möglich
Stärke (Mais, Weizen, Kartoffeln)	Papierherstellung	?	Ethanol	nur wenn Rückgewinnung der Stärke (in ausreichender Qualität) gelingt
	Wellpappen- herstellung	?	Ethanol	
	chemische Industrie: Kunststoff	?	Ethanol	
Zucker (Zuckerrübe)	chemische Industrie: Kunststoff	?	Ethanol	nur wenn Rückgewinnung des Zuckers (in ausreichender Qualität) gelingt
Faserpflanzen (Baumwolle)	Textilindustrie (Baumwolle, Leinen) Automobilindustrie (Baumwolle, Flachs, Hanf, sonstige) naturfaserverstärkte Werkstoffe	Kreislaufführung denkbar	thermisch	gbf. Eigenschaften anpassen
Stroh	Dämmstoff; Lehm- bau	?	thermisch	Rückgewinnung und thermische Umsetzung fraglich
Obst und Frucht	Trester, Saftherstellung	Trester, Alkoholherstellung	Ethanol	bisher nicht in größeren Mengen bekannt
Tiererzeugung	Schlachtgut: tierische Fette	-	Vergärung	bisher nicht in größeren Mengen bekannt

derzeitigem Einsatz nur schlecht möglich, da die Fasern oftmals aus Sicherheitsgründen nicht brennbar sein dürfen. Das gleiche gilt für Dämmstoffe, die z. B. im Hausbau verwendet werden. Für diese Produkte ist im Sinne eines Ausbaus der Kaskadennutzung zu prüfen, ob und inwiefern die Eigenschaften an eine spätere energetische Nachnutzung angepasst werden können, ohne dass die Sicherheit der Erstnutzer vernachlässigt wird.

Im zweiten Schritt erfolgt eine genauere Prüfung der Machbarkeit und eine erste Einschätzung zur Nachhaltigkeit. Darin werden die Optionen ausgeschlossen, die als weniger nachhaltig als eine nicht-kaskadische Umsetzung der Rohstoffe angesehen werden. Eine Einzelfallbetrachtung wird aufgrund der Vielzahl der Möglichkeiten und Bewertungsebenen in jedem Fall empfohlen. Die erarbeitete Methodik zur Optimierung von Biomasse- und Kaskadennutzung (vgl. Abschnitt 7.1) dient hier als Orientierung. Beispielhaft für die zweite Auswahlstufe seien an dieser Stelle folgende Ausschlusskriterien genannt:

Tabelle 6-2: Erweiterung des Schemas zur ersten Auswahlstufe: derzeitige Verwendung von Holz sowie Ackerfrüchten außerhalb des Nahrungs- und Futtermittelbereichs

Rohstoff	Menge [1.000 t]	Stoffliche Nutzung derzeitiger Stand	Wiederholte Stoffl. Nutzung	Energetische Nutzung	Bemerkung
Holz		Baumaterialien	Altholzaufbereitung; Wiederverwendung als Baumaterial	thermisch	stoffliche Vornutzung je nach Altholzkategorie möglich
		Möbel	Altholzaufbereitung; Wiederverwendung als Möbel	thermisch	stoffliche Vornutzung je nach Altholzkategorie möglich
		Verpackung	Altholzaufbereitung; Wiederverwendung als Verpackung	thermisch	stoffliche Vornutzung je nach Altholzkategorie möglich
		Papier und Pappe	Recyclingpapier	thermisch	
pflanzliche Öle	7	Schmier- und Verfahrensstoffe	ggf. rückgewinnbar, d.h. nur Einsatz in geschlossenen Systemen	thermisch	wenn rückgewinnbar, d.h. nur nach Einsatz in geschlossenen Systemen
	k.A.	Textil- und Lederhilfsmittel	-	thermisch	eher indirekter Beitrag zur Kaskade, wenn mit anderen Materialien eingesetzt
	k.A.	Klebstoffe und Lackrohstoffe	-	thermisch	
	840	?	?	Pflanzenöl / KS	stoffliche Vornutzung möglich
	3.320	?	?	Biodiesel	stoffliche Vornutzung möglich
Stärke (Mais, Weizen, Kartoffeln)	378	Papierherstellung	?	Ethanol	nur wenn Rückgewinnung der Stärke (in ausreichender Qualität) gelingt
	115	Wellpappen- herstellung	?	Ethanol	
	147	chemische Industrie: Kunststoff	?	Ethanol	
Zucker (Zuckerrübe)	240	chemische Industrie: Kunststoff	?	Ethanol	nur wenn Rückgewinnung des Zuckers (in ausreichender Qualität) gelingt
Faserpflanzen (Baumwolle)	91	Textilindustrie (Baumwolle, Leinen)	Kreislaufführung denkbar	thermisch	gbf. Eigenschaften anpassen
	63	Automobilindustrie (Baumwolle, Flachs, Hanf, sonstige)			
	25	naturfaserverstärkte Werkstoffe			
Stroh	k.A.	Dämmstoff; Lehmabau	?	thermisch	Rückgewinnung und thermische Umsetzung fraglich
Obst und Frucht	k.A.	Trester, Saftherstellung	Trester, Alkoholherstellung	Ethanol	bisher nicht in größeren Mengen bekannt
Tiererzeugung	k.A.	Schlachtgut: tierische Fette	-	Vergärung	bisher nicht in größeren Mengen bekannt

- **Logistische Hemmnisse:**

Der eingesetzte Rohstoff ist nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand in einer Form rückgewinnbar, die ausreichende Qualität und Quantität für eine erneute stoffliche oder energetische Nutzung aufweist.

Zudem wird geprüft, ob die Stoffströme in den bestehenden Anwendungen ausreichend groß sind, um den jeweiligen Aufwand zum Aufbau der Kaskade zu rechtfertigen. Diese Überprüfung erfolgt sowohl in Hinblick auf die heutigen Stoffströme, als auch mit einem Ausblick auf zukünftige Verhältnisse.

- **Technische Hemmnisse:**

Die Grenzen der derzeit eingesetzten und zukünftig erwartbaren Techniken zur energetischen Umsetzung von Biomasse sind in Abschnitt 5.3 beschrieben worden.

- **Ökonomische Hemmnisse:**

Wenn der Aufwand zur Rückgewinnung und Umsetzung der Rohstoffe in der Kaskade zu hoch ist, kann das dazu führen, dass die Option nicht wettbewerbsfähig zu der nicht-kaskadischen Nutzung ist.

Diese Kriterien sind zur Auswahl der Fallbeispiele zunächst grob abgeschätzt worden und werden in der nachstehenden Beschreibung genauer untersucht. In [Tabelle 6-2](#) sind die in [Tabelle 6-1](#) dargestellten Nutzungen um die um die derzeit in Deutschland eingesetzten Mengen an Nawaro ergänzt. Diese ergeben sich aus der Verwendung der Rohstoffe im Inland.

Analog verdeutlicht [Tabelle 6-3](#) die stofflichen und energetischen Nutzungsmengen der Holzrohstoffe. Altholz ist hier der Holzrohstoff mit dem meisten Potenzial für eine verbesserte Kaskadennutzung, da hier 8,2 Mio m³ Holzrohstoffe im Jahr 2004 energetisch genutzt werden. Inwieweit diese Mengen für eine Kaskadennutzung geeignet sind, wird in einer Fallstudie untersucht.

Tabelle 6-3: Schema zur ersten Auswahlstufe: Kaskaden auf Basis von Holzrohstoffnutzung

Holzrohstoff	Nutzungsmengen in Mio. m ³ * / Jahr 2004		Überwiegende stoffliche Nutzung	Überwiegende energetische Nutzung	Bemerkung
	stofflich	energetisch			
Stammholz	33,6	–	Sägeindustrie (für Baubereich)	–	stoffliche Nutzung u.a. der Holzanteile der bei Umbau, Neubau, Rückbau von Gebäuden anfallenden Abfälle möglich bzw. je nach Altholzkategorie
Industrieholz	15,5	5,6	Holzwerkstoffe (für Möbel- industrie) Papier und Pappe	Hausbrand	stoffliche Vornutzung u.a. der Abfälle aus der Holzbe- und -ver- arbeitung möglich bzw. je nach Altholzkategorie
Wald-Restholz/ Schwachholz	–	6,6	–	Hausbrand	stoffliche Vornutzung möglich bei standort- angepassten Nutzungs- raten (Gewährleistung von Nährstoffkreisläufen)
Säge- nebenprodukte	9,7	2,1	Holzwerkstoffe (für Möbel- industrie) Papier und Pappe	Heizkraftwerke	stoffliche Vornutzung je nach Altholzkategorie möglich
Rinde	1,6	0,8	Sonstige stoff- liche Verwen- dung (für Rindenmulch)	Heizkraftwerke	stoffliche Vornutzung möglich
Sonst. Ind.- Restholz	1,0	3,2	Holzwerkstoffe (für Möbel- industrie)	Heizkraftwerke	stoffliche Vornutzung u.a. der Abfälle aus der Holzbe- und -verarbeitung möglich
Altholz **)	2,9	8,2	Spanplatten	Heizkraftwerke	stoffliche Vornutzung je nach Altholzkategorie möglich
Landschafts- pflegeholz	–	0,3	–	Heizkraftwerke	stoffliche Vornutzung möglich

*) Die Angaben in Mio. m³ entsprechen Mio. Festmetern (Fm) (Quelle: Mantau/Sörgel 2006).
**) basiert auf Mantau / Sörgel 2006, vgl. Tabelle 4-3 und Kapitel 4.2

Als Fallbeispiele wurden damit ausgewählt:

- a) **Altholznutzung von Möbel und Bauholz:** Aufgrund der Stoffstrombetrachtung wird zum einen die Altholznutzung näher betrachtet. Hier stehen bei der wiederholten stofflichen Nutzung die Produktmehrfachnutzung, Materialrecycling und Langlebigkeit der Holznutzung im Vordergrund.
- b) **Biokraftstoffe auf Basis von gebrauchten Pflanzenölen:** Von den zuvor angedachten Optionen der landwirtschaftlichen Biomasse bleibt aufgrund der Stoffstrombetrachtung die stoffliche Vornutzung von Pflanzenölen vor der Aufbereitung als Kraftstoff übrig. Aufbereitung von gebrauchten Speiseölen (Bsp: Frittierfett) zu Biodiesel als Substitution von mineralölbasiertem Diesel).

Die Darstellung der beiden Fallbeispiels gliedert sich in folgende Unterpunkte:

Es werden die wichtigsten Nutzungen der jeweils betrachteten Rohstoffe vorgestellt, indem die Mengen und Trends aus den vorangegangenen Kapiteln zusammengefasst und teilweise vertieft werden. Im Anschluss werden die Vernetzungen der einzelnen Nutzungsstufen sowie die eingesetzten Technologien erläutert. Die Treiber der Marktpotenziale sowie etwaige Nutzungskonkurrenzen werden analysiert. Effekte auf die Ressourceneffizienz, Umwelt- und Klimawirkungen und Arbeitsplatzeffekte werden abgeschätzt. Anschließend werden die Ansatzpunkte zur Optimierung bzw. Etablierung der Kaskade in einem Fazit zusammengefasst.

6.2 Fallbeispiel a) Altholznutzung

Die Nutzung der Ressource Altholz stellt eine etablierte Form der Kaskadennutzung dar: Der Rohstoff Holz wird in relevanten Mengen nach der ersten stofflichen Nutzung als Altholz in der Regel energetisch genutzt – teilweise davor noch mit einer oder mehreren stofflichen Wiederverwendungen. In dieser Fallstudie wird insbesondere die Frage diskutiert, inwieweit eine optimierte Kaskadennutzung durch die stoffliche Nutzung von Altholz einen Beitrag zur Erhöhung der Ressourceneffizienz und damit der nachhaltigen Nutzung von natürlichen Ressourcen leisten kann.

6.2.1 Beschreibung der Altholznutzung

Altholz ist nach der Verordnung über die Entsorgung von Altholz (AltholzV) als Abfall aus Industrierestholz und Gebrauchtholz definiert (siehe Abschnitt 3.3.2.2). Es handelt sich um Hölzer, die aus dem Nutzungsprozess ausgeschieden sind und „nach Erfüllung ihrer Primärfunktion wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden können“ (BVSE 2005: 2). Werden sie als Sekundärrohstoffe erneut stofflich genutzt, gelten sie nicht mehr als Altholz. So sind z. B. Späne aus Sägewerken oder Tischlereien nur dann als Altholz einzustufen, wenn sie als Abfall in einem Entsorgungsunternehmen verwertet oder beseitigt, d. h. nicht weiter vermarktet werden (Müller-Langer, 2006: 12).

Beispielsweise wird das Altholzaufkommen differenziert nach separatem Altholzaufkommen, welchen nicht in Mischung mit anderen Abfallarten vorliegt, oder „gesamtes Altholzaufkommen“, welche neben dem separat vorliegenden Altholzes auch die Altholzmengen umfasst, die mit anderen Abfällen gemischt sind.

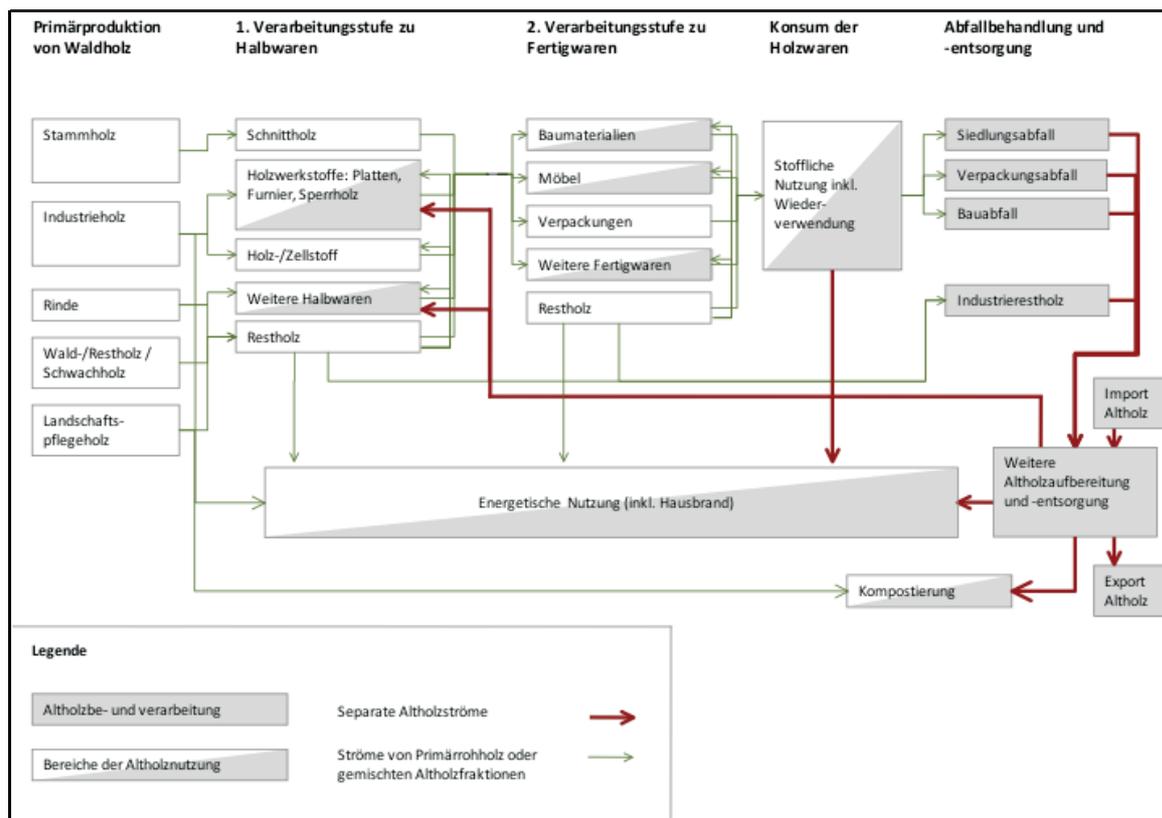


Abbildung 6-1: Überblick zu Altholzströmen und deren Nutzung in der Wertschöpfungskette Holz

Quelle: Bienge und Geibler, basierend auf Mantau / Sörgel 2006, Mantau / Bilitewski 2005, Weimar / Mantau 2008, EPEA 2009

Altholz entsteht in der Holzbe- und -verarbeitung, aus Verpackungsmaterialien, Baustoffen und Gebrauchsgegenständen wie z. B. Möbeln. Über die Altholznutzung entsteht eine starke Vernetzung der verschiedenen Verarbeitungsstufen von Holz. [Abbildung 6-1](#) verdeutlicht die komplexe Struktur der Altholzströme und differenziert die Stoffströme zur stofflichen und energetischen Holznutzung.

Die AltholzV fordert keine vorrangige stoffliche vor einer energetischen Verwertung (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2005), gibt aber vor unter welchen Umständen Altholz thermisch verwertet werden muss. Die Entscheidung über die Art der Altholznutzung liegt im Rahmen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes und der AltholzV beim Abfallbesitzer (Dehoust, 2006: 144). Entscheidend für den weiteren stofflichen und energetischen Verwertungsweg sind dabei die vorangegangenen Herstellungsprozesse der Holzprodukte oder die Art der Holzbehandlung. Altholz kann naturbelassen verarbeitet sein oder unterschiedlich belastet sein, z. B. durch Farben, Lacke, Verleimungen und Beschichtungen sowie Behandlungen mit Holzschutzmitteln und weiteren beigemengten oder verbundenen Störstoffen. [Tabelle 6-4](#) fasst die Altholzkategorien der AltholzV mit beispielhaften Aufkommensarten sowie deren Verwertungs- bzw. Beseitigungsmöglichkeiten zusammen.

Als stoffliche Nutzung wird in der AltholzV hauptsächlich auf die Holzwerkstoffherstellung aus den Kategorien A I, A II und A III zur weiteren Nutzung verwiesen. Das zu Holzhackschnitzel und -späne zerkleinerte Altholz muss hierbei bestimmte Schadstoffgrenzwerte einhalten (vgl. Anhang II AltholzV). Die energetische Nutzung von Altholz ist nach Kategorien aufgeschlüsselt.

Tabelle 6-4: Altholzkategorien nach AltholzV §2 mit Herkunft und Verwertungsmöglichkeiten

Kategorie	Bezeichnung	Herkunft (Beispiele)	Verwertung / Beseitigung
A I	Naturbelassenes oder mechanisch bearbeitetes Altholz, praktisch nicht verunreinigt	<ul style="list-style-type: none"> • Paletten aus Vollholz (Euro-/Industriepaletten) • Verschnitt, Späne von naturbelassenem Vollholz • Kisten aus Vollholz (Obst-/ Gemüse-/Zierpflanzen u.ä.) • Baustellensortimente aus naturbelassenem Vollholz • Verschläge aus Vollholz • Möbel aus naturbelassenem Vollholz • Kabeltrommeln aus Vollholz, Herstellung nach 1989 	Geeignet für stoffliche Verwertung (z. B. Fertigung neuer Spanplatten)
A II	Verleimtes, beschichtetes, lackiertes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel	<ul style="list-style-type: none"> • Paletten aus Holzwerkstoffen • Verschnitt, Späne von Holzwerkstoffen und sonstigem behandeltem Holz (ohne schädliche Verunreinigungen) • Transportkisten aus Holzwerkstoffen, Schalhölzern, behandeltem Vollholz (ohne schädliche Verunreinigungen) • Bauspanplatten • Dielen, Fehlböden, Bretterschalungen aus dem Innenausbau (ohne schädliche Verunreinigungen) • Türblätter und Zargen von Innentüren (ohne schädliche Verunreinigungen) • Möbel, ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung 	Geeignet für stoffliche Verwertung (z. B. Fertigung neuer Spanplatten)
A III	Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel	<ul style="list-style-type: none"> • Sonstige Paletten, mit Verbundmaterialien • Altholz aus Sperrmüll (Mischsortiment) • Möbel, mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung 	Thermische Verwertung in einer geeigneten Anlage oder stoffliche Verwertung nach Vorbehandlung / Aufbereitung
A IV	Mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz und Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Kategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann	<ul style="list-style-type: none"> • Bahnschwellen, Leitungsmasten • Sortimente aus dem Garten- und Landschaftsbau, imprägnierte Gartenmöbel • Sortimente aus der Landwirtschaft • Konstruktionshölzer für tragende Teile • Holzfachwerk und Dachsparren • Fenster, Fensterstöcke und Außentüren • Imprägnierte Bauhölzer aus dem Außenbereich • Bau- und Abbruchholz mit schädlichen Verunreinigungen • Altholz aus industrieller Anwendung (z.B. Industriefußböden, Kühltürme) • Kabeltrommeln aus Vollholz, Herstellung vor 1989 • Altholz aus dem Wasserbau • Altholz von abgewrackten Schiffen und Waggonen • Altholz von Schadensfällen (z. B. Brennholz) • Feinfraktion aus der Aufbereitung von Altholz zu Holzwerkstoffen • sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz 	Thermische Verwertung in einer geeigneten Anlage
PCB-Altholz	Altholz, das mit Mitteln behandelt ist, die polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten	<ul style="list-style-type: none"> • Dämm- und Schallschutzplatten 	Thermische Beseitigung in einer geeigneten Anlage

Quelle: AltholzV §2, BVSE 2005, Bayerisches Landesamt für Umwelt 2005

In Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von < 1 MW dürfen keine A III- und A IV-Hölzer verbrannt werden und A II-Hölzer nur in Anlagen der Holzverarbeitenden Industrie. In Anlagen > 1 MW ist der Einsatz aller Kategorien möglich (Müller-Langer et al., 2006: 24). Die Beseitigung von Holzabfällen durch Verbrennung im Freien ist verboten.

6.2.2 Mengen und Trends der Altholznutzung

Für die Strukturen des Altholzmarktes liegen nur unvollständige und keine amtlichen statistischen Mengenangaben vor (Weimar/Mantau, 2008). Das Altholzaufkommen wird in verschiedenen Studien und Erhebungen mit ca. 5 bis 8 Mio. t jährlich eingeschätzt (Müller-Langer et al., 2006; BVSE, 2005; Weimar/Mantau, 2008). Die z.T. großen Abweichungen der Einschätzungen zum mengenmäßigen Aufkommen lassen sich mit unterschiedlichen Berechnungs- bzw. Erfassungsmethoden begründen.

Nach Erhebungen des Bundesverbands Sekundärrohstoffe und Entsorgung (BVSE, 2005) und Länderstatistiken, die das gesamte Altholzaufkommen umfassen, ergibt sich ein Altholzaufkommen von ca. 8 Mio. t jährlich (Müller-Langer et al., 2006). Weimar/Mantau, (2005) haben in einer empirischen Studie für das Bezugsjahr 2001 eine Vollerhebung der separat anfallenden Altholz entsorgenden Betriebe in Deutschland durchgeführt. Müller-Langer et al. (2006) haben umweltstatistische Daten ausgewertet und Altholzanteile der verschiedenen Abfallschlüssel eingeschätzt. Danach lagen im Jahr 2003 ca. 5,4 Mio. t separat als Altholz vor (Müller-Langer et al., 2006: 19), das in etwa dem von Weimar/Mantau (2008) ermittelten Marktvolumen entspricht. Weimar/Mantau (2008) ermittelten für das von Entsorgungsunternehmen erfasste Altholz für das Jahr 2006 den Wert von ca. 5,9 Mio. t, fügen aber hinzu, dass – unter Berücksichtigung von bestehenden Datenmängeln in der Außenhandelsstatistik und strukturellen Veränderungen im Altholzmarkt – eine Größenordnung von ca. 6,5 Mio. t angenommen werden kann (Weimar/Mantau, 2008: 19). Nach Mantau/Sörgel (2006: 18) trägt auch gebrauchtes Holz aus Haushalten zum Aufkommen bei, das im Hausbrand energetisch genutzt wird.

Das Altholz stammt nach Müller-Langer et al. (2006: 14 f.) im Wesentlichen aus folgenden **Segmenten**, von denen die mengenmäßig größten Anteile aus Abfällen der Holz- und Bauindustrie stammen:

- Industrierestholz: Abfälle aus der Holzbe- und -verarbeitung,
- Bauabfälle: Holzanteile der bei Umbau, Neubau, Rückbau von Gebäuden anfallenden Abfälle,
- Siedlungsabfall: (Alt-)Holz im Hausmüll, hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, Sperrmüll, getrennt gesammelte Fraktionen und
- Verpackungsabfall: Verpackungen aus Holz und gemischte Verpackungen aus Einweg- oder Mehrwegsystemen.

Mengenangaben zum **Außenhandel** mit Altholz ergeben sich aus der Abfallstatistik und der Außenhandelsstatistik. Die Abfallstatistik differenziert den Handel mit separaten Altholzkategorien. Die Außenhandelsstatistik stellt den Handel mit solchen Holzsortimenten (Holzschnitzel, Sägespäne und Holzabfälle) dar, in denen Altholz anteilig enthalten ist. Da die Außenhandelsstatistik die Altholzmengen nicht separat bzw. nicht umfassend erfasst (Erfassung von EU-Intrahandel nur über 300.000 Euro), ergeben sich Schwierigkeiten einer einheitlichen Mengenabschätzung des Altholzaußenhandels:

Tabelle 6-5: Einschätzung zum separaten Altholzaufkommen nach den Kategorien A I bis A IV der AltholzV

Altholzkategorie	Müller-Langer et al. 2006		Weimar / Mantau 2005	
	Mio. t	Prozent	Mio. t	Prozent
A I	1,923	36	1,112	17
A II	2,422	45	2,265	35
A III	0,331	6	2,050	31
A IV	0,727	13	1,094	17
Summe	5,403	100	6,531	100

Quellen: Müller-Langer et al. 2006, Weimar / Mantau 2005 in Müller-Langer et al. 2006

- Der separate Handel von Altholz wird nach Müller-Langer et al. (2006) über die **Abfallstatistik** für die Altholzkategorien A II bis A IV erfasst. Kategorie A I ist nicht notifizierungspflichtig. Die EG-Abfallstatistikverordnung zeigt für die genannten Kategorien, dass sich der Exportüberschuss im Jahr 2001 (-210.792 t) in einen deutlichen Importüberschuss im Jahr 2004 (+347.155 t) gewandelt hat (Müller-Langer et al., 2006: 27). PCB-Altholz fällt nur in sehr geringen Mengen an (Lang, 2002);
- Die Altholzanteile gehandelter relevanter Holzsortimente (Holzschnitzel, Sägespäne und Holzabfälle) werden in der **Außenhandelsstatistik** nicht separat erfasst. Daher haben Mantau / Sörgel (2006b) die Altholzanteile für das Jahr 2004 berechnet (Fortschreibung aus dem Jahr 2001). Der Altholzanteil der importierten Sortimente Holzschnitzel, Sägespäne und Holzabfälle beträgt ca. 65 Prozent. Der Altholzanteil der exportierten Sortimente beträgt ca. 51 Prozent der Export (eigene Berechnungen basierend auf Mantau / Sörgel, 2006b: 27).

Welche Altholz mengen den **Altholzkategorien** zuzuordnen ist, lässt sich bislang eher schwer einschätzen (Müller-Langer et al., 2006).²⁴ [Tabelle 6-5](#) stellt Ergebnisse aus der Auswertung der Umweltstatistik (Müller-Langer et al., 2006) und der Befragung zum Altholzmarkt (Weimar / Mantau, 2005) dar.

Hinsichtlich der **Verwendung von Altholz** zeichnet sich folgendes Bild zu den Mengen ab:

Von dem Altholzmarktvolumen wurden nach Mantau / Sörgel (2006: 18) im Jahr 2004 mit 4,7 Mio. t ca. **74 Prozent energetisch genutzt**, überwiegend in Biomasseheizwerken mit einer installierten Leistung von mehr als 1 MW. Müller-Langer et al. (2006) ermittelten für das Jahr 2003 einen Wert von ca. 9,4 Mio. t energetisch genutztem Altholz, wobei ca. 3,8 Mio. t in der Abfallstatistik bilanziert sind (Müller-Langer et al., 2006: 24).

Bezogen auf das Altholzmarktvolumen wurden nach Mantau / Sörgel (2006: 18) im Jahr 2004 insgesamt **26 Prozent Altholz stofflich genutzt**. Der Großteil mit ca. 23 Prozent Altholz wurde in der Holzwerkstoffherstellung eingesetzt. Die sonstige stoffliche Nutzung umfasst mit ca. 3 Prozent die Eigennutzung in Entsorgungsbetrieben und sonstigen Verwertern. Es liegen keine Zahlen zu

24 Bei Altholzmischfraktionen erfolgt nach AltholzV die Zuordnung jeweils zur höheren Altholzkategorie, wenn eine eindeutige Zuordnung zu einer Altholzkategorie nicht möglich ist. Beispielsweise wird A III-Altholz in der Mischung mit A IV-Altholz insgesamt der höheren Kategorie, d. h. A IV zugeordnet, wenn sie gemischt vorliegen (Müller-Langer et al. 2006: 20, AltholzV §5).

den in der AltholzV angegebenen stofflichen Nutzungen „Gewinnung von Synthesegas zur Herstellung von Methanol“ sowie „Herstellung von Aktivkohle/Industriekohle“ vor. Es wird von einer eher geringen Menge ausgegangen (Müller-Langer et al., 2006).

Insgesamt wurde in Deutschland im Jahr 2003 ca. 13,2 Prozent Altholz in der Holzwerkstoffindustrie eingesetzt. Der mengenmäßig relevante Anteil liegt bei der Spanplattenherstellung bei ca. 21,2 Prozent Altholzanteil. In der MDF/HDF-Plattenherstellung²⁵ wurden 0,7 Prozent Altholz eingesetzt. Die OSB-Plattenherstellung hingegen wird bislang ohne Altholz umgesetzt (Mantau/Sörgel, 2006b: 34).

Die direkt stoffliche Wiederverwendung von Holzprodukten besteht v.a. im Baubereich, Möbel, Verpackung. Eine **Zweitnutzung von Altmöbeln und Baumaterialien** ist vor allem dann möglich, wenn sie in einem guten Zustand und funktionstüchtig bzw. reparaturfähig sind (Erbreich, 2004). Über die Mengen von mehrfach genutzten Altmöbeln oder Baumaterialien z. B. über Recyclinghöfe oder andere Vermarktungswege liegen keine aktuellen Angaben vor. Erbreich (2004) zitiert Engelmann (1993), der diese Mengen als verschwindend gering einschätzt. **Mehrwegsysteme** existieren im Verpackungsbereich für Europaletten (Müller-Langer et al., 2006).

Zusammenfassend ist der **Altholzmarkt ein „lebhafter Markt“** und mit dem vollständigen Inkrafttreten der abfallechtlichen Gesetzgebung (Ende der Übergangsfrist der Abfallablagereverordnung zum 1. Juni 2005 und damit Deponierungsverbot unbehandelter Abfälle) „intensiv mobilisiert“ (Weimar/Mantau, 2008: 4). Weimar und Mantau (2008) haben festgestellt, dass sich der klassische Stoffstrom im Entsorgungssystem z.T. verkürzt hat, d.h. dass der Intrahandel in der Entsorgungsbranche – von den Anfall- bzw. Sammelstellen über Betriebsstätten (klassische Entsorgungsbetriebe), den Vertrieb an größere Abfall- bzw. Altholzaufbereiter und/oder Endverwerter – abgenommen hat. Abfälle werden vermehrt direkt von den Anfall- bzw. Sammelstellen zu den Endverwertern z. B. BHKW oder Spanplatten-/Faserplattenhersteller transportiert bzw. exportiert (Weimar/Mantau, 2008: 19).

Weimar und Mantau (2008: 20) fassen die **Trends im Altholzmarkt** aus dem Vergleich der Jahre 2001 und 2006 folgendermaßen zusammen:

- „das verfügbare Altholzaufkommen hat sich kaum erhöht;
- das Exportvolumen ist deutlich zurückgegangen;
- der Intrahandel ist weniger geworden;
- die innerbetriebliche Nutzung ist deutlich gestiegen;
- die energetische Verwertung hat zugenommen.“²⁶

25 MDF/HDF-Platten sind mitteldichte und hochdichte Holzfasernplatten, die v.a. im Möbel- und Innenausbau (z. B. Laminat) verwendet werden. OSB-Platten (englisch: oriented strand board) bestehen aus mehreren Schichten länglicher Späne, die für die Herstellung der Platten ausgerichtet und gepresst werden.

26 Die Aussagen von Weimar und Mantau (2008) zum Trend der innerbetrieblicher Altholznutzung bezieht sich allein auf die Entsorgungsbranche.

6.2.3 Bewertung der eingesetzten Technologien und deren Entwicklungspotenzial

Für die bestehenden stofflichen und energetischen Nutzungen von Altholz ist der Einsatz verschiedener etablierter Technologien zur Aufbereitung, Holzwerkstoffherstellung bzw. -recycling sowie Verbrennung und Vergasung notwendig. Daneben gibt es neuere Technologien, die spezielle Recyclingverfahren von z. B. nicht feuchtebeständig verleimten Spanplatten (siehe Beispiel Nolte Möbel), die Herstellung von Öl als Basis für Chemieprozesse mittels Pyrolyse oder die Erzeugung biomassebasierte synthetischer Kraftstoffe ermöglichen (Biomass-to-Liquid-Verfahren).

Die **Aufbereitung** von Altholz ist ein etabliertes Verfahren, das nach der AltholzV sowohl für die stoffliche als auch energetische Nutzung eingesetzt werden muss. Eine Beschreibung der verschiedenen Verfahren insbesondere zur Analyse der Schadstoffe findet sich bei Erbreich 2004. Hierbei wird – nach einer Aussortierung von Glas, NE-/FE-Metallen, mineralischen Stoffen, Papiermaterialien und Kunststoffen – das Altholz zu Hackschnitzeln und Spänen zerkleinert. Je nach späterem Verwendungszweck schließen sich weitere Aufbereitungsschritte wie z. B. Dekontamination an (BVSE, 2005: 3). Die Aufbereitung der Altholzklassen A I und A II ist nach Müller-Langer et al. (2006) etabliert und üblich. Für die Altholzklassen III/IV gibt es eine Anlage. Potenziale liegen allgemein in der verbesserten Aussortierung von Altholz aus Abfallmischfraktionen wie z. B. Siedlungs- und Bauabfällen (Müller-Langer et al., 2006: 48 f.). Verfahren zur Altholznutzung u.a. in der Zell- und Holzstoffherstellung für die Papierindustrie bestehen, werden aber nicht eingesetzt (Erbreich, 2004: 23).

Die technischen Verfahren des Altholzrecycling zur **Holzwerkstoffherstellung** für feuchtebeständig verleimte Spanplatten sind entwickelt (EPEA, 2009: 28). Das Verfahren zum Recycling nicht feuchtebeständig verleimter Spanplatten wurde vor ca. 12 Jahren vom Wilhelm-Klauditz Institut (WKI) entwickelt und in 2 Unternehmen umgesetzt (Michanickl, 2009), wird derzeit allerdings – durch die verstärkte Nutzungskonkurrenz zur energetischen Nutzung von Altholz – nicht mehr angewendet (siehe Kasten). Eine Untersuchung zum Altholzeinsatz in der MDF-Plattenherstellung bestätigt die technische Machbarkeit mit bis zu 25 Prozent Altholzanteil und beschreibt z.T. bessere Produkteigenschaften verglichen mit reinen Frischholzplatten (Erbreich, 2004). Technisch machbare Altholzanteile in der Spanplattenherstellung liegen derzeit 50 bis 80 Prozent (EPEA, 2009: 28). In Italien werden bis zu 100 Prozent Altholzanteil in der Spanplattenherstellung erreicht (Behn, 2005: 11). Zu den Abschätzungen der Altholzanteile der weiteren Holzwerkstoffe bzw. der technischen Verfahrensentwicklung für den Altholzeinsatz in OSB-Platten besteht Forschungsbedarf (EPEA, 2009, Erbreich, 2004).

Die Verfahren der **energetischen Nutzung** sind etabliert: Verbrennung der Holzabfälle zur Erzeugung von Wärme und Elektrizität in Hausmüllanlagen oder anderen zugelassenen Anlagen (siehe Kapitel 5). Bei der Verbrennung entstehen neben CO₂-Emissionen auch NO_x-Emissionen, die durch primäre Maßnahmen wie Temperaturreduktion und Rauchgaszirkulation vermindert werden können. Die Rauchgasreinigung kann durch Filtersysteme gewährleistet werden. Die Verbrennungsrückstände sind allerdings meistens toxisch belastet und müssen deponiert werden. Die **Asche** kann somit nur in wenigen Fällen als Düngemittel eingesetzt werden – Rückführung in den Wald (Erbreich, 2004).

Es wird allgemein davon ausgegangen, dass Holz bzw. Altholz in näherer Zukunft keinen signifikanten Beitrag zur Produktion von **Kraftstoffen** wie Bioethanol, BtL (Biomass to Liquid) oder SNG (Synthetic Natural Gas) leisten wird (vgl. Abschnitt 5.3). Die entsprechenden Technologien (enzymatischer Aufschluss von Lignin zur Ethanolproduktion, Vergasung) stehen derzeit nicht in großtechnischem Maßstab zur Verfügung. Auch die Nutzung der Holzvergasung steckt noch in der Erprobung und ist stark von der weitergehenden technologischen Entwicklung abhängig (vgl. Abschnitt 5.3). Die Herstellung von altholzbasiertem Öl mittels Flashpyrolyse (Holzverflüssigung)

Spanplattenrecycling der Firma Nolte Möbel

Die Firma Nolte Möbel hat von 1997 bis Ende des Jahres 2008 ein chemo-thermisches Recyclingverfahren von Spanplatten angewendet, bei dem Holzfasern und -späne aus Altmöbeln und Produktionsausschüssen gewonnen werden (EPEA 2009: 26 f., Michanickl 2009). Das mehrstufige WKI-Verfahren führt zu Spanplatten mit erhöhten Altholzanteilen, bei dem auch belastetes Altholz durch Dekontaminierungsschritte stofflich genutzt werden kann (vgl. EPEA 2009: 66 f.). Die Qualität der Spanplatte auf der Grundlage von aufbereiteten Sekundärrohstoffen entspricht der Qualität der gewöhnlichen Spanplatten auf Basis von Primärrohstoffen. Die Beschichtungen können für den Recyclingprozess thermisch intern genutzt werden (Michanickl 2009).

Nach der Zerkleinerung der Altmöbel und Ausschüsse werden Späne, Beschichtungsmaterialien und Metallbeschläge getrennt. Anschließend werden die Späne getrocknet und zu neuen Spanplatten verarbeitet. Die abgelösten Beschichtungen werden energetisch verwertet, da eine erneute stoffliche Nutzung der Beschichtungen derzeit technisch nicht möglich ist. Anfallende Metallteile werden stofflich genutzt (EPEA 2009).

In den Jahren 2000 bis 2002 wurde die Recyclingkapazität der Anlage von 50.000 t/a weitgehend ausgeschöpft (EPEA 2009: 26). In den Folgejahren bis 2007 blieb die Produktionsmenge mit ca. 35.000 t/a stabil. Im Jahr 2008 sank sie auf ca. die Hälfte der Kapazität (21.745 t/a) (Nolte Holzwerkstoff 2009: 8).

Im aktuellen Umweltbericht der Firma Nolte wurde die Stilllegung der Recyclinganlage bekannt gegeben (Nolte Holzwerkstoff 2009). Die Anlage zur Produktion der Altmöbelspanplatten ist nach Unternehmensangaben wegen gestiegener Energie- und Rohstoffpreise und notwendiger Investitionskosten nach 12 Jahren Laufzeit nicht mehr wettbewerbsfähig. Nach Michanickl (2009) ist ein wesentlicher Grund für die Stilllegung die Förderung der energetischen Altholznutzung, die die Beschaffungskonkurrenz verschärft hat. Nolte erwartet, dass die Fördersituation mittelfristig erhalten bleibt, und hat sich darauf basiert zur Schließung der Anlage entschlossen (Nolte Holzwerkstoff 2009).

Das Beispiel zeigt sowohl die Möglichkeiten und Grenzen einer Holz-Kaskade als auch Forschungs- und Optimierungsbedarf auf (vgl. Kapitel 7). So kann eine stoffliche Mehrfachnutzung von Altholz technisch und mit qualitativ hochwertigen Produkten wettbewerbsfähig sein und direkte Beschäftigungseffekte auslösen. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Wettbewerbsfähigkeit der stofflichen Mehrfachnutzung von politischen Rahmenbedingungen abhängt. In diesem Kontext scheint die politische Förderung der Bioenergie der Anwendung der stofflichen Recyclingverfahren entgegenzustehen und zur Stilllegung von Recyclinganlagen geführt zu haben (vgl. Kapitel 3).

wurde in einem DBU-Projekt (2003–2006) durchgeführt. Das Pyrolyseöl kann als Treibstoff und in der chemischen Industrie eingesetzt werden. „Bei der Flash-Pyrolyse, auch schnelle Pyrolyse genannt, werden Holzpartikel schlagartig unter Sauerstoffabschluss auf etwa 500 °C erhitzt. Dabei zersetzen sie sich in überwiegend flüchtige Bestandteile. Diese werden durch ein reaktionsarmes Gas innerhalb einer Sekunde aus dem Reaktor in eine Kondensationsvorrichtung gefördert und zu „Bio-Öl“ verflüssigt. Aus 100 kg Altholz lässt sich 65–75 kg schadstoffarmes Öl gewinnen, das als Treibstoff für die Energieversorgung und Basis für Chemierohstoffe genutzt werden kann. Außerdem entstehen 15–20 kg Gas und 10–15 kg Holzkohle.“ (DBU, o.J.: 1). Für u.a. Holz im allgemeinen wird das Verfahren seit Ende der 1980er-Jahre erforscht (Meier / Faix, 1999). Über die kommerzielle Anwendung des Verfahrens liegen keine weiteren Angaben vor (DBU, o.J.).

6.2.4 Treiber der Marktpotenziale eng verbunden mit Konkurrenz-/ Alternativroh- und Werkstoffen

Wie das Beispiel Nolte zeigt, sind Altholzaufkommen und -verfügbarkeit neben den abfall- und energiepolitischen Rahmenbedingungen (siehe Kapitel 3) auch an die wirtschaftliche und technologische Entwicklung der verschiedenen Branchen, die demographische Entwicklung und das Konsumverhalten sowie Energie- und Holzpreise gekoppelt (Müller-Langer et al., 2006). Hohe Energiepreise und energiepolitische Maßnahmen haben die energetische Nutzung von Altholz gefördert. Dies führte auch zu einer vermehrten innerbetrieblichen Nutzung von Altholz und einer steigenden Altholznutzung in Haushalten (Weimar / Mantau, 2008: 20).

Das Altholzaufkommen aus Bauabfällen hängt zusammen mit dem Bauvolumen, dass in den Jahren 2001 bis 2006 um ca. 40 Mrd. Euro sank und damit auch das entsprechende Altholzaufkommen (Weimar / Mantau, 2008: 20). Das Altholzaufkommen im Möbelbereich ist u.a. gekennzeichnet durch den Lageraufbau in Wohn- und Bürogebäuden, der in Deutschland auf 3 bis 5 Mio. t Möbel jährlich geschätzt wird und sich aus der Differenz von Möbelkonsum und -entsorgung ableitet (Dehoust et al., 2006: 149).

Auch konkurrierende stoffliche Anwendungen von Altholz oder alternative Werk- und Baustoffe (Substitutionen) mit unterschiedlich zeitversetztem Aufkommen beeinflussen die zukünftige Altholzverfügbarkeit (Müller-Langer et al., 2006), z. B. Substitution von:

- Holzprodukten (z. B. Möbel und Baumaterialien) durch Produkte aus anderen Rohstoffen (z. B. Kunststoffe) und umgekehrt,
- altholzbasierten Fasern durch Fasern aus landwirtschaftlichen Reststoffen (Hanf, Stroh, Flachs etc.) oder anderen Faserpflanzen,
- Altholz durch Restholz aus der Holzindustrie,
- Holzwerkstoffen mit hohem Altholzanteil durch Holzwerkstoffen mit niedrigem Altholzanteil z. B. können Spanplatten kann durch MDF-Platten ersetzt werden,
- Altholz durch Mehrfachnutzung und Wiederverwertung von z. B. Holzverpackungen und Möbeln.

Auch ist die Entwicklung im Holzsektor – insbesondere die Produkt- und Verfahrensentwicklung – bedeutend für die Altholzqualitäten bzw. die Wiederverwendbarkeit, Lebensdauer und Verwertbarkeit der Holzwaren. Hierbei können die Entwicklung neuer Werkstoffe (z. B. Verbundstoffe mit

Kunststoffe, Glas, Beton, hochfesten Fasern und Textil), das Produktdesign im allgemeinen oder die Anwendung nachhaltiger Holzbauverfahren eine Rolle spielen.

Bauliche Holz- und Brandschutzmaßnahmen können den Schadstoffeintrag in das Wertstoffsystem reduzieren und somit den Altholzeinsatz bzw. den Holzeinsatz (Substitution nicht nachwachsender Baumaterialien) erhöhen. Ein Verzicht auf chemische Holzschutzmittel kann durch u.a. die Auswahl von geeigneten Holzarten und -qualitäten oder die Durchführung konstruktionstechnischer Maßnahmen, unter der Voraussetzung sorgfältiger Ausführung nach DIN 68800, erreicht werden (Holzabsatzfonds 2009). Umfassende Brandschutzkonzepte (bauliche, anlagentechnische und organisatorische Maßnahmen) können auch im (mehrgeschossigen) Holzbau zu brandtechnisch sicheren Gebäuden führen (Holzabsatzfonds 2005).

6.2.5 Effekte auf die Ressourcennutzung und Beschäftigung

Die Kaskadennutzung von Altholz wird im Folgenden hinsichtlich ihres Beitrags zur möglichen Steigerung der Ressourceneffizienz und der Beschäftigungseffekte diskutiert.

Ressourcen und Ressourceneffizienz

Die Knappheit vieler natürlicher Ressourcen wird über den regen internationalen Rohstoffhandel und steigende Rohstoffpreise sichtbar. Zudem erhöht sich der Nutzungsdruck auf natürliche Ressourcen, sodass damit zusammenhängende indirekte negative ökologische und soziale Auswirkungen verstärkt werden. Daher ist eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen nötig. Ein Ansatz stellt die Erhöhung der Ressourceneffizienz dar.

Für die genaue Betrachtung der Ressourceneffizienz werden somit fünf Kategorien genutzt: Abiotische Rohstoffe, zu denen mineralische und fossile Ressourcen gehören, biotische Rohstoffe wie beispielsweise pflanzliche Biomasse aus Bewirtschaftung sowie Biomasse aus nicht bewirtschafteten Bereichen. Zusammen mit der mechanischen Bodenbewegung bilden diese drei Kategorien den „Total Material Requirement“ (TMR). Zusammen mit dem TMR werden die Kategorien Wasser und Flächenbedarf als Input-Größen definiert und damit als engere Ressourcen-Definition verwendet.

Genauere Daten zur Ressourcennutzung über den gesamten Lebenszyklus für die Kaskadennutzung von Altholz liegen nicht vor. Eine erste Einschätzung der Effekte auf die Ressourceneffizienz einer stofflichen Altholznutzung für den Lebenszyklus entlang der fünf Kategorien gibt [Tabelle 6-6](#). Mengeneffekte (z. B. erhöhter Verbrauch durch Effizienzgewinne) werden hier nicht betrachtet.

Für das Beispiel „Nolte“ lässt sich ein Beitrag der Altmöbelspanplatte zur Erhöhung der Ressourceneffizienz im Vergleich zur direkten energetischen Altholznutzung für die Anbau und Verarbeitungsphase in fast allen Kategorien annehmen. Im Anbau werden Primärrohstoffe und damit verbundene Aufwendungen für Material, Wasser und Fläche eingespart. Gleiches gilt für die Verarbeitung der Primärrohstoffe. Die mehrfache stoffliche Altholznutzung wirkt sich in der Recyclingphase durch Aufwendungen für den Bau und Betrieb der Recyclinganlage und anhängiger Infrastruktur eher negativ aus. Für die Phase der energetischen Nutzung ist Kompensation der verzögerten Energiebereitstellung aus Altholz erforderlich, dies wirkt sich kurzfristig negativ auf

Tabelle 6-6: Einschätzung zur Veränderung des Ressourcenverbrauches durch eine stoffliche Altholzholznutzung (im Vergleich zur direkten energetischen Altholznutzung)

Lebenszyklusphase Kategorie	Anbau	Primärrohstoffverarbeitung	Nutzung	Recycling (unmittelbare Effekte der Intervention)	Energetische Verwertung	Lebenszyklusweit
Abiotische Rohstoffe	+ Vermeidung von Ressourceneinsatz zum Anbau von Rohholz	+ Vermeidung von Ressourceneinsatz zur Verarbeitung von Rohholz	o	- Gestiegener Ressourceneinsatz für den Betrieb der Recyclinganlage	- Ressourceneinsatz zur Kompensation der verzögerten energetischen Nutzung	+
Biotische Rohstoffe	+ Vermiedene Entnahme von Rohholz	+ Vermeidung von Ressourceneinsatz zur Verarbeitung von Rohholz	o	± Aufwendungen für Zusatzstoffe unklar	o	+
Bodenbewegung	+ Vermiedene Bodenbewegung/ Erosion bei Entnahme von Rohholz	o Keine Effekte durch Nutzung bestehender Anlagen	o	- Bodenbewegung für den Bau der Recyclinganlage fallen an	o	+
Wasserbedarf	+ Verbesserung der Hydrologie durch Bestandserhalt	+ Vermiedener Wasserbedarf für Rohstoffverarbeitung	o	± Wasserbedarf für das Recycling unklar	o	±
Flächenbedarf	+ Geringerer Flächenbedarf für den Anbau	o Keine Effekte durch Nutzung bestehender Anlagen	o	- Flächenversiegelung für den Bau der Recyclinganlage	o	+
Anmerkungen: Quelle: Geibler und Bienge, Legende: + Wirkungen auf Ressourcenverbrauch positiv eingeschätzt - Wirkungen auf Ressourcenverbrauch negativ eingeschätzt ± Wirkungen auf Ressourcenverbrauch unklar o keine Wirkung auf Ressourcenverbrauch zu erwarten						

den Ressourcenbedarf aus. Langfristig wird jedoch auch das recycelte Altholz für die energetische Nutzung zur Verfügung gestellt werden. Für die Nutzungsphase werden keine Effekte auf die Ressourceneffizienz erwartet.

Es zeigt sich, dass eine abschließende Bewertung der Wirkung des Altholzrecyclings auf die Ressourceneffizienz nicht gemacht werden kann. Für eine weitergehende und vergleichende Analyse des Ressourcenverbrauches besteht Forschungsbedarf. Auf den Aspekt der Beschäftigungseffekte der stofflichen Altholznutzung geht das folgende Kapitel ein.

Beschäftigungseffekte der Kaskade Altholznutzung

Positive Beschäftigungseffekte zählen zu den Auswirkungen die im Zusammenhang mit einer Kaskadennutzung häufig genannt werden.

„Diese Form der stofflich-energetischen Kaskadennutzung ... weisen auch hinsichtlich der Beschäftigungswirksamkeit und Wertschöpfung die höchsten Effekte auf“ (Knoll / Rupp, 2007). Leider wird diese Aussage weder mit empirischen Untersuchungen oder Berechnungen noch argumentativ unterfüttert. Auch in der sonstigen Literatur konnten leider keine belastbaren Angaben gefunden werden, welche die Annahme größerer positiver Beschäftigungseffekte untermauern könnte.

Große positive Beschäftigungsfaktoren einer stofflichen Nutzung gegenüber einer energetischen sind in der Literatur beschrieben. Die Herstellung von Papier ist gegenüber der energetischen Nutzung sechsfach Beschäftigungsintensiver (Pöyry, 2006). Aus diesen Beschäftigungsfaktoren lässt sich jedoch nicht einfach ableiten, dass eine Kaskadennutzung bei der erst eine stoffliche und dann eine energetische Nutzung erfolgt diese Beschäftigungsfaktoren zu positiven Beschäftigungseffekten umsetzen kann.

Insgesamt fehlen Untersuchungen, die zuverlässig die Beschäftigungswirkung einer verstärkten Kaskadennutzung untersuchen. Eine abschließende Bewertung der Beschäftigungswirkung einer Altholznutzung ist derzeit nicht möglich. Hierzu reicht die Datenbasis nicht aus. Eine quantitative Ermittlung der Beschäftigungseffekte würde den Rahmen dieser Studie aber überschreiten.

6.2.6 Fazit: Ansatzpunkte zur ressourceneffizienten Kaskadenoptimierung

Die Nutzung von Altholz stellt eine etablierte Form der Kaskadennutzung dar: Der Rohstoff Holz wird in relevanten Mengen nach der ersten stofflichen Nutzung als Altholz in der Regel energetisch genutzt, teilweise mit der Vorschaltung einer oder mehrerer stofflicher Wiederverwendungen. Eine mögliche Erweiterung der Kaskade ergibt sich aus einer wiederholten stofflichen Nutzung. Am Fallbeispiel Nolte zeigt sich, dass eine Erweiterung der Kaskadennutzung durch wiederholte stoffliche Nutzungen von Altholz technisch machbar und scheinbar ohne Qualitätseinbußen umsetzbar ist.

Eine Voraussetzung zur verstärkten stofflichen Nutzung ist die **Getrennthaltung der Altholzkategorien** am Ort des Abfallaufkommens, um A I- und II-Hölzer sowie aufbereitete A III-Hölzer für die stoffliche Verwertung separat nutzen zu können bzw. nutzbar zu machen. Eine Mischung verschiedener Altholzkategorien oder eine Mischung mit anderen Abfallströmen erschwert die Bereitstellung von solchen Altholzqualitäten, die für eine stoffliche Nutzung erforderlich sind. Alternativ müssten Sortierungsmöglichkeiten verbessert oder Dekontaminierungsverfahren eingesetzt werden.

Um eine einfache Trennung der Abfallströme zu ermöglichen bzw. um möglichst unbelastete Rohstoffe im Abfallstrom zu erhalten, sind auch **höhere Anforderungen an das Produktdesign** zustellen. Die Nutzung von Holz in der Bau- und Möbelbranche sollte sich daher am Ansatz des ökologischen Produktdesigns orientieren und schon beim Design Kriterien wie Wiederverwendbarkeit bzw. Recyclingfähigkeit berücksichtigen. Zur weiteren Förderung der Ressourceneffizienz sollten Holzprodukte entwickelt werden, die auch während der Produktion und Nutzung einen

niedrigen Material-, Energie- und Wasserverbrauch aufweisen. Die Potenziale können durch ein übergreifendes Management der Holzertschöpfungskette weiter erhöht werden, da sich durch die starke Vernetzung der Holznutzung in den verschiedenen Verarbeitungsstufen Synergien für eine Erhöhung der Ressourceneffizienz durch eine optimierte Kaskadennutzung ergeben.

Das Altholzrecycling bei Nolte macht auch deutlich, dass energiepolitische Rahmenbedingungen, welche die energetische Nutzung von Altholz fördern, der Anwendung der stofflichen Recyclingverfahren entgegenstehen. Dies ist auch insofern bedenklich, als dass sich eine Verschiebung von der stofflichen zur energetischen Holznutzung negativ auf die arbeitsmarkt- und volks- bzw. regionalökonomische Situation in Deutschland auswirken kann, da mit der stofflichen Holznutzung eine höhere Wertschöpfung und ein höherer Beschäftigungsfaktor verbunden sind. Zu berücksichtigen ist bei der Bewertung von Veränderungen in der Kaskadennutzung allerdings auch, dass Veränderungen der stofflichen Holznutzung zum Teil erst verzögert wirken. Beispielsweise wird beim Recycling die energetische Nutzung des Altholzes verzögert erfolgen können. Auch können bei einer Standortverlagerung der Recyclingindustrie zukünftig keine kurzfristigen Produktionskapazitäten erhöht werden.

Um langfristig die bestehenden natürlicher Holzressourcen sinnvoll zu nutzen, ist eine langfristige Strategie zu entwickeln, welche die Kaskadennutzung von Holz im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung optimiert. Eine solche Strategie sollte die sozioökonomischen Auswirkungen, Wechselwirkungen mit anderen Nutzungssystemen und ökologischen Grenzen einbeziehen, um so einen langfristigen Planungshorizont für politische Maßnahmen und langfristig wettbewerbfähiges unternehmerisches Handeln bieten. Mit der Optimierung der stofflichen Altholznutzung erscheinen sich gegenüber der reinen direkten energetischen Altholznutzung positive Arbeitsplatzeffekte und zum Teil Ressourceneffizienzgewinne zu ergeben. Die hier gemachten ersten Einschätzungen bedürfen einer vertiefenden Forschung.

6.3 Fallbeispiel b) Acid Methyl Ester (AME)

Das zweite ausgewählte Fallbeispiel beschreibt die Option, bisher bekannte stoffliche und energetische Nutzungen in einer bisher nicht üblichen Art miteinander zu verknüpfen: die bekannte stoffliche Nutzung, Rapsöl als Frittierfett zu verwenden, wird mit der ebenfalls bekannten und etablierten Nutzung von pflanzlichen Ölen als Kraftstoff gekoppelt.

Im dargestellten Fallbeispiel wird abgeschätzt, welche Potenziale durch die breitere Einführung dieser Kaskade erschließen lassen können und welche ökologischen und sozio-ökonomischen Auswirkungen damit verbunden sind.

6.3.1 Beschreibung der Kaskade Rapsöl-Frittierfett-AME

Acid methyl ester (AME) bezeichnet nach der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel (AQMD)²⁷ einen Biodiesel, der auf Basis von Recyclingfetten und -ölen, insbesondere benutzten

27 Quelle: http://www.agqm-biodiesel.de/_6____38.html

Speisefetten hergestellt wird. Zum Einsatz kommen zu einem großen Teil Frittierfette, die nach der Nutzung gesammelt, aber dann nicht wie üblich entsorgt, sondern zu Kraftstoff aufbereitet werden.

Die Nutzung von AME unterscheidet sich durch die Veresterung zu Biodiesel von dem Einsatz des nur gereinigten Pflanzenöls als Direkt-Kraftstoff. Dieser letztgenannte erfordert – wie in Abschnitt 5.3.4 dargestellt – erhöhte Aufmerksamkeit seitens des Nutzers durch z. B. geringere Wartungsintervalle oder häufigere Filterwechsel als es für Biodiesel notwendig ist. Die Kaskade hat damit das Potenzial, einem größeren als dem sehr überschaubaren Nischenmarkt für unaufbereitetes Pflanzenöl zur Verfügung zu stehen. Nichtsdestotrotz erfordert der Einsatz von AME an einigen Stellen eine etwas aufwändigere Logistik und Einsatzplanung als z. B. Raps-Methyl-Ester (RME).

6.3.2 Mengen und Trends

Über die Nutzung von Biodiesel und reinem Pflanzenöl (meist Rapsöl) werden in Deutschland an verschiedenen Stellen Statistiken geführt, so etwa bei der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR)²⁸, dem Bundesverband Biogene und Regenerative Kraft- und Treibstoffe e.V. (BBK)²⁹ und der Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP)³⁰. Dagegen gibt es bei diesen Institutionen keine gesonderten Daten über die Unterkategorie AME.

Eine Annäherung über die in Deutschland genutzten Mengen von AME erfolgt daher über die Unternehmen, die in der Aufbereitung von gebrauchtem Speiseöl zu Biodiesel aktiv sind. Namentlich genannt werden Petrotec AG³¹ und EcoMotion GmbH³², wobei der Letztgenannte nach eigenen Angaben seit Januar 2009 nicht mehr in diesem Feld beschäftigt ist, sondern sich stattdessen auf die Umsetzung von tierischen Fetten spezialisiert.

Die Firma Petrotec AG verarbeitet nach Einschätzung eines Unternehmenssprecher pro Jahr rund 60.000 t Speisefett zu ca. 48.000 t Biodiesel. Davon wird nach eigenen Angaben der weitaus überwiegende Anteil als Kraftstoff genutzt, während nur sehr geringe Mengen auch in BHKW zu Strom und Wärme umgesetzt werden (von Kriegsheim, 2009). Damit entspricht der von Petrotec AG hergestellte AME rund anderthalb Prozent des Absatzes von Biodiesel in Deutschland in 2007 von etwa 3,3 Mio t (vgl. [Tabelle 5-3](#)).

Einem Branchensprecher zufolge kann das Aufkommen an Altfetten/Speisefetten in Deutschland wie folgt grob abgeschätzt werden: in der Gastronomie sowie der Industrie fallen pro Jahr je etwa 200.000 t an, in der Fleischproduktion rund die Hälfte. Aus dem privaten Bereich können pro durchschnittlichem 4-Personen-Haushalt rund drei bis fünf Liter pro Jahr angenommen werden; diese Ströme sind allerdings in der Regel nicht rückgewinnbar.

Eine Obergrenze des Potenzials an AME läge demzufolge bei rund 500.000 t Altfett bzw. 400.000 t AME, entsprechend ca. 12 Prozent des derzeitigen Biodieselsatzes.

28 Quelle: <http://www.bio-kraftstoffe.info/daten-und-fakten/mengen-und-potenziale.html>

29 Quelle: www.biokraftstoffe.org

30 Quelle: www.ufop.de

31 Quelle: www.petrotec.de

32 Quelle: <http://www.ecomotion-gmbh.de/>

Aufgrund der Änderungen in der Besteuerung von Biokraftstoffen (siehe Abschnitt 3.1.4) ist der Absatz von insbesondere heimischem RME zurück gegangen, da die regionale Produktion für dezentrale Ölmühlen keine wirtschaftlich attraktive Option mehr darstellt. In diesem Kontext hat auf der anderen Seite die Nutzung von AME zugenommen. Das Wachstum erfolgt allerdings von einem geringen Niveau aus; der Kraftstoff wird aller Voraussicht nach auf einen kleinen Markt beschränkt bleiben.

Auf der technischen Seite ist zu beachten, dass aufgrund der Kraftstoffeigenschaften (siehe folgenden Abschnitt 6.3.4) ein Einsatz unter den Bedingungen der Abgasnorm EURO V nicht zu realisieren sein wird. Die Nutzung des Kraftstoffs wird daher auch zeitlich bis dahin begrenzt sein, wenn Fahrzeuge mit einer niedrigeren EURO-Klasse nicht mehr betrieben werden.

6.3.3 Vernetzung von Nutzungsstufen

Die bisherige, nicht kaskadische Nutzung von Frittierfett hat eine Entsorgung des Altfettes nach Gebrauch erforderlich gemacht, die gebührenpflichtig ist. Mit den ersten Vernetzungen zum Kraftstoffbereitsteller in der Kaskade sind zunächst weiterhin Gebühren seitens des Erst-Benutzers an den Abnehmer gezahlt worden. Da die Nachfrage an Altfett zugenommen hat, hat sich die Situation aber umgekehrt: während in einer Zwischenphase die Abnahme bzw. Verfügbarkeit des Reststoffs unentgeltlich erfolgt, wird das Altfett derzeit seitens des Kraftstoffbereitstellers vergütet (Hojnacki, 2009).

Mit dieser Umkehrung der Finanzwege ist eine Infrastruktur aus regionalen Entsorgern entstanden, welche den Rest- bzw. Rohstoff aus den verarbeitenden Betrieben sammeln. Die weitere Aufbereitung und das Inverkehrbringen des Kraftstoffs erfolgt nicht mehr auf regionaler Ebene, sondern zentral durch wenige Unternehmen in Deutschland. Durch die zentrale Weiterverarbeitung werden in das Produkt AME Altfette verschiedener Herkunft und auch verschiedene Rohstoffe (Rapsöl, Palmöl, Sojaöl, etc.) eingebracht, so wie sie aus der verarbeitenden Industrie angeliefert werden. Aus technischen Gründen müssen allerdings die pflanzlichen Fette von denen tierischer Herkunft getrennt bleiben, da schon geringe Verunreinigungen aufgrund der unterschiedlichen chemischen Eigenschaften die Zündfähigkeit des Endprodukt herabsetzen (Hojnacki, 2009).

Eine Trennung der Stoffströme nach Anlieferer ist aus logistischen Gründen dagegen nicht sinnvoll darstellbar. Aus diesem Grund ist in einer übergeordneten Betrachtung von einem Kreislauf des eingesetzten Pflanzenöls zu sprechen; eine direkte Verbindung, wie sie zu Marketingzwecken von einigen Unternehmen propagiert wird³³, ist jedoch in der Praxis nicht zu realisieren.

Ein insbesondere für die Wirtschaftlichkeit des Biodiesels wichtiges Nebenprodukt ist Glycerin, das beim Prozess der Umesterung anfällt (FNR, 2007c). Laut Auskunft von (Fischer, 2009) ist zu beachten, dass das Nebenprodukt z. B. in bestimmte Märkte nur dann abgesetzt werden kann, wenn garantiert wird, dass es während des Herstellungsprozesses keinerlei Berührung mit tierischen Fetten gegeben hat³⁴. Bei der Nutzung von Altspisefetten ist dies nicht gegeben, so dass

33 Bspw. gibt McDonalds an, die Zulieferung von Waren mit dem Kraftstoff aus eigenem gebrauchtem Frittierfett zu realisieren und somit einen geschlossenen Kreislauf zu fahren (Havi Logistics, 2009).

34 Als Beispiel sei die Nutzung von Seiten jüdischer Unternehmen genannt, die Glycerin nicht abnehmen, wenn es durch Vermischung mit tierischen Fetten nicht mehr kosher ist (Fischer, 2009).

diese Märkte das Glycerin nicht mehr abnehmen und die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens möglicherweise in Frage gestellt werden muss. Diese exemplarische Betrachtung zeigt, dass alle Nutzungswege und Nachnutzungen der Produkte und Nebenprodukte berücksichtigt werden müssen, wenn in einen Teil der Verfahrenskette eingegriffen werden soll.

6.3.4 Beschreibung und Bewertung der eingesetzten Technologien

Die technische Prozesskette zur Aufbereitung von gebrauchtem Frittierfett zu *Acid Methy Ester* umfasst im Wesentlichen drei Schritte: die Reinigung von Schwebstoffen, die Veresterung sowie die Zugabe von Additiven. Sie entspricht damit im Wesentlichen dem Verfahren, wie es für RME bekannt ist. Es sind allerdings einige Besonderheiten bei der Aufbereitung und vor allem der Logistik und Infrastruktur zu beachten, die das Produkt AME dennoch von dem gängigeren RME unterscheiden und die Verwendung erschweren. Probleme bei einem hohen Anteil von Recyclingfetten im Rohstoff bereiten typischerweise die Parameter CFPP (Kältefestigkeit) und Gesamtverschmutzung. Der Heizwert von AME liegt geringfügig unterhalb demjenigen von RME (Hojnacki, 2009).

Der Reinigung kommt eine hohe Bedeutung zu, da das Altfett durch den Gebrauch in z.B. Friteusen stark verunreinigt sein kann. Mit den heute gängigen Verfahren des Filtrierens bzw. bei noch weiterer Verschmutzung Destillierens kann aber ein ausreichender Reinheitsgrad erreicht werden (Fischer, 2009).

Das Verfahren der Veresterung unterscheidet sich nicht wesentlich von dem Verfahren, wie es für Rapsöl bzw. RME eingesetzt wird (vgl. Abschnitt 5.2.5). Durch diesen Prozess wird ein Standard erreicht, der den Kraftstoff AME besser einsetzbar macht, als es ohne diese chemische Aufbereitung wie z.B. für reines Pflanzenöl der Fall ist. Abhängig von der Art der Rohstoffe, der Aufbereitung und der Anlagentechnologie können die Anforderungen der Norm DIN EN 14214 (siehe auch Abschnitt 5.3.4) erfüllt werden.

Auch RME wird mit Additiven versetzt, die insbesondere eine höhere Stabilität und Kältefestigkeit zu erreichen. Bei AME kommt der Additivierung aber eine noch höhere Bedeutung zu. Um das Speisefett nach Gebrauch in z.B. der Friteuse abpumpen und per Tank zur zentralen Weiterverarbeitung transportieren zu können, muss es bis zum Erreichen des Bestimmungsortes gegebenenfalls sogar mehrfach wieder erwärmt werden. Die wiederholten Vorgänge des Erstarrens und Verflüssigens schädigen die Proteinketten im Fett, die daher chemisch wieder hergestellt werden müssen (Hojnacki, 2009).

Recycelte Fette weisen eine geringere Kältefestigkeit auf, die bei Temperaturen unter 0 °C ein Ausflocken bzw. eine Erstarrung bewirkt, die sich auch durch Zugabe von Additiven nicht vollständig verhindern lässt. Daher gilt die Fahrerlaubnis für den Kraftstoff AME in Deutschland aus Sicherheitsgründen nur im Zeitraum vom 15. April bis zum 30. September, in welchem von Temperaturen von oberhalb 10 °C ausgegangen werden kann. In der Zwischenzeit ruht auch die Aufbereitung bzw. Veresterung des Altfettes zu AME, da der Biodiesel (wie auch RME) aufgrund der hydrierenden Eigenschaften nur über eine begrenzte Lagerfähigkeit verfügt. In diesem Zeitraum wird der Abnehmer üblicherweise mit Biodiesel auf Rapsbasis (RME) beliefert (Hojnacki, 2009).

Eine Vollversorgung mit AME ist daher schon aus diesen logistischen Gründen in Ländern mit Minustemperaturen im Winter ausgeschlossen, unabhängig von den verfügbaren Inputstoffen.

Der höhere Wasseranteil verhindert außerdem den Einsatz des Kraftstoffes (RME wie AME) in Motoren der Klasse EURO V, da hier höhere Temperaturen und Drücke als in den niedrigeren EURO-Klassen eingehalten werden.

Eine Freigabe seitens der Motorenhersteller wird üblicherweise für moderne Dieselfahrzeuge nur für die rein pflanzlichen Biodiesel wie RME (Rapsbasis), PME (Palmölbasis) oder SME (Soja- oder Sonnenblumenbasis) erteilt, aber nicht für die Kraftstoffe auf Basis von (recyclten) Fetten³⁵. Eine geeignete Umrüstung bzw. Testphase der Fahrzeuge ist daher erforderlich (Havi Logistics, 2009). Höhere EURO-Klassen als EURO III können üblicherweise nicht eingehalten werden.

6.3.5 Klima- und Umwelteffekt der Kaskade

Wird ein Reststoff als Eingangsstoff für eine energetische Verwendung genutzt, müssen die erforderlichen Aufwendungen zur Bereitstellung nicht in die Bilanzierung der energetischen Endnutzung einbezogen werden. Für den vorliegenden Fall bedeutet das, dass die Aufwendungen zur Bereitstellung des Rapsöls nicht zur Klima- und Umweltbilanz von AME beitragen.

Orientiert man sich an den default-Werten, wie sie in der Nachhaltigkeitsverordnung für Biokraftstoffe aufgeführt werden (Henke, 2008), ergibt sich das folgende Bild: unter Berücksichtigung von direkten Landnutzungsänderungen sind mit der Bereitstellung von Biodiesel aus Raps in Europa rund 78 g CO₂äq/ MJ verbunden. Von diesen wird mit rund 16 g CO₂äq/ MJ nur weniger als ein Viertel durch die technischen Prozesse der Umwandlung und des Transport verursacht. Werden direkte Landnutzungsänderungen nicht berücksichtigt, verschiebt sich das Verhältnis von Biomasse-Bereitstellung zu Umwandlung zu 65 : 35 Prozent.

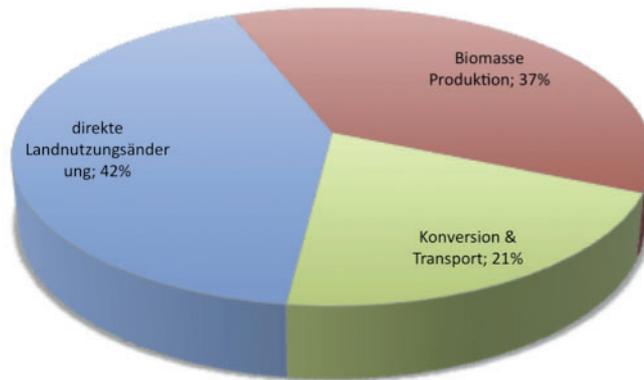
In einer Annäherung an eine THG-Bilanz für AME kann daraus abgeleitet werden, dass durch die Nutzung von Altfetten statt eigens angebautem Raps eine Verbesserung der THG-Bilanz um rund 62 g CO₂äq/ MJ bzw. 29 g CO₂äq/ MJ (mit bzw. ohne Berücksichtigung von direkten Landnutzungsänderung) erzielt werden. Die Einsparung gegenüber fossilem Diesel mit 86,2 g CO₂äq/ MJ steigt damit erheblich von 8 g CO₂äq/ MJ auf 70 g CO₂äq/ MJ.

Ja nachdem, wie die Entsorgung des gebrauchten Frittierfettes erfolgt, kann gegebenenfalls noch eine Gutschrift für die vermiedenen Aufwendungen berechnet werden, welche die Bilanz weiter verbessern könnte. Diese kann aber nicht pauschal erteilt werden, da die Entsorgungswege im Einzelfall geprüft und bilanziert werden müssen.

Für eine genaue Berechnung der Ökobilanz sind die Aufwendungen für die Umwandlung zu RME bzw. AME inklusive der Vorketten der eingesetzten Hilfs- und Betriebsmittel zu beachten. So ist z. B. zu vergleichen, inwieweit die eingesetzten Additive aufgrund der eventuell höheren Mengen und anderen chemischen Zusammensetzung zu anderen, gegebenenfalls weniger positiven Effekten im Zusammenhang mit AME führen können.

35 Quelle: <http://www.poel-tec.com/kraftstoff/biodiesel.php>

Abbildung 6-2:
Zusammensetzung der
THG Emissionen von
Biodiesel aus Raps (Bezug:
Europa) auf die einzelnen
Prozessschritte (eigene
Darstellung nach Henke,
2008)



Diese Untersuchung ist jedoch nur in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Kraftstoffbereitstellern durchzuführen, da das Datenmaterial über Menge und insbesondere Art der eingesetzten Additive nicht verfügbar ist. Dasselbe gilt für die benötigte Energie zur Reinigung des Altfettes.

Neben der THG-Bilanz ist der Aspekt der Flächenbelegung zu berücksichtigen. Wie eingangs in Abschnitt 6.3.2 gezeigt, können aufgrund der Mengen an Alt-Speisefett maximal 12 Prozent des Biodieselabsatzes von 2007 in Deutschland mit AME gedeckt werden.

Zum gleichen Zeitpunkt ist in Deutschland auf 1,12 Mio ha Raps für die Produktion von Biodiesel angebaut worden (FNR, 2009). Durch die systematische Kaskadennutzung von gebrauchtem Speisefett als Kraftstoff könnten somit bei gleichbleibendem Absatz von Biodiesel bis zu 0,134 Mio ha freigesetzt werden, die einer anderen Nutzung zur Verfügung gestellt werden könnten.

Eine Rückgewinnung der im Raps enthaltenen Nährstoffe, die bei der Nutzung als Frittierfett nicht abgebaut werden, ist auch durch die nachgeschaltete energetische Nutzung nicht möglich. Die Kaskade stellt in diesem Bereich zwar keine Verschlechterung dar, bietet in dieser Hinsicht aber auch kein Optimierungspotenzial.

6.3.6 Treiber, Marktpotenziale und Nutzungskonkurrenzen

Im Bereich alternativer Kraftstoffe ist das Biokraftstoffquotengesetz (vgl. Abschnitt 3.1.4) einer der wichtigsten Treiber, da es ambitionierte Zielvorgaben hinsichtlich der zu erreichenden Mengen und THG-Minderungen vorgibt. Es ist gezeigt worden, dass AME aller Voraussicht nach das Potenzial hat, höhere Einsparungen an Treibhausgasen als RME-Biodiesel zu realisieren. Während der Kraftstoff daher aus Sicht der spezifischen Klimaschutzbeiträge sicherlich eine interessante Option darstellt, sind aber aus Deutschland nur geringe Mengen an Altfetten zu erwarten. Der Nutzungspfad wird daher für das Energiesystem wohl keine größere Relevanz gewinnen.

Für die deutsche Landwirtschaft ist der Anbau von Raps als Blattfrucht wichtig, da diese Pflanze aus agrarischer Sicht einen wichtiger Bestandteil einer ausgewogenen Fruchtfolge nach guter fachlicher Praxis darstellt (Honermeier & Gaudchau, 2001). Das gilt umso mehr, als andere Blattfrüchte wie Kartoffeln, Zuckerrüben und mehrjährige Ackerfutterpflanzen in Deutschland mit abnehmender Tendenz kultiviert werden, so dass zur Auflockerung der getreidereichen Fruchtfolgen kaum Alternativen bleiben.

Im Jahr 2007 ist Raps in Deutschland auf insgesamt rund 1,5 Mio ha angebaut worden (BMELV, 2009). Der überwiegende Anteil davon ist mit 1,12 Mio ha für die Produktion von Biodiesel verwendet worden; weitere 0,1 Mio ha dienen als Industrierohstoff (FNR, 2009). Damit ist die energetische Nutzung als Biodiesel der wichtigste Treiber für den Anbau der auch für die Landwirtschaft wichtigen Pflanze. Da mit der Änderung des Biokraftstoffquotengesetzes bzw. der damit einhergehenden Änderung des Energiesteuergesetzes (vgl. Abschnitt 3.1.4) eine Abnahme der deutschen RME Produktion gesehen wird (BBK, 2009), werden in diesem Zusammenhang auch negative Auswirkungen auf die gute fachliche Praxis der Landwirtschaft befürchtet (Vetter, 2008).

Gleichzeitig liegt der Selbstversorgungsgrad in Deutschland für die Ernährung mit pflanzlichen Ölen bei 30 Prozent (BMELV, 2009), d. h., es wird nur ein Drittel der pflanzlichen Öle für Ernährungszwecke im Land selbst produziert, während der Rest importiert wird. Betrachtet man unter den pflanzlichen Ölen zur Ernährung nur Rapsöl, beträgt der Selbstversorgungsgrad mit rund 60 Prozent immerhin das Doppelte. Unter den übrigen Importen ist z. B. auch Palmöl, das in raffinierter oder nativer Form in vielen Bereichen der Lebensmittelindustrie Verwendung findet, wo es für die Herstellung von Margarine, Kaffeeweißler, aber insbesondere auch für verschiedene frittierte Produkte genutzt wird (Pastowski et al., 2007).

Der Vorzug der Nutzung von importiertem Palmöl anstelle von heimischen Rapsöl lässt sich mindestens teilweise durch die Kosten erklären: laut (BMU, 2007) beträgt der Preis für einen Liter Rapsöl mit 0,65 €/l rund 40 Prozent mehr als für einen Liter Palmöl (0,45 €/l). Durch eine kaskadische Nutzung des gebrauchten Frittierfettes besteht die Möglichkeit, den vormaligen Reststoff finanziell attraktiver zu gestalten, indem anstelle von zu zahlenden Entsorgungsgebühren nun sogar Erlöse erzielt werden, wie in Abschnitt 6.3.3 gezeigt worden ist. Da nach der stofflichen Vornutzung des Frittierfettes aber nicht mehr nach eingesetzten Rohstoffen unterschieden werden kann (ebenda), ist es aber unwahrscheinlich, dass es gelingt, diese Vorteile nur dem in Deutschland produzierten Rapsöl zugute kommen zu lassen.

6.3.7 Arbeitsplatzeffekte der Kaskade

Die Firma Petrotec AG ist auf die Verarbeitung von Altspisefetten zu Biodiesel (*Acid Methyl Ester*, AME) spezialisiert. Zu Anfang des Jahres 2007 ist am Standort Emden mit den Bauarbeiten für eine neue Raffinerie begonnen worden, an der ausschließlich recycelte Fette eingesetzt werden. Dort sind in diesem Zusammenhang rund 20 Arbeitsplätze neu geschaffen worden³⁶. Es kann zudem davon ausgegangen werden, dass mit dem Aufbau der regionalen Sammelstellen für Altspisefette auch in diesem Bereich neue Arbeitsplätze entstanden sind (vgl. Abschnitt 6.3.3).

Analog zur Ermittlung der resultierenden Treibhausgasminderungen (Abschnitt 6.3.5) müssen aber auch bei der Betrachtung der Arbeitsplatzeffekte die Effekte durch den Wegfall der bisherigen, nicht-kaskadischen Nutzung bilanziert werden. Dazu zählen für eine umfassende und vollständige Betrachtung

- Beschäftigungseffekte bei der Entsorgung des gebrauchten Fettes

36 Quelle: http://www.petrotec.de/core/cms/front_content.php?idcat=40&idart=94

- Beschäftigungseffekte bei der Bereitstellung des Rohstoffs für die nicht-kaskadische Biodieselproduktion
- Volkswirtschaftliche Effekte, darunter indirekte Beschäftigungseffekte

Bezüglich der vermiedenen Entsorgung des gebrauchten Fettes kann aufgrund der Mengenverhältnisse der Abfallströme davon ausgegangen werden, dass der Anteil an Altfetten am gesamten Abfallaufkommen so gering ist, dass durch den Wegfall der Entsorgung keine relevanten negativen Beschäftigungseffekte auftreten.

Um zu ermitteln, ob es durch vermehrte Nutzung von Altfett für die Biodieselproduktion zu negativen Beschäftigungseffekten kommt, muss zunächst geprüft werden, ob vorrangig in Deutschland produziertes Rapsöl oder importierte Rohstoffe ersetzt werden. Darüber hinaus ist zu untersuchen, ob es wirklich zu einem Wegfall der Arbeitsplätze in der Landwirtschaft kommen würde, oder ob die Produktionskraft sich lediglich anderen Erzeugnissen zuwenden würde, also anstelle des Raps für die Biodieselproduktion andere Energiepflanzen oder auch konventionelle Pflanzen zu Ernährungszwecken angebaut werden würden.

Ebenso wie die Untersuchung von indirekten Beschäftigungseffekten übersteigen diese Betrachtungen aber den Rahmen der vorliegenden Studie. Da bereits die Einschätzung der direkten Beschäftigungseffekte nicht zuverlässig möglich ist, kann auch eine Abschätzung der indirekten Effekte nicht erfolgen. Die indirekten Arbeitsplatzeffekte sind eine Folge der direkten Effekte.

6.3.8 Fazit zur Kaskade AME

Die Möglichkeit, Raps- bzw. Pflanzenöl zuerst einer stofflichen Nutzung als Frittierfett zuzuführen und dieses nach Gebrauch zu Biodiesel aufzubereiten, stellt eine sinnvolle Kaskadennutzung mit positiven Effekten dar. Einer zwar vorläufigen Abschätzung nach kann erwartet werden, dass durch Anwendung der Kaskade eine Minderung von Treibhausgasen, eine Teilentlastung von Flächenkonkurrenzen sowie positive Beschäftigungseffekte erzielt werden können.

Bezüglich einer Rückgewinnung von im Raps enthaltenen Nährstoffen kann auch durch die Kaskade keine Verbesserung gegenüber der nicht-kaskadischen Nutzung erzielt werden – hier wird der derzeitige Status gehalten.

Bei der Nutzung von Frittierfetten, spätestens aber mit der Sammlung von Altfetten durch regionale Logistik-Dienstleister oder der Aufbereitung von Biodiesel kann nicht mehr nach unterschiedlichen Rohstoffen (Rapsöl, Palmöl, Sojaöl, etc.) getrennt werden. Das bedeutet zum einen, dass keine völlig in sich geschlossenen Kreisläufe („Belieferung von Speisestätten mit Hilfe des hier gebrauchten Frittierfett als Kraftstoff“) realisiert werden können.

Es bedeutet aber insbesondere auch, dass keine Lenkungswirkung durch Förderung von *Acid Methyl Ester* (AME) hin zu vermehrten heimischen Rapsanbau für Ernährungszwecke möglich ist. Das Dilemma der deutschen Landwirtschaft, dass trotz Biokraftstoffquote der heimische Rapsanbau rückläufig ist und dadurch negative Effekte auf die gute fachliche Praxis erwartet werden (keine verstärkte Auflockerung der halmpflanzen-lastigen Fruchtfolge durch die Blattfrucht Raps), kann somit auch durch die in den obigen Abschnitten beschriebene Kaskade nicht gelöst werden.

Es ist zudem gezeigt worden, dass einerseits aufgrund der zu erwartenden Mengen an AME selbst bei Ausschöpfung des gesamten Altfett-Potenzials (Abschnitt 6.3.2) und andererseits aufgrund der technischen und logistischen Einschränkungen bei der Nutzung von AME (Abschnitt 6.3.4) durch die beschriebene Kaskade keine Beitrag mit Systemwirkung erzielt werden kann. Die realisierbaren Mengen sind zu gering, und die Beschränkungen beim Einsatz tragen dazu bei, dass in Deutschland bei derzeitigen Verbrauchsstrukturen im Ernährungssektor maximal 12 Prozent des Biodieselabsatzes von 2007 bzw. rund 1,4 Prozent des Dieselabsatzes³⁷ durch AME gedeckt werden könnte. Zusätzlich ist der Kraftstoff nicht für die EURO-Klasse V und höher tauglich, so dass auch der Einsatz auch zeitlich begrenzt ist.

6.4 Zwischenfazit

Die beiden vorgestellten Fallbeispiele zeigen, dass eine kaskadische Nutzung von Biomasse aus sowohl agrarischen als auch forstlichen Quellen durchaus sinnvoll realisiert werden kann. Die technische Machbarkeit ist in vielen Fällen gegeben, wenn auch teilweise betriebswirtschaftliche Einzelfallrechnungen zeigen müssen, ob auch der wirtschaftliche Betrieb gewährleistet ist. Hier sind wirtschaftliche, aber insbesondere auch politische Rahmensetzungen von entscheidender Bedeutung.

Um sinnvolle Kaskadennutzungen umsetzen zu können, die positiv auf Klima, Umwelt und Ressourceneffizienz einwirken können, ist es in beiden vorgestellten Beispielen notwendig, nicht erst bei der derzeit letzten Nutzungsstufe anzusetzen, sondern bereits in frühere Nutzungs- und Bereitstellungsstufen einzugreifen. Eine verstärkte Trennung der Rohstoffe von anderen Materialien, die nicht in der gleichen Kaskade eingesetzt werden, ist erforderlich. Somit erhöhen sich die Anforderungen an Produktdesign, aber auch an Infrastruktur und Logistik. Es zeigt sich, dass eine kaskadische Nutzung ganzheitlich „von Anfang an“ gedacht und geplant werden muss und nicht als „end of pipe“-Lösung nur an bestehende Systeme hintenan geschaltet werden kann.

Um einen insgesamt positiven Effekt zu erzielen, sind alle auftretenden Wechselwirkungen mit angrenzenden Systemen und bestehenden Märkten zu prüfen. Auch zu prüfen ist, an welchen Stellen die politischen Rahmenbedingungen und die Anreizsysteme angepasst werden können. Dabei ist besonderes Augenmerk auf die Gefahr von Rebound-Effekten zu legen.

Aufgrund der Komplexität und Vielzahl der möglichen Kaskadennutzungen konnten im Rahmen der vorliegenden Studie nur zwei Fallbeispiele schlaglichtartig beleuchtet werden. Um eine Orientierung zum Vorgehen bei der Evaluierung und Bewertung von Kaskadennutzungen im Allgemeinen zu geben, wird im folgenden Kapitel eine Methode dazu entwickelt und vorgestellt.

37 Bei rund 26,9 Mio t Dieseldieselkraftstoff in 2007 (www.mwv.de)

7 Umsetzbarkeit und Bewertung der Kaskadennutzung von Biomasse

In der vorliegenden Studie werden Anforderungen an eine nachhaltige Kaskadennutzung von Biomasse abgeleitet, aus denen Schlussfolgerungen zur Ausgestaltung des Konzepts gezogen werden. Eine umfassende Bewertung stellt sicher, dass die Potenziale der Kaskadennutzung hochwertig und erfolgreich ausgeschöpft werden. Dabei wird insbesondere Wert darauf gelegt, dass der Nutzen des Konzepts sich nicht einseitig nur auf bestimmte Aspekte der Nachhaltigkeit auswirkt und auch „Nebeneffekte“ berücksichtigt werden, die auf den ersten Blick vielleicht nicht direkt erkennbar sind.

Die Kaskadennutzung von Biomasse erst in mehrfach stofflichen, dann energetischen Anwendungen ist kein gänzlich neues Konzept. Im Zuge der aktuellen Diskussion um zunehmende Rohstoffverknappung und im Kontext des Klimawandels rückt die Kaskade aber verstärkt in den Fokus der Aufmerksamkeit: der Ausbau dieser Option wird z. B. bereits von Akteuren der Holzwerkstoffindustrie gefordert (EPEA, 2009). Bevor das Konzept aber in noch größerem Ausmaß umgesetzt wird, besteht derzeit sowohl die Möglichkeit als auch die Notwendigkeit, gestaltend in den Prozess einzugreifen, um eine nachhaltige Umsetzung zu gewährleisten. Diese Gestaltungsmöglichkeiten bedürfen aber eines Rahmens, in dem die anlegbaren Kriterien beschrieben und definiert werden.

7.1 Schema zur Bewertungsmethodik: Entscheidungsbaum zur Optimierung von Biomasse- und Kaskadennutzung

Die Optimierung der Biomasse- und Kaskadennutzung kann anhand des im folgenden dargestellten Entscheidungsbaumes systematisch abgefragt werden. Es handelt sich um eine schematische Bewertungsmethodik in den folgenden vier Schritten (vgl. [Abbildung 7-1](#)):

1. Analyse der Ausgangssituation
2. Optimierung der Rohstoffproduktion
3. Entwicklung der Kaskade
4. Optimierung der Kaskade

Die Bewertungsschritte zwei bis vier umfassen jeweils zwei Stufen der Bewertung: eine Prüfung der technisch-ökonomischen Machbarkeit und der Nachhaltigkeit. Hierbei führt die Bewertungsmethodik zu drei möglichen Ergebnissen:

- a) Nachhaltige Kaskadennutzung eines Rohstoffs mit zwei oder mehr Nutzungen.
- b) Nachhaltige Nutzung des Rohstoffs ohne Kaskadennutzung.
- c) Vermeidung des Stoffstroms, wenn weder (a) noch (b) zutrifft.

Prinzipiell ist die iterative Prüfung zur weiteren Optimierung der Biomasse- bzw. Kaskadennutzung mit zeitlichem Abstand notwendig, um Kaskaden zu entwickeln, zu optimieren oder die Rohstoffe nachhaltiger zu nutzen. Im Folgenden wird anhand der vier Schritte der Bewertungsmethodik genauer darauf eingegangen.

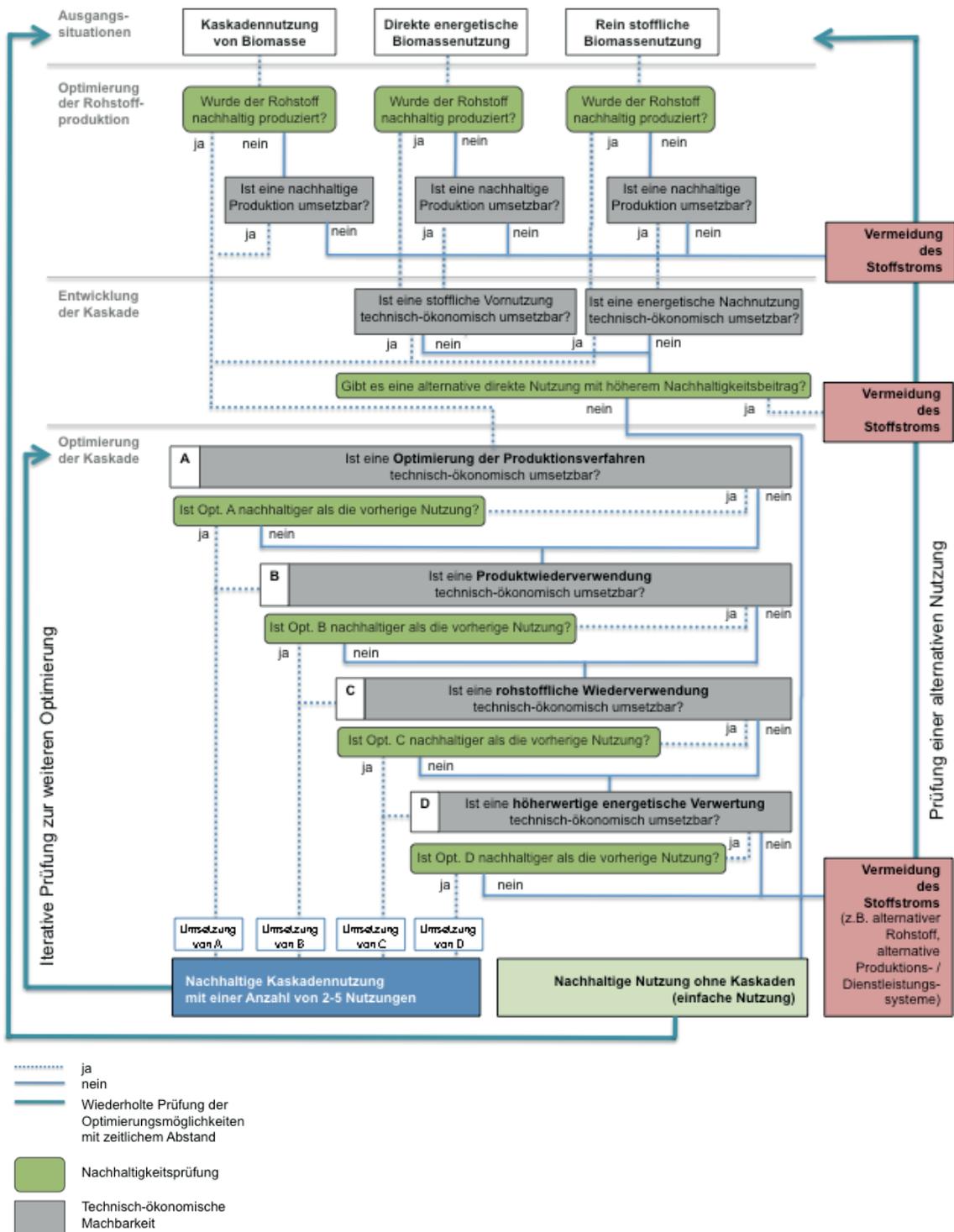


Abbildung 7-1: Entscheidungsbaum zur Optimierung von Biomasse- und Kaskadennutzungen
 Quelle: Geibler / Bienge.

Schritt 1: Analyse der Ausgangssituation

Im ersten Schritt wird die Ausgangssituation der Biomassenutzung geprüft:

- Besteht eine Kaskadennutzung?
- Besteht eine direkte energetische Nutzung?
- Besteht eine rein stoffliche Nutzung?

Daraufhin lassen sich drei Ausgangssituationen definieren: Es besteht eine Kaskadennutzung von Biomasse, es besteht eine direkte energetische Biomassenutzung oder es besteht eine rein stoffliche Biomassenutzung. Für die beiden Fallstudien ist dies in Kapitel 6 analysiert worden. Wie gezeigt worden ist, sind aber auch hier Abstufungen möglich: so ist im Fallbeispiel AME eine bestehende stoffliche mit einer aus einem anderen Kontext bekannten und bestehenden energetischen Nutzung kombiniert worden.

Schritt 2: Optimierung der Rohstoffproduktion

Im zweiten Schritt wird die Optimierung der Rohstoffproduktion für jede der drei Ausgangssituationen geprüft:

- Wurde der Rohstoff nachhaltig produziert?
- Ist eine nachhaltige Produktion umsetzbar?

Nachhaltigkeitsprüfungen können anhand von Kriterien und Standards erfolgen, die in Standardinitiativen für biotische Rohstoffe entwickelt wurden. Hier wurden bzw. werden u.a. messbare Kriterien für die Nachhaltigkeit der Biomasseproduktion erarbeitet und Nachhaltigkeitsstandards z.T. mit Zertifizierungssystem etabliert (Dam et al., 2006; Dehue et al., 2007). Der Fokus liegt hierbei überwiegend auf der Bewertung der Produktionsphase. Andere Teile der Wertschöpfungskette sind überwiegend noch nicht in die Standards integriert. Bestehende Nachhaltigkeitsstandards für Biomasse müssen allerdings auch kritisch betrachtet werden (Geibler 2009, vgl. Abschnitt 7.3).

Im Bewertungsschema wird im Fall einer bestehenden Kaskadennutzung bei nachhaltiger oder zukünftig umsetzbarer nachhaltiger Rohstoffproduktion Schritt 3 übersprungen (da die technisch-ökonomische Machbarkeit bereits vorliegt) und gleich zu Schritt 4 verwiesen.

Bei den beiden anderen Ausgangssituationen folgt bei positiver Beantwortung der Fragen die Betrachtung von Schritt 3. Werden beide Fragen in Schritt 2 verneint, sollte der Stoffstrom prinzipiell vermieden werden. Hierbei können z. B. alternative Rohstoffe oder alternative Produktions-/ Dienstleistungssysteme in Betracht gezogen werden.

Die Optimierung der Rohstoffproduktion sollte einer wiederholten Prüfung der Optimierungsmöglichkeiten mit zeitlichem Abstand unterliegen.

Schritt 3: Entwicklung der Kaskade

Im dritten Schritt folgt eine Prüfung, ob die Entwicklung einer Kaskade möglich ist. Hierfür wird zunächst die technisch-ökonomische Machbarkeit einer stofflichen Vornutzung bzw. energetischen Nachnutzung geprüft.

Ist die Kaskade technisch-ökonomisch machbar, folgt Schritt 4 des Entscheidungsbaumes. Sind die betrachteten Hemmnisse für eine Kaskadenentwicklung der beiden Ausgangssituationen zu groß (d.h. technisch-ökonomisch nicht machbar) und gibt es eine alternative direkte Biomassenut-

zung die gleichzeitig mit einem höherem Nachhaltigkeitsbeitrag verbunden, sollte der nicht-kaskadische Stoffstrom prinzipiell vermieden werden. Gibt es keine direkte alternative nachhaltigere Nutzung, folgt daraus zunächst die Nutzung des Rohstoffs ohne Kaskadennutzung.

Auch hier sollte eine wiederholte Prüfung mit zeitlichem Abstand untersuchen, ob evtl. eine nachhaltige Kaskadennutzung zu entwickeln ist. Im weiteren würde dann die Optimierung der Kaskade betrachtet werden.

Schritt 4: Optimierung der Kaskade

Abschließend sollte im vierten Schritt insbesondere auch die Nachhaltigkeit der Kaskade unter der Fragestellung „Ist die bestehende bzw. zu entwickelnde Kaskade nachhaltiger als die nicht-kaskadische Nutzung?“ geprüft werden.

Dazu ist die Betrachtung und Bewertung des Nachhaltigkeitsbeitrages der Kaskadenentwicklungsoption im Vergleich zur Alternative durchzuführen, indem die vier Nutzungsstufen Optimierung der Produktionsverfahren, Produktwiederverwendung, rohstoffliche Wiederverwendung bzw. höherwertige Verwertung geprüft werden. Grundlage der finalen Bewertung sind Nachhaltigkeitsindikatoren, die fallspezifisch festgelegt werden müssen.

Die Prüfung der technisch-ökonomischen Machbarkeit und die Nachhaltigkeitsbewertung sind zentrale Aufgaben in den oben genannten Schritten. Sie werden im Folgenden erläutert.

7.2 Prüfung der technisch-ökonomischen Machbarkeit

Die Prüfung der technisch-ökonomischen Machbarkeit in den Schritten 2 bis 4 umfasst insbesondere die Betrachtung der folgenden drei Hemmnisbereiche:

- Logistische und organisatorische Hemmnisse. Dazu zählen die Quantität und Qualität der Rückgewinnbarkeit, d.h. sind ausreichend Stoffströme (momentan/zukünftig) vorhanden, um eine Kaskade zu entwickeln?
- Technische Hemmnisse: Die technische Machbarkeit der Kaskadenentwicklung sollte im Einzelfall geprüft werden.
- Ökonomische Hemmnisse: Der mit der Kaskadenentwicklung verbundene Aufwand von Logistik und Technik sollte in Bezug auf die Wettbewerbsfähigkeit geprüft werden.

Eine analoge Prüfung der technisch-ökonomischen Machbarkeit ist in den beiden Fallstudien Altholznutzung und Acid Methyl Ester (vgl. Kapitel 6) geleistet worden. Die Ergebnisse werden an dieser Stelle noch einmal kurz verdeutlicht:

Beispiel: Forstwirtschaftliche Biomasse

Die Analyse der Ausgangssituation der Kaskadennutzung forst-basierter Biomasse wird in [Tabelle 7-1](#) dargestellt. Es zeigt sich, dass in allen Verwendungen von Holz bzw. bei allen Holzrohstoffen prinzipiell eine stoffliche Nutzung ergänzbar ist. In den überwiegenden Fällen ist eine Kaskadennutzung vorhanden und kann erweitert werden. Weitere Betrachtungen sind in der Fallstudie zur Altholznutzung angestellt worden (vgl. Kap. 6.1).

Verwendung von Holz	Ausgangssituationen der Kaskadenentwicklung	
	Bestehende Kaskade erweiterbar	Stoffliche Nutzung ergänzbar
Nach Rohstoff		
Stammholz	x	x
Industrieholz	x	x
Wald-Restholz/ Schwachholz		x
Sägenebenprodukte	x	x
Rinde		x
Sonst. Ind.-Restholz	x	x
Landschaftspflegeholz		x
Altholz	x	x
Altpapier	x	x
Nach Verwendung		
Baubereich	x	x
Möbel	x	x
Verpackung	x	x
Papierwaren und Zellulose	x	x
Energetisch inkl. KWK	x	x
Hausbrand		x

Tabelle 7-1:
Ausgangssituationen der Kaskadennutzung für holzbasierte Biomasse

Beispiel: Landwirtschaftliche Biomasse

In Tabelle 6-2 (vgl. Kapitel 6) ist die Analyse der Schritte 1-3 für die Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse zusammengefasst, bei der sich gezeigt hat, dass die Ausgangssituation „direkte energetische Nutzung“ von Pflanzenöl bzw. Biodiesel als Kaskade entwickelt werden kann.

7.3 Nachhaltigkeitsbewertung

Als optimierte Biomassenutzung soll die Kaskadennutzung den Anforderungen der Nachhaltigkeit entsprechen. Nachhaltigkeit als Leitprinzip der Politik der Bundesregierung stellt „hohe Anforderungen an eine zeitgemäße Innovationspolitik, die Impulse für neue energieeffiziente Technologien und umweltschonende Produkte und Verfahren setzt“ (Bundesregierung, 2002). Zur Ausgestaltung des Leitbilds ist das Set der nationalen Nachhaltigkeitsindikatoren entwickelt worden. Die Indikatoren decken in vier Bereichen insgesamt 21 Themenbereichen ab.

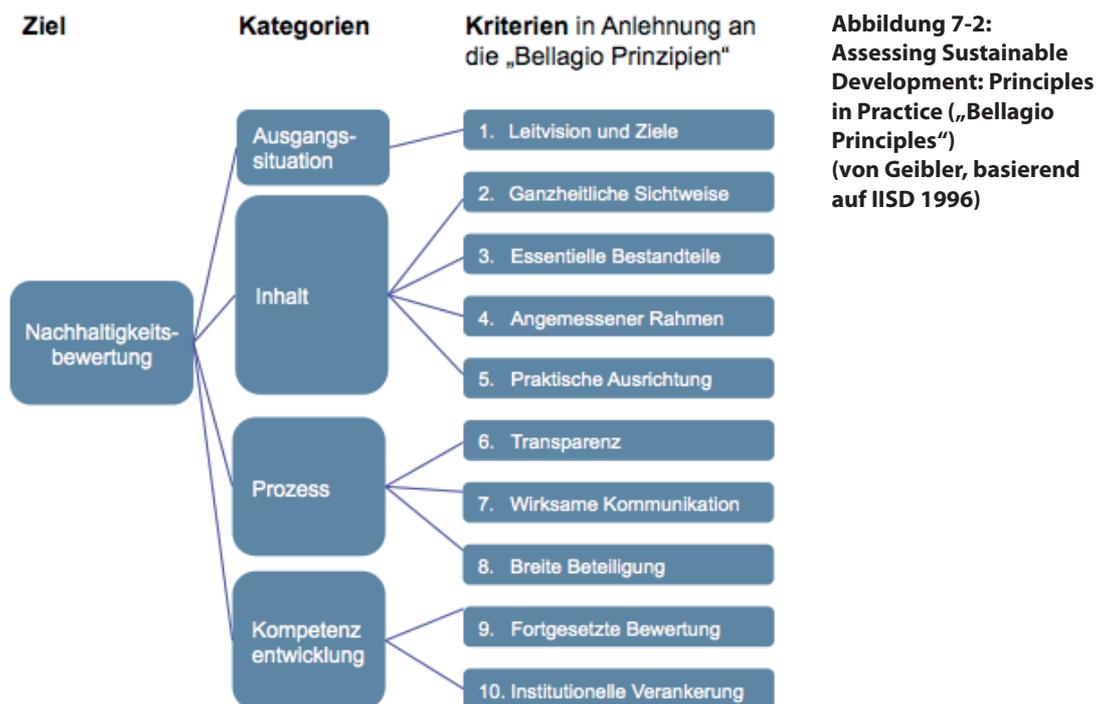
Kernziel der Nachhaltigkeitsbewertung ist es, den Beitrag eines Produkts, einer Dienstleistung oder eines Verfahrens zu ausgewählten Aspekten nachhaltiger Entwicklung zu messen, bzw. dort, wo das nicht möglich ist, zumindest Tendenzen zu Chancen und Risiken abbilden zu können.

7.3.1 Anforderungen an Nachhaltigkeitsbewertung

Die Bewertung der Nachhaltigkeit umfasst in Anlehnung an die Bellagio Prinzipien vier Kategorien: Ausgangssituation, Inhalt der Nachhaltigkeitsbewertung, Prozess der Bewertung und Verankerung der Kompetenzentwicklung (vgl. [Abbildung 7-2](#)). Insgesamt zehn Kriterien sind zu betrachten. Die Ausgangssituation wird durch die definierte Leitvision und Ziele der Bewertung deutlich. Inhaltliche Kriterien umfassen die ganzheitliche Sichtweise, die Integration der essentiellen Bestandteile, den angemessenen Rahmen und die praktische Ausrichtung der Bewertung. Der Prozess wird anhand der Kriterien Transparenz, wirksame Kommunikation und breite Beteiligung der Stakeholdergruppen bewertet. Schließlich sind für die Kategorie der Kompetenzentwicklung die fortgesetzte Bewertung und die institutionelle Verankerung entscheidende Kriterien (IISD, 1996, Geibler, 2009).

Im Bereich der Biomassenutzung haben sich zahlreiche Standardinitiativen gebildet, die den Anforderungen an Nachhaltigkeitsbewertungen entsprechen müssen. [Abbildung 7-3](#) gibt einen Überblick über Standardinitiativen, die in unterschiedlicher Zusammensetzung zwischen staatlichen Akteuren, Unternehmen und NGOs arbeiten. Auch wenn deren Arbeitsergebnisse im Hinblick auf ihre positive Wirkung für eine nachhaltige Entwicklung kritisch betrachtet werden müssen (vgl. Geibler, 2009, ISEAL Alliance, 2009a), sind diese internationalen Kriterien eine wichtige Bewertungsgrundlage für die Nachhaltigkeit der Biomasseproduktion und -nutzung.

Nachhaltigkeit als Leitprinzip der Politik der Bundesregierung stellt „hohe Anforderungen an eine zeitgemäße Innovationspolitik, die Impulse für neue energieeffiziente Technologien und umweltschonende Produkte und Verfahren setzt“ (Bundesregierung, 2008). Gleichzeitig werden neue Chancen für den Arbeitsmarkt erwartet. Nach den Worten der Bundeskanzlerin werden drei große Bereiche unter den Begriff der Nachhaltigkeit gefasst: Wirtschaft, Umwelt und Soziales.



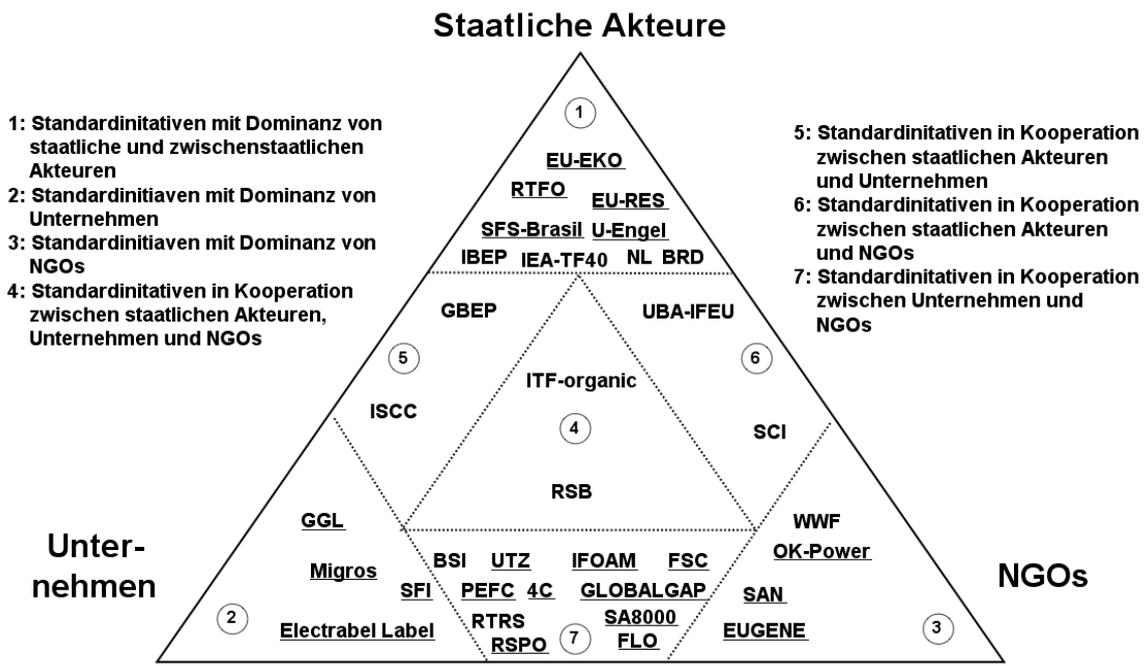


Abbildung 7-3: Klassifizierung von Standardinitiativen für Biomasse nach Dominanz der beteiligten Akteursgruppen (Anmerkungen: Initiativen mit Zertifizierungssystem sind mit Unterstrich dargestellt. Geibler 2009 in Anlehnung an Abbott und Snidal (2008), Initiativen nach Dam et al. (2008), Dehue et al. (2007) und Fehrenbach et al. (2008))

„Der Gedanke der Nachhaltigkeit verbindet wirtschaftliche Leistungsfähigkeit mit ökologischer Verantwortung und sozialer Gerechtigkeit. Diese drei Ziele bedingen einander.“ (Bundesregierung, 2008).

Es gibt diverse Ansätze, das Leitbild Nachhaltigkeit messbar und vergleichbar zu machen. Zur Ausgestaltung des Leitbilds ist etwa das Set der nationalen Nachhaltigkeitsindikatoren entwickelt worden (Bundesregierung, 2002), um die Wirksamkeit der Strategie überprüfen zu können. Eine erste Bestandsaufnahme ist im Jahr 2004 gezogen worden; vier Jahre später ist der zweite Fortschrittsbericht vorgelegt worden, welcher einen gesonderten Indikatorbericht enthält (Statistisches Bundesamt, 2008). Das ursprüngliche Set der entwickelten Indikatoren ist damit angepasst worden, indem ein als wenig aussagekräftig angesehener Indikator (Zufriedenheit mit der Gesundheit) durch zwei andere Indikatoren im Gesundheitsbereich ersetzt wurde. Zudem sind weitere Indikatoren hinsichtlich ihrer Berechnungsmethodik verändert oder erweitert (Stat. Bundesamt, 2008). Die Indikatoren sind mehrheitlich mit quantitativen Zielvorgaben versehen und decken 21 Themenbereichen ab. [Abbildung 7-4](#) zeigt das aktuelle Set von 2008.

Die Nachhaltigkeitsindikatoren sind auf verschiedenen Wirkungsebenen zu prüfen, um eine umfassende Bewertung vornehmen zu können.

Dabei werden zunächst spezifische Effekte unterschieden, die mit der Bereitstellung von Rohstoffen oder Anwendungen zusammenhängen sowie durch die Nutzung der Produkte oder Dienstleistungen entstehen. Ebenfalls von hoher Bedeutung sind systemische Effekte, die auf das

I. Generationengerechtigkeit	Ressourcenschonung	Energieproduktivität Rohstoffproduktivität
	Klimaschutz	Treibhausgasemissionen
	Erneuerbare Energien	Anteile erneuerbarer Energien am Energieverbrauch
	Flächeninanspruchnahme	Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche
	Artenvielfalt	Artenvielfalt und Landschaftsqualität
	Staatsverschuldung	Staatsdefizit
	Wirtschaftliche Zukunftsvorsorge	Verhältnis der Bruttoanlageinvestitionen zum BIP
	Innovation	Private und öffentliche Ausgaben für Forschung und Entwicklung
	Bildung	18- bis 24-Jährige ohne Abschluss 25-Jährige mit abgeschlossener Hochschulausbildung Studienanfängerquote
II. Lebensqualität	Wirtschaftlicher Wohlstand	BIP je Einwohner
	Mobilität	Gütertransportintensität Personentransportintensität Anteile des Schienenverkehrs
	Landbewirtschaftung	Stickstoffüberschuss Ökologischer Landbau
	Luftqualität	Schadstoffbelastung der Luft
	Gesundheit und Ernährung	Vorzeitige Sterblichkeit Raucherquote von Jugendlichen und Erwachsenen Anteil der Menschen mit Adipositas (Fettleibigkeit)
	Kriminalität	Wohnungseinbruchsdiebstahl
III. Sozialer Zusammenhalt	Beschäftigung	Erwerbstätigenquote
	Perspektiven für Familien	Ganztagsbetreuung für Kinder
	Gleichberechtigung	Verdienstabstand zwischen Frauen und Männern
	Integration	Ausländische Schulabgänger mit Schulabschluss
IV. Intern. Verantwortung	Entwicklungszusammenarbeit	Anteil öffentlicher Entwicklungsausgaben am Bruttonationaleinkommen
	Märkte öffnen	Deutsche Einfuhren aus Entwicklungsländern

Abbildung 7-4: Set von Nachhaltigkeitsindikatoren für Deutschland (Stat. Bundesamt, 2008)

Gesamtsystem wirken und zunächst nur indirekt mit dem Produkt oder der Anwendung zusammenhängen, aber langfristige Veränderungen induzieren. Zu den letzteren gehören z. B. die so genannten *Rebound*-Effekte, als Reaktion auf Effizienzsteigerungen, wirtschaftlichen Strukturwandel, institutionelle Veränderungen sowie Auswirkungen auf soziale Muster.

Für alle Indikatoren und auf allen Wirkungsebenen ist noch eine weitere Dimension zu beachten, indem die Betrachtung nicht nur auf die Effekte begrenzt werden darf, die direkt mit der betrachteten Anwendung und deren Systembeitrag zusammenhängen – es muss zudem geprüft werden, inwieweit indirekte Effekte durch die Verdrängung oder Ablösung von bisherigen Strukturen und Anwendungen auftreten können. Die Problematik wird anhand folgender Beispiele verdeutlicht:

- **Arbeitsplatzeffekte durch den Wechsel „vom Landwirt zum Energiewirt“**

Einige Studien weisen im Zuge der vielfach geforderten Umstellung der Landwirtschaft von der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln auf die Bereitstellung von Bioenergie einen hohen Anstieg von Arbeitsplätzen in der Landwirtschaft auf (z. B. sind von Sullivan et al. (2009) für das Jahr 2004 rund 56.800 Brutto-Arbeitsplätze im Bereich Bioenergie, vier Jahre später bereits rund 95.800 Brutto-Arbeitsplätze genannt). Dieser Zuwachs kann jedoch nicht als Netto-Effekt gesehen werden, da es sich um eine Umorientierung derselben Arbeitskraft von der konventionellen Landwirtschaft zur „Energiewirtschaft“ handeln wird.

- **Landnutzungsänderungen durch Bioenergie**

Mit der vermehrten Nutzung von Biokraftstoffen als prominentestem Beispiel geht auch eine teils kontrovers geführte Diskussion um den Beitrag zum Klimaschutz einher, der durch diese Kraftstoffe geleistet werden kann. Ein Teil der Diskussion dreht sich um die Frage der direkten und indirekten Landnutzungsänderungen: wird die Fläche zum Anbau von Energiepflanzen neu angelegt, werden zuvor ungenutzte Flächen bewirtschaftet oder Grünland zu Acker umgebrochen. Je nachdem, was zuvor auf der Fläche gewachsen ist, findet also ein Umbruch von Grünland, Rodung von Wäldern oder sogar eine Trockenlegung von Moorlandschaften statt, mit der zumeist eine Netto-Treibhausgasfreisetzung einhergeht. Diese ist in der Bilanz der Klimawirksamkeit von Bioenergie zu berücksichtigen.

Noch komplexer wird die Situation dadurch, dass in vielen Fällen wird der Acker zum Anbau von Energiepflanzen nicht zusätzlich in die Nutzung genommen wird, sondern auf der gleichen Fläche zuvor andere Pflanzen für z. B. die Produktion von Nahrungs- oder Futtermitteln, Fasern, etc. angebaut worden sind. Diese Bewirtschaftung wird von der Bereitstellung von Bioenergie verdrängt und weicht ihrerseits auf zuvor ungenutzte Flächen aus. Diese Form der indirekten Landnutzungsänderungen ist nur schwer zu evaluieren und aus diesem Grund ein noch kritischerer Faktor als die direkten Landnutzungsänderungen. Die Klimabilanz von Bioenergie kann sich durch Anrechnung dieser Effekte so weit verschlechtern, dass keine Entlastung des Klimas, sondern im Umkehrschluss sogar eine Belastung ergibt (Fehrenbach, 2007).

„Die indirekten Effekte sind kompliziert, jedoch in ihrer potenziellen Wirkung so groß, dass sie in der klimapolitischen Beurteilung der Bioenergie unbedingt Berücksichtigung finden müssen.“ (Fritsche, 2009)

Die beiden Beispiele zeigen, dass die Kenntnis und – so weit als möglich – Prüfung und Bilanzierung von indirekt auftretenden Effekten von wesentlicher Bedeutung für eine umfassende Nachhaltigkeitsbewertung sein kann.

Kernziel der Nachhaltigkeitsbewertung ist es, den Beitrag eines Produkts, einer Dienstleistung oder eines Verfahrens zu ausgewählten Aspekten nachhaltiger Entwicklung zu messen, bzw. dort, wo das nicht möglich ist, zumindest Tendenzen zu Chancen und Risiken abbilden zu können. Dabei sind für unterschiedliche Anwendungen zumeist auch unterschiedliche Zielsetzung zu berücksichtigen; die Methode der Betrachtung und Bewertung ist daher auf die jeweilige Anwendung abzustimmen und erfolgt kontextspezifisch. Das ist schon aufgrund der Vielzahl der möglichen Fragestellung gegeben, die aus dem Indikatorenset resultiert.

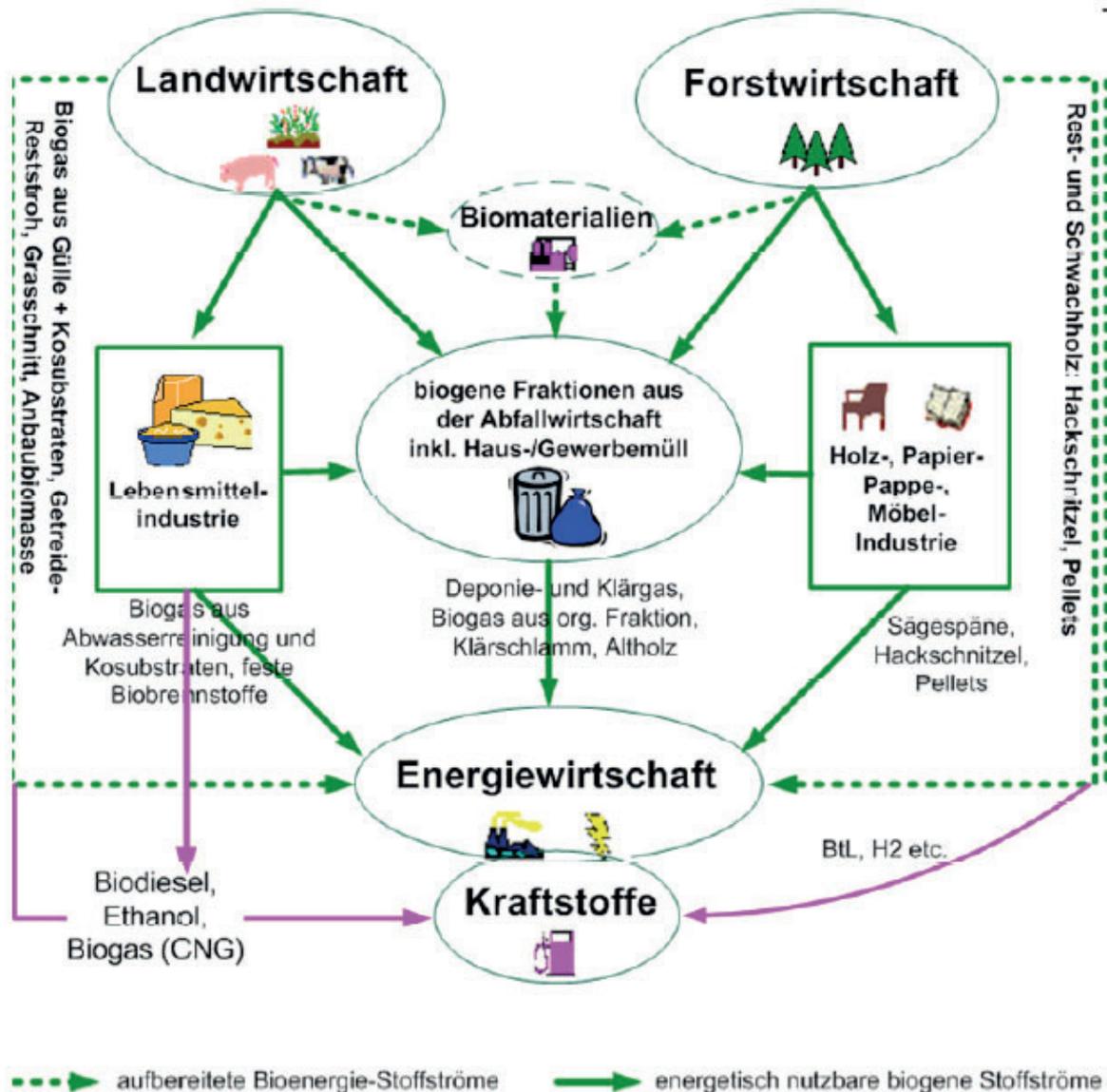


Abbildung 7-5: Verschiedene Biomasse-Stoffströme im Überblick (Fritsche, 2009)

Für den Bereich der Biomassenutzung kommt erschwerend hinzu, dass es sich um ein äußerst komplexes Gebiet handelt (Fritsche, 2009), wie [Abbildung 7-5](#) verdeutlicht. Im speziellen Fall der Kaskadennutzung werden zudem Stoffströme gleich mehrfach durchlaufen. Unterschiedliche Kaskaden sind außerdem ganz unterschiedlich aufgebaut, daher können von einer kaskadischen Anwendung nur sehr bedingt Rückschlüsse auf eine andere Nutzungskaskade gezogen werden. Eine übergeordnete Bewertung von Kaskadennutzungen allgemein kann aus diesem Grund ebenfalls nur schwer erfolgen. Es wird empfohlen, in jedem Fall eine Einzelfallbetrachtung anzustreben.

Dass unterschiedliche Indikatoren auf unterschiedlichen Wirkungsebenen berücksichtigt werden müssen, ist auch aus anderen Bereichen bekannt. Eine weitere Besonderheit bei der Betrachtung von Biomasse-Kaskaden, insbesondere in der Gegenüberstellung zur nicht-kaskadischen Nutzung von Biomasse besteht darin, dass eine wiederholte Nutzung und damit auch eine wiederholte

Bereitstellung bzw. Aufbereitung der Rohstoffe erfolgt. Diesen Schritten muss daher verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet werden. Die Aufwendungen sind zu addieren und in der Summe der nicht-kaskadischen Nutzung gegenüber gestellt werden. Ähnliches gilt auch für die systemischen Effekte, die für jedes der Produkte oder Dienstleistungen evaluiert werden müssen.

Hier erfolgt eine Auswahl an Indikatoren. Damit wird nur ein kleiner Ausschnitt des Indikatorensets exemplarisch betrachtet. Es wird verdeutlicht, dass eine vollständige Nachhaltigkeitsbewertung den Rahmen der vorliegenden Studie übersteigt und daher an dieser Stelle nicht geleistet werden kann.

7.3.2 Ausgewählte Indikatoren zur Nachhaltigkeitsbewertung von Biomasse-Kaskaden

In der Darstellung der ausgewählten Fallbeispiele ist bereits beispielhaft gezeigt worden, dass unterschiedliche Kaskaden auf verschiedenen Bewertungsebenen betrachtet werden sollten. Diese sind entsprechend der jeweilig vorrangigen Zielsetzung (Klimaschutz, Ressourcenschonung, Arbeitsplatzeffekte, etc.) auszuwählen. Eine nachhaltige Kaskade erfüllt nicht nur eins dieser Ziele, sondern leistet einen umfassenden Beitrag zum Auf- bzw. Ausbau eines zukunftsfähigen Gesamtsystems. Eine vollständige Nachhaltigkeitsprüfung von Kaskadennutzungen übersteigt aber den Rahmen des Projekts bei weitem. Daher erfolgt eine Fokussierung auf die drei Indikatoren:

- **Aspekte der Ressourcenschonung/Ressourceneffizienz:**
Kann das mehrfache Durchlaufen von Stoffströmen zu einer Entspannung der Konkurrenz um Rohstoffe beitragen?
- **Ökologische Aspekte:**
Führt die mehrfache Nutzung trotz möglicherweise erhöhten Aufbereitungsaufwand zu positiven Effekten auf Klima und Umwelt?
- **Volkswirtschaftliche Aspekte:**
Werden netto mehr und qualifizierte Arbeitsplätze geschaffen?

Dabei geht es in dem vorgestellten Projekt vor allem darum, Prüffragen und Instrumente zu identifizieren, die geeignet sind, diese Aspekte zu bearbeiten.

Aspekte der Ressourcenschonung/Ressourceneffizienz

Das Ziel der **Ressourceneffizienz** besteht vor allem darin, so viel Nutzen wie möglich aus einem bestimmten Input zu erzielen. Mittels der Strategie, die Ressourceneffizienz maximal zu steigern, können Wirtschaft und Umwelt gleichermaßen profitieren. Eine Nutzung von Rohstoffen in diesem Sinne bietet die Kaskadennutzung.

Die Definition des Begriffs „**natürliche Ressourcen**“ wird hier in Anlehnung an Schütz und Bringezu (2008) eng gefasst (siehe [Abbildung 7-6](#)). Natürliche Ressourcen im engeren Sinne sind „zum einen biotische und abiotische Rohstoffe (Biomasse und Mineralien) und Wasser, die für die verschiedenen sozio-industriellen Zwecke (für Nahrungsmittel, Bau- und Werkstoffe, zur Energiegewinnung usw.) auf Grund ihrer stofflichen oder energetischen Eigenschaften oder tech-



Abbildung 7-6: Überblick über Definition und Quantifizierung „natürlicher Ressourcen“

nologischer Gegebenheiten der natürlichen Umwelt entnommen werden, und zum anderen das Land, das dafür und darüber hinaus für verschiedene Zwecke und in unterschiedlicher Weise und Intensität genutzt wird (für Siedlungen und Verkehr, Land- und Forstwirtschaft, Abgrabungen, als Erholungsraum und für Naturschutz).“ In einem weiten Ressourcenverständnis sind: „Natürliche Ressourcen: alle Komponenten der Natur, die einen direkten Nutzen für den Menschen bieten; z.B. Rohstoffe, Land, genetische Ressourcen. Natürliche Ressourcen inkludieren auch Dienstleistungen, welche die Natur indirekt dem Menschen bietet, z. B. die Absorption von Emissionen (Senkenfunktion) und die Aufrechterhaltung ökologischer biogeochemischer Systeme.“ (Austrian Federal Environment Agency et al., 2006; Übersetzung nach Schütz und Bringezu, 2008: 5).

Für die **quantitative Erfassung** des Ressourcenbegriffs eignen sich verschiedene Methoden, die unterschiedliche Ressourcenkategorien als physische Inputgrößen erfassen:

- Total Material Requirement (ökonomieweite Materialflussanalyse)
Kategorien: abiotische Rohmaterialien, biotische Rohmaterialien, Bodenbewegungen (Schütz / Bringezu, 2008)
- MIPS-Konzept (Material-Input pro Serviceeinheit) auf Prozess und Produktebene
Kategorien: abiotische Rohmaterialien, biotische Rohmaterialien, Bodenbewegungen, Wasser und Luft (Ritthoff et al., 2002)
- Global Land Use Accounting (GLUA)
Verknüpfung der Materialflussanalyse mit Flächenbedarfen (Steeger, 2005, Schepelmann, 2006)

Mit der quantitativen Erfassung der physischen Inputgrößen wird die Steuerung der Ressourcennutzung in Richtung einer gesteigerten Ressourceneffizienz möglich (Bleischwitz et al., 2009). Der Begriff der Ressourcenschonung ist hingegen eine Zielsetzung für den Umgang mit natürlichen Ressourcen, die erst über festgelegte Steuerungsgrößen erreicht werden kann, soweit entsprechende Umweltwirkungen bekannt sind (ebd.)

Ein nachhaltiges Ressourcenmanagement „umfasst sowohl mengenbezogene Ansätze zum effizienten Einsatz von Gütern und Stoffen als auch qualitative Ansätze zur Reduktion der damit verbundenen Umweltbelastungen. Letzten Endes folgt die Ressourcenpolitik dem Leitbild einer in natürliche Stoffkreisläufe eingebetteten Wirtschaft mit minimalem Ressourcenverbrauch, die sich nicht zu Lasten anderer Regionen entwickelt.“ (Bleischwitz et al., 2009). Für eine Reduktion der Rohstoffinputs, d. h. eine „Dematerialisierung“ (Schmidt-Bleek, 1998) der Produktions- und Technosphäre, sind neue Technologien und nachhaltigere Produktions- und Konsummuster entscheidend (Hennicke / Kristof / Dorner, 2009: 3 f.). Die Kaskadennutzung kann dazu einen Beitrag leisten.

Wie die ersten Einschätzungen aus der Fallstudie Altholz zeigen, kann sich die Kaskadennutzung in den verschiedenen Rohstoffkategorien und Lebenszyklusphasen unterschiedlich auswirken. Lebenszyklusweit deutet sich im Vergleich zur direkten energetischen Altholznutzung eine positive Wirkung der Kaskadennutzung auf den Ressourcenverbrauch an (vgl. Kapitel 6.2).

Ökologische Aspekte

Ein Instrument zur Erfassung und Bewertung der verschiedenen ökologischen Effekte, die mit einem Produkt oder einer Anwendung im Zusammenhang stehen, ist die **Ökobilanz**.

Der Begriff wird hier als Oberbegriff aufgefasst, der – verändert nach Projektgemeinschaft Lebenswegbilanzen (1992) und in Anlehnung an Braunschweig / Müller-Wenk (1993) – alle Formen bewerteter Bilanzen des stofflichen und energetischen Einflusses eines Untersuchungsobjektes auf die Umwelt umfasst, wobei sowohl Unternehmen, Gemeinden oder einzelne Prozesse als auch Dienstleistungen oder Produkte Gegenstand der Untersuchung sein können (Soukup, 2008).

Der unterschiedliche Charakter möglicher Untersuchungsobjekte macht eine weitere Gliederung des Ökobilanz-Begriffes erforderlich: Betriebliche Ökobilanzen beziehen sich auf ein räumlich klar abgegrenztes Untersuchungsobjekt. Sie bilanzieren und bewerten die Stoffströme, die innerhalb eines definierten Bilanzzeitraumes (z. B. eines Geschäftsjahres) an den Bilanzgrenzen dieses Objektes auftreten (Periodenrechnung). Eine betriebliche Ökobilanz kann beispielsweise für einen einzelnen Produktionsstandort eines Unternehmens erfolgen. Veranschaulichend würde dann der Werkszaun des Betriebsgeländes als Systemgrenze dienen. Neben solchen Kernbilanzen können sogenannte Komplementärbilanzen aber auch Zulieferbetriebe an weiteren Standorten mit einbeziehen (Soukup, 2008).

Die erforderliche ganzheitliche Betrachtung über den vollständigen Lebensweg oder Lebenszyklus (*Life Cycle*) wird oft mit der Formulierung „von der Wiege bis zur Bahre“ umschrieben und beinhaltet Rohstoffförderung, Transport, Bereitstellung von Hilfs- und Betriebsstoffen, Produktion, Nutzung, Reparatur, Recycling und Entsorgung (Soukup, 2008) – und damit die zuvor eingeführten Wirkungsebenen 1 und 2. Insbesondere auf die Wirkungsebene 1 (in diesem Zusammenhang auch „Vorketten“ genannt, wird besonderer Wert gelegt. Der Systembeitrag als dritte Wirkungsebene kann dagegen über eine Produkt-Ökobilanz nicht abgebildet werden.

Für die Ergebnisse einer Ökobilanz-Studie stehen vielfältige Anwendungszwecke zur Auswahl (Soukup, 2008). Unternehmern bieten sich die Möglichkeit, ihre Produkte gezielt nach Kriterien der Umweltverträglichkeit zu entwickeln und zu verbessern. Daneben können Ökobilanzergeb-

nisse zu Marketing-Zwecken eingesetzt werden oder im Rahmen strategischer Langfristplanung begründete Entscheidungen ermöglichen. Politische Entscheidungsträger können z. B. an Hand von Ökobilanzen Steuersätze für Energieträger bemessen oder förderungswürdige Technologien benennen. (vgl. Schmidt, 1995, 9; vgl. DIN, 2006a, 9) Auch in der neuen EU-Richtlinie zur Förderung Erneuerbarer Energien wird explizit die Bilanzierung von THG-Emissionen für Biotreibstoffe gefordert (Europäische Kommission, 2008, 52 ff.).

Gewichtung der Wirkungskategorien

Nach der Ermittlung der verschiedenen Kenndaten und dem Zusammenfassen der Sachbilanzen zu Wirkungskategorien stellt sich die Aufgabe der Hierarchisierung der Wirkungskategorien untereinander, also der Abwägung, wie z.B. THG-Emissionen, Eutrophierungs- und Versauerungspotenzial gegeneinander aufgewogen werden können. Dieser Schritt ist notwendig, da die Effekte der einzelnen Kategorien oft gegenläufig sind: während z. B. durch Bioenergie in der Regel ein Beitrag zur Verminderung von Treibhausgasemissionen geleistet werden kann, entstehen oftmals erhöhte Emissionen mit eutrophierender und versauernder Wirkung.

Die Hierarchisierung erfolgt in einem dreigliedrigen Verfahren (UBA, 1999) nach der Abschätzung

1. der ökologischen Gefährdung:
Wie schwerwiegende ist die potentielle Gefährdung der ökologischen Schutzgüter in der betreffenden Wirkungskategorie anzusehen?
2. *distance-to-target*:
Wie weit ist der derzeitige Umweltzustand in dieser Wirkungskategorie von einem Zustand der ökologischen Nachhaltigkeit oder einem anderen angestrebten Umweltzustand entfernt?
3. dem spezifischen Beitrag:
Wie groß ist dieses Wirkungsindikatorergebnis in Bezug auf einheitliche Referenzwerte, z. B. der Anteil an der jeweiligen Gesamtjahreemission in Deutschland?

Jeder der drei Aspekte wird in fünf Stufen von „sehr geringe“ bis „sehr hohe“ Priorität im Vergleich untereinander bepunktet. „Eine Gewichtung verschiedener Wirkungskategorien im Sinne einer Umwandlung von Indikatorergebnissen durch numerische Faktoren, also die Erstellung und Vergabe von Öko-Punkte ist nicht zulässig. (...) Je komplexer die Fragestellung, desto weniger aggregiert sollen die Wirkungsindikatoren und Wirkungskategorien sein, um die Bewertung transparent zu gestalten.“ (UBA, 1999)

Die abschließende Bewertung, welcher Wirkungskategorie die höchste Priorität einzuräumen ist, erfolgt unter Einbeziehung der ermittelten Aspekte. Es wird also verbal-argumentative Priorisierung von Wirkungskategorien (THG, Schadstoffbelastung, sonstige Luftschadstoffe, etc.) aufgestellt. Die Bewertung der verschiedenen Nutzungspfade untereinander erfolgt nach dieser Priorisierung und innerhalb der Wirkungskategorien nach den ermittelten Kenndaten. Also: Die Nutzungsoption mit der höchsten Vermeidung in der am höchsten bewerteten Wirkungskategorie ist die „beste“ und wird als solche prioritär empfohlen (UBA, 1999).

7.3.3 Volkswirtschaftliche Aspekte

Ökobilanz nach ISO 14040 und 14044 sind Produktökobilanzen. Hierbei wird in aller Regel davon ausgegangen, dass Entscheidungen für oder gegen ein bestimmtes Produkt oder die Optimierung in einer bestimmten Produktion, keine weitergehenden Auswirkungen auf das Gesamtsystem, die Volkswirtschaft, haben. Diese Annahme ist für individuelle Kaufentscheidungen angemessen. Bei grundsätzlichen Entscheidungen, die wesentlichen Einfluss auf das Produktionssystem insgesamt haben jedoch nicht. Die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen einer Entscheidungen können mit herkömmlichen Ökobilanzen nicht abgebildet werden. Um solche Auswirkungen abzuschätzen, können jedoch andere Instrumente genutzt werden.

Für die Analyse der Stoffströme und der Emissionen eignen sich einerseits Instrumente die gezielt für die gesamtwirtschaftliche Ebene entwickelt wurden wie etwa

- Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen,
- ökonomieweite Materialflussanalysen oder
- gesamtwirtschaftliche Energiebilanzen oder
- Input-Output Rechnungen auf Ebene der Ressource.

Aufgrund ihres hohen Aggregationsniveaus können sie technische Details nicht genau abbilden. Infrage kommen andererseits auch Verknüpfungen von Ökobilanzen mit volkswirtschaftlichen Modellen. Die Verknüpfung einer LCA mit einem volkswirtschaftlichen Modell kann es erlauben, die Auswirkungen auf das Gesamtsystem zu modellieren. Für wichtige Grundsatzfragen und -entscheidungen können sie helfen die Entscheidungsfindung fundiert zu unterstützen.

Mit volkswirtschaftlichen Modellen ist es grundsätzlich möglich die komplexen Zusammenhänge in einer Volkswirtschaft abzubilden. Veränderungen für einzelne Sektoren können auch hinsichtlich der Auswirkungen auf andere Sektoren und für das Gesamtsystem untersucht werden. Auf diese Weise können auch indirekte Effekte in ihrer Größe ermittelt werden.

Die Veränderungen und Auswirkungen innerhalb eines Sektors lassen sich aufgrund der Datenverfügbarkeit jedoch in aller Regel nicht ermitteln. Auch im Hinblick auf die Kaskadennutzung ergibt sich das Problem, dass die volkswirtschaftlichen Auswirkungen aufgrund zu geringer Detaillierung derzeit nicht berechnet werden können.

7.4 Anforderungen an nachhaltige Biomasse-Kaskaden

Der Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen in den Bereichen sowohl der energetischen Nutzung als Strom, Wärme und Kraftstoff als auch der stofflichen Nutzung in chemischen Produkten, als Werk-, Dämm- und Kunststoff wird auch in Zukunft weiter zunehmen.

7.4.1 Herausforderungen einer effizienten und nachhaltigen Nutzung

Es ist deutlich, dass das zur Verfügung stehende Potenzial an nachhaltiger Biomasse nicht beliebig erweiterbar ist und nicht ausreichen wird, um die Nachfrage aus allen Bereichen vollständig zu decken. Die Flächen, die zur Erzeugung von Biomasse zur Verfügung stehen, sind weltweit

begrenzt und auch die Steigerung der Hektarproduktivitäten ist aus technischen und ökologischen Gründen begrenzt, denn eine weitere Intensivierung der Landwirtschaft kann mit verstärktem Einsatz von z. B. Dünge- und Pflanzenschutzmitteln eine zunehmende Belastung von Boden und Gewässern mit sich bringen.

Die fehlenden inländisch verfügbaren Mengen durch Importe ergänzen zu wollen, ist keine sinnvolle Lösung, da auch in anderen Ländern eine Steigerung des Bedarfes zu erwarten ist. Die Problematik unkontrollierter Importe von nachwachsenden Rohstoffen aus illegalem Anbau bzw. ökologisch sensiblen Bereichen ist hinreichend bekannt. Auch bestehen erhebliche Schwierigkeiten hinsichtlich der Wirksamkeit von Nachhaltigkeits-Zertifizierung in Wachstumsmärkten (vgl. von Geibler, 2007, Pastowski et al., 2007).

An die Rohstoffe für eine nachhaltige Kaskadennutzung von Biomasse müssen daher die folgenden Anforderungen gestellt werden:

- **Nachhaltige Biomasseproduktion gewährleisten:**
Die Produktion von Biomasse sollte durch eine umweltverträgliche Boden- und Landnutzung zum Erhalt und zur Förderung der langfristigen Boden- und Wasserqualität und Schutz der Lebensräume beitragen, sowie human- und sozialverträglich gestaltet werden. Nährstoffkreisläufe sollten durch die Rückführung von Reststoffen und Rückständen so weit wie möglich geschlossen werden.
- **Nahrungsmittelversorgung sichern:**
Die primäre Flächennutzung zur Futtermittelproduktion, stofflicher oder energetischer Nutzung sollte die ausreichende Nahrungsmittelproduktion und Nahrungsmittelsicherheit nicht gefährden. Der Beitrag der kumulierten Wirkung von einzelnen Nutzungskaskaden ist dabei zu berücksichtigen.

7.4.2 Anforderungen an eine nachhaltige Gestaltung von Biomasse-Kaskaden

Aufgrund der natürlichen Vielfalt von biogenen Rohstoffen und ihren diversen Anwendungsmöglichkeiten im Material- und Energiebereich gibt es viele verschiedene Möglichkeiten, Kaskadensysteme anzuwenden. Beispiele zeigen, dass nicht jede multiple Nutzung, und jede Kaskadennutzung hinsichtlich der Rohstoff und Flächennutzung bereits optimiert ist, sondern noch Bedarf an einer weiteren Anpassung besteht (vgl. auch Nickel, Liedtke, Heuer, 2001). Daher werden im Folgenden bestimmte Anforderungen an eine nachhaltige Gestaltung der Kaskadennutzung von Nawaro gestellt.

Basierend auf dem derzeitigen Forschungsstand deuten sich zunächst allgemeine Prinzipien an, an denen die nachhaltige Gestaltung der Kaskadennutzung ausgerichtet sein sollte:

- **Effizient verarbeiten und produzieren:**
Eine effiziente Nutzung nachwachsender Rohstoffe in der Produktion vermeidet und reduziert die Menge von Reststoffen. Nichtvermeidbare Reststoffe (Neben-/Koppelprodukte) sowie Produkte, die das Ende ihrer gesamten sinnvollen stofflichen Lebensdauer erreicht haben, werden im Sinne einer nachhaltigen Nutzungskaskade energetisch genutzt.

- **Wiederholte stoffliche Nutzung:**
Eine mehrfache und hochwertige stoffliche Nutzung von Rawmaterial vor der letzten energetischen Nutzung erhöht in der Regel die Rohstoff- und Flächeneffizienz der Nutzungskaskade. Bestehende Grenzen des sinnvollen Materialrecyclings, zum Beispiel durch hohen Energieaufwand oder Gesundheitsgefährdungen, werden dabei berücksichtigt.
- **Grenzen des Recyclings erkennen:**
Ebenso werden Mengenströme und Stückigkeit beim Materialrecycling in einem Umfang erhalten, der eine weitere ökologisch und ökonomisch sinnvolle Nutzung ermöglicht. Das Recycling wird beendet, bevor eine zu diffuse Verteilung der Rohstoffe eintritt, die einen zu hohen logistischen Aufwand für die Sammlung zur Folge hat, so dass relevante Mengen nicht mehr rückgewinnbar sind und so aus der weiteren Verwertung herausfallen.
- **Produkteigenschaften anpassen:**
Ein nachhaltiges Produktdesign ermöglicht eine einfache Wiederverwendung und -aufbereitung von Produkten unter Gewährleistung von Arbeits- und Gesundheitsschutz. Auch die Produktnutzung wird angepasst, um unnötige und hohe Belastungen durch z. B. Lacke, Farben, etc. zu vermeiden. Gegebenenfalls können Nutzungsanforderungen an ein Produkt reduziert werden, um eine wiederholte stoffliche Nutzung oder eine energetische Endnutzung zu erleichtern.
- **Flexibel bleiben:**
Die Berücksichtigung von möglichen Entwicklungsdynamiken und der Erhalt von flexiblen Produktionsprozessen beugen der Manifestierung nicht optimaler Konzepte zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe vor.
- **Nachfrage reduzieren:**
Zur langfristigen Sicherung der Lebensgrundlagen ist ein effizienterer Umgang mit Rohstoffen nötig. Dieser schließt sowohl die Reduktion des Material- und Energieverbrauches in allen Sektoren (z. B. Reduktion der anfallenden Abfälle, erhöhter Wirkungsgrad der energetischen Umsetzung) als auch Verhaltensänderungen der KonsumentInnen mit ein.

8 Fazit und Ausblick

Das Ziel des Projekts war es, die Option „Kaskadennutzung“ strategisch, differenziert und ganzheitlich zu betrachten. In der vorliegenden Studie sind daher Anforderungen an eine nachhaltige Kaskadennutzung von Nawaro abgeleitet und Schlussfolgerungen zu deren Ausgestaltung gezogen worden, um die sich ergebenden Potenziale von Nawaro für die Unternehmen der Land- und Forstwirtschaft hochwertig und erfolgreich zu nutzen.

Im folgenden Absatz werden die erarbeiteten Projektergebnisse zusammengefasst; anschließend daran werden Handlungsempfehlungen an Forschung, Unternehmen und Wirtschaft sowie die Politik gegeben.

8.1 Zusammenfassung der Projektergebnisse

Das Konzept der Kaskadennutzung von Biomasse ist in vielen praktischen Bereichen schon etabliert, als Forschungsfeld und Teil einer Strategieentwicklung ist es aber noch neu. Entsprechend findet politische Förderung derzeit überwiegend über Innovations-, Diffusions- und F&E- Politikinstrumente statt. Instrumente wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und das Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) bilden die Grundlage für die umfassende energetische Nutzung von Nawaro, ohne die eine Kaskadennutzung unvollkommen bleibt. Allerdings werden durch beide Instrumente starke Anreize zur direkten energetischen Umsetzung ohne vorherige stoffliche Nutzung von Biomasse gegeben. Es sollte genau geprüft werden, ob die Förderung der energetischen Nutzung so umgestellt werden kann, dass Kaskadennutzung stärker gefördert wird. Dies gilt auch für die anderen Anreizsysteme entsprechend.

Die nachhaltig nutzbaren Stoffströme von Holz sowie agrarischer Biomasse im In- als auch Ausland sind begrenzt. Im Ausblick werden die Konkurrenzen zwischen stofflichen und energetischen Nutzungen aufgrund steigender Nachfrage weiter zunehmen.

Aus technischer Sicht der letzten Verwendung in der energetischen Nutzung werden die Möglichkeiten für eine Kaskadennutzung von der Qualität der eingesetzten Biomasse bestimmt. Etablierte und robuste Technologien mit geringer Komplexität in der Konversion sind dabei in der Regel eher geeignet, vorbehandelte und recycelte Einsatzstoffe umzuwandeln, als es für innovative und komplexe Technologien der Fall ist: je einfacher die Technik, desto weniger Anforderungen werden an den Einsatzstoff gestellt. Für die stoffliche Nutzung ist es im Gegenzug aber oft wichtig, bestimmte Qualitäten und damit Produkt- und Stoffeigenschaften zu bedienen. Die Schnittstelle von stofflicher zu energetischer Nutzung ist damit nicht immer optimal zu gewährleisten.

Bei der Entwicklung von großmaßstäblicher Technik wird dazu tendiert, die Umwandlung von hochwertigen Rohstoffen mit genau definierten Anforderungen zu hochwertigen Produkten voranzutreiben, statt durch die Nutzung von einfacher Technik eine möglichst große Bandbreite an Einsatzstoffen zu erschließen. Damit sind in dieser Hinsicht keine optimalen Voraussetzungen für die Kaskadennutzung gegeben.

Die Untersuchungen zur Einordnung in den Kontext der Biomassenutzung bestätigen, dass es sich hierbei um ein sehr vielschichtiges und komplexes Feld handelt. Die beiden vorgestellten Fallbeispiele zeigen, dass eine kaskadische Nutzung von Biomasse aus sowohl agrarischen als auch forstlichen Quellen sinnvoll realisiert werden kann.

Mit der im Projekt erfolgten konzeptionellen Entwicklung einer Bewertungsmethodik können Entscheidungen für die Optimierung der Biomassenutzung unterstützt werden. Diese Bewertungsmethodik setzt bei der Prüfung der nachhaltigen Biomassebereitstellung an und berücksichtigt sowohl die technisch-ökonomische Machbarkeit als auch den Nachhaltigkeitsbeitrag.

Bei der Etablierung einer kaskadischen Nutzung ist zu prüfen, ob die neuen Anwendungsketten unter Berücksichtigung sämtlicher Abschnitte des Lebenszyklus nachhaltiger sind als die nicht kaskadische Nutzung. Auch systemische Effekte gilt es zu berücksichtigen. Für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Kaskaden ist eine Indikator-gestützte Einzelfallprüfung auf verschiedenen Wirkungsebenen erforderlich.

8.2 Schlussfolgerungen

Eine Reihe von stofflichen und energetischen Nutzungspfaden lassen sich zu nachhaltigen Kaskadennutzungen zusammenführen. Diese können zur Entspannung der Nutzungskonkurrenzen beitragen.

Allgemein werden positive ökologische, betriebs- und volkswirtschaftliche Effekte sowie eine Erhöhung der nutzbaren Biomasse-Mengen erwartet. Pilotprojekte und Begleitforschung sind zur Konkretisierung notwendig. Wie hoch der zusätzliche Nachhaltigkeitsbeitrag der Kaskade gegenüber der nicht-kaskadischen Nutzung sein kann, ist als Entscheidungskriterium ausschlaggebend.

Wichtig ist es auch, Hemmnisse durch verschiedene technische und organisatorische Faktoren abzubauen. Bislang fehlen konkrete Handlungsanleitungen und Unterstützungsangebote für Unternehmen und Politik zur Entwicklung und Optimierung von Kaskaden.

Es lassen sich folgende **Handlungsempfehlungen** ableiten:

- **Für die Forschung:**

Da das Konzept der Kaskadennutzung von Biomasse als Teil einer ganzheitlichen Strategieentwicklung noch recht neu ist, ist der Bedarf gerade an strategischer Forschung hoch. Die Option der Kaskadennutzung sollte in übergreifenden Biomasse-Strategien berücksichtigt werden.

An der Schnittstelle von Forschung, Politik und Wirtschaft ist das Organisieren von nachhaltigen Kaskaden eine wichtige Aufgabe. Zu bearbeitende Forschungsfelder betreffen etwa

- Zu erwartende Mengen und Qualitäten von (Sekundär-)Rohstoffen für die Kaskade; dabei Analyse der Anforderungen einzelner Kaskadenschritte auf die Stoffqualität in anderen Kaskadenschritten

- Abwägung: Optimierung der gesamten Kaskade gegenüber möglicher Verschlechterung in einzelnen Schritten der Kaskade
 - Organisatorische und technische Herausforderungen zum Aufbau und Entwicklung in den Wertschöpfungsketten (inkl. Transparenz);
 - Anpassung von Produkteigenschaften und –bearbeitung;
 - Makroökonomische Effekte, insbesondere auf den Arbeitsmarkt und die wirtschaftliche Entwicklung ländlicher Regionen;
 - Analyse der Lenkungswirkung und Auswirkungen bestehender oder potenzieller Politikinstrumente zur Verbesserung des Policy Mix sowie
 - Verschränkung des Kaskadenprinzips mit anderen Rohstoffen wie z. B. recycelte Metalle, Kunststoffe und Optimierung bestehender Kaskaden.
- **Für Unternehmen und Wirtschaft:**

Aufgrund der technischen und logistischen Anforderungen ist es angebracht, nachhaltige Kaskaden bereits in der Planungsphase bzw. in frühen Nutzungs- und Bereitstellungsstufen systemweit zu optimieren. Ansatzpunkte dafür sind

 - die Produktentwicklung,
 - verfahrenstechnische Aspekte der Umwandlung und Aufbereitung,
 - Effizienzsteigerung der Erst- und Weiterverarbeitung,
 - Effizienz der Wieder- und Endverwertungsmöglichkeiten,
 - logistische/organisatorische Fragen sowie
 - die branchenübergreifende Kooperationen in der Wertschöpfungskette.

Nachhaltige Kaskadennutzung sollte ganzheitlich „von Anfang an“ gedacht und geplant werden und nicht als „end of pipe“-Lösung nur an bestehende Systeme hintenan geschaltet werden.

Die technische und organisatorische Umsetzung sollte in Pilotprojekten vorangetrieben werden und die verallgemeinerbaren Erfahrungen kommuniziert werden.

- **Für die Politik:**

Ein Anpassen der allgemeinen Rahmenbedingungen (Anreize zur energetischen Nutzung) in Richtung Kaskade ist zum jetzigen Zeitpunkt verfrüht. Eine Förderung, die beim energetisch genutzten Kaskaden-Endprodukt ansetzt, erscheint derzeit ebenso wenig praktikabel wie der Ansatz beim stofflichen Produkt.

Dabei sollten nachhaltige Kaskaden zum jetzigen Zeitpunkt gefördert und über Pilotprojekte entscheidungsrelevantes Wissen zusammengetragen werden. Der Policy Mix sollte im Zeitverlauf jeweils kontinuierlich angepasst werden.

Generell sollte geprüft werden, ob es Bereiche gibt, in denen die heutigen Anreize eine Entwicklung fördern, die einer nachhaltigen Nutzung entgegen läuft (Biomasse-NachhaltigkeitsVO) oder die nachhaltige stoffliche Nutzung verhindert.

Durch gezielte Förderung von nachhaltigen Kaskaden sollte solchen Anreizen entgegen gewirkt werden, die diese Kaskaden gegenüber der nicht-kaskadischen Nutzung benachteiligen. Unterstützung, Beratung und Prüfung könnten z. B. ähnlich wie bei der Energieeffizienzförderung kombiniert werden.

Beispiele zeigen, dass nicht jede multiple Nutzung, und jede Kaskadennutzung hinsichtlich der Rohstoff und Flächennutzung bereits optimiert ist, sondern noch Bedarf an einer weiteren Anpassung besteht. Die Optimierung der Biomasse- und Kaskadennutzung kann anhand des in Kapitel 7 dargestellten Entscheidungsbaumes systematisch abgefragt werden. Es handelt sich um eine schematische Bewertungsmethodik (vgl. [Abbildung 7-1](#)). Dabei sind die Prüfung der technisch-ökonomischen Machbarkeit und die Nachhaltigkeitsbewertung zentrale Aufgaben.

Es können folgende Anforderungen an eine nachhaltige Gestaltung der Kaskadennutzung von Nawaro gestellt. Basierend auf dem derzeitigen Forschungsstand deuten sich allgemeine Prinzipien an, an denen die nachhaltige Gestaltung der Kaskadennutzung ausgerichtet sein sollte (vgl. Kap. 7.4.2.):

- Eine effiziente Nutzung nachwachsender Rohstoffe in der Produktion vermeidet und reduziert die Menge von Reststoffen.
- Eine mehrfache und hochwertige stoffliche Nutzung von Nawaro vor der letzten energetischen Nutzung erhöht in der Regel die Rohstoff- und Flächeneffizienz der Nutzungskaskade.
- Es werden Mengenströme und Stückigkeit beim Materialrecycling in einem Umfang erhalten, der eine weitere ökologisch und ökonomisch sinnvolle Nutzung ermöglicht.
- Ein nachhaltiges Produktdesign ermöglicht eine einfache Wiederverwendung und -aufbereitung von Produkten unter Gewährleistung von Arbeits- und Gesundheitsschutz.
- Eine politische Förderung des Konzepts Kaskadennutzung sollte daher an den Stoffströmen ansetzen und stoffstrom- und produktspezifisch fokussiert sein.

9 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Aachener Stiftung Kathy Beys (Hg.) (2007): Schmidt-Bleek: Checkliste für Produkthersteller. URL: http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/checkliste_fuer_produkthersteller_526.htm (Stand: 12.02.2008).
- AltholzV (2002): Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung). URL: <http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/altholzv/gesamt.pdf> (Stand: 12.02.2008).
- Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V. (AGFW) (2004): Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und regenerativer Energien. AGFW-Hauptstudie Band 2: Technikentwicklung und -bewertung. Frankfurt, 2004.
- Arnold, K.; Ramesohl, S.; Grube, T.; Menzer, R.; Peters, R. (2006): strategische Bewertung der Perspektiven synthetischer Kraftstoffe auf Basis fester Biomasse in NRW. Wuppertal Institut, FZ Jülich.
- Austrian Federal Environment Agency et al. (2006): Delivering the Sustainable Use of Natural Resources: A Contribution from a group of members of the Network of Heads of European Environment Protection Agencies, URL: http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/presse/news2006/EPA_resourcespaper_2006.pdf (Stand: 28.06.2009).
- Baron, O. (2005): Daten zum Rübenanbau und Zuckerproduktion in Deutschland 2004/2005; Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V.; Bonn.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2005): Abfallratgeber Bayern. Altholz. Augsburg.
- Becker, Michel. 1998. Distribution des Holzes in der Bundesrepublik Deutschland 1995 (Holz-Distributionsanalyse). Hg. v. Forstabsatzfonds. Bonn: Centrale Marketing ges. d. dt. Agrarwirtschaft. <http://www.gbv.de/dms/goettingen/249475456.pdf> (Zugegriffen: 26. September 2008).
- Behn, C. (2005): Physikalisch-technologische Eigenschaften von unterschiedlich verleimten Recyclingspan- und -faserplatten. Cuvillier Verlag. Göttingen.
- Behrendt, S., Henseling, C., Erdmann, L., und Knoll, M. (2007). Trendreport: Zukunftstrends für das Bauen mit Holz. Arbeitspapier im Holzende2020 Projekt. Berlin.
- Benjamin, Y.; van Weenen, H. (2000): Design for Sustainable Development – Crops for Sustainable Enterprise, Environmental Design for Ecological Need (EDEN), International Design and Environmental Activities (IDEA), Dublin.
- BFH/StBA (Hg.) (2006): Waldgesamtrechnung für Deutschland 1993-2004. Ergebnisse und Tabellen. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) und Statistisches Bundesamt (StBA). Wiesbaden und Hamburg.
- BFW-Praxisinfo (2007): Energie aus Biomasse. Wien.
- Bleischwitz, R., Jacob, K., Bahn-Walkowiak, B., Petruschke, T. und Rennings, K. (2009): Ressourcenpolitik zur Gestaltung der Rahmenbedingungen. Analyse der Handlungsoptionen im Bereich Ressourcenpolitik. Ressourceneffizienz-Paper 3.1, Wuppertal Institut, Wuppertal.
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (Hg.) (2007): Pflanzen: Neue Wege in Landwirtschaft und Industrie. Berlin. URL: <http://www.hightech-strategie.de/de/187.php> (Stand: 12.02.2008).
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2004): Bundeswaldinventur 2. Alle Ergebnisse und Berichte. Unter der Leitung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH). www.bundeswaldinventur.de.
- BMELV (Hg.) (2007): Holzmarktbericht 2/2006. Abschlussergebnisse für die Forts- und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2006. Bonn.

- BMU (2007): Strategie Ressourceneffizienz: Impulse für den ökologischen und ökonomischen Umbau der Industriegesellschaft.
- BMU (Hg.) (2006): Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) / Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) / Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung (GWS): Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte – Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.
- BMVEL (Hg.) (2004): Konzept zur energetischen Nutzung von Biomasse. Bonn.
- Bringezu, S. / Schütz, H. / Lange, U. / von Geibler, J. / Bienge, K. / Kristof, K. / Arnold, K. / Merten, F. / Ramesohl, S. / Borelbach, P. / Kabasci, S. / Michels, C. / Reinhard, G. A. (2008): Optionen einer nachhaltigen Flächennutzung und Ressourcenschutzstrategien unter besonderer Berücksichtigung der nachhaltigen Versorgung mit nachwachsenden Rohstoffen. Endbericht für das Umweltbundesamt. Wuppertal Institut, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Wuppertal, Oberhausen, Heidelberg.
- Bringezu, S.; Ramesohl, S.; Arnold, K.; Fishedick, M.; von Geibler, J.; Liedtke, C. (2007): Towards a sustainable biomass strategy: What we know and what we should know. A positioning paper of the Wuppertal Institute, Rep. No. 163. Wuppertal.
- Bundeskabinett (2002): Vom Bundeskabinett am 06. Februar 2002 beschlossene Begründung für die Verordnung über die Entsorgung von Altholz. URL: http://www.boxer99.de/DOKUMENTE/Altholzverordnung_Begrueendung.pdf (Stand: 20.5.2009).
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 2009. www.bmelv.de, besucht am 29. Januar 2009.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2009): statistischer Monatsbericht 01/2009. www.bmelv-statistik.de.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2007): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung, Berlin 2007.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2008): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung, Berlin 2008.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2007): Erfahrungsbericht zum Erneuerbare-Energien-Gesetz.
- Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) (Hg.) (2004): Statistische Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forst 2004; Landwirtschaftsverlag, Münster, 2004.
- Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) (Hg.) (2008): Statistische Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forst 2008; Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin.
- Bundesverband Biogene und regenerative Kraft- und Treibstoffe e.V. (2009): Eine Branche im Siechtum. Artikel in Erneuerbare Energie, Juni 2009.
- Büttner, B. (2002): Regenerative Energieerzeugung in Landwirtschaftsbetrieben – Effiziente Nutzung nachwachsender Rohstoffe und biogener Reststoffe in einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft für Biomasse. In: Produktion – Ausbildung – Arbeitsplätze Teil II: Landwirtschaft und Bioenergie. Bonn.
- BVSE (Hg.) (2005): Altholz-Recycling. Bonn.
- Daniel, J.; Vogt, R. (2008): Substrate zur Biogaserzeugung, in Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. Endbericht mit Materialband – F&E-Vorhaben, FKZ: 0327544; Heidelberg, Leipzig, Berlin, Darmstadt Mai 2008.

- DBU – Deutsche Bundesstiftung Umwelt (o.J.): Belastete Althölzer als alternative Energiequelle, URL: http://www.dbu.de/123artikel1942_341.html (Stand: 28.06.2009).
- DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) (2002): Energetische Nutzung von kontaminiertem Altholz mittels Flashpyrolyse. Abschlussbericht. (Autoren: U. Hansen, H. Küstner, R. Strenziok) Rostock.
- Dehoust, G. / Matthias Buchert, Jan Ferenz, Andreas Hermann, Wolfgang Jenseit, Falk Schulze, Jürgen Giegich, Horst Fehrenbach, Regine (2006): Ermittlung von relevanten Stoffen bzw. Materialien für eine stoffstromorientierte Ressourcenschonende Abfallwirtschaft. Endbericht. Teilvorhaben des Projekts „Fortentwicklung der Kreislaufwirtschaft zu einer nachhaltigen Stoffstrom- und Ressourcenpolitik (FKZ 90531411), Darmstadt.
- Deimling, S. und Vetter, R. (2000): Nachwachsende Rohstoffe im Bauwesen. Analyse der Hemmfaktoren und Analyse zur Überwindung. Müllheim.
- Detten, Roderich von (2007): Zukunftsfeld: Märkte für Forst- und Holzwirtschaft vor dem Hintergrund globalisierter Marktbedingungen. Kurzfassung des Basispapiers. Freiburg. Download unter: www.waldzukuenfte.de.
- Deutscher Brauer-Bund e.V. (Hg.) (2008): Die deutsche Brauwirtschaft in Zahlen 2007; Stand 08. August 2008.
- Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP). Celle, URL: http://www.vdp-online.de/pdf/Stoffstrommodell_Holz_LF.pdf#search=%22Stoffstrom-Modell-%20Holz%22 (Stand: 28.06.2009).
- Dieter, M. und Küpker, M. (2006). Die Tropenholzeinfuhr der Bundesrepublik Deutschland 1960–2005 – insgesamt und aus geschätzten illegalen Holzeinschlägen. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH). Arbeitsbericht des Institut für Ökonomie 2006/1. Hamburg.
- Dieter, Matthias und Hermann Englert. 2005. Gegenüberstellung und forstpolitische Diskussion unterschiedlicher Holzeinschlagsschätzungen für die Bundesrepublik Deutschland. Hamburg: Inst. für Ökonomie.
- Dieter, Matthias, Hermann Englert und Markus Klein. 2001. Abschätzung des Rohholzpotentials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie; 2001/11. Hamburg: Inst. für Ökonomie.
- Dornburg, V. (2004): Multi-functional Biomass Systems. Dissertation an der Universität Utrecht.
- Econcept (Hg.) (2007): Kaskadennutzung. Köln. URL: http://www.econcept.org/index.php?option=com_content&task=view&id=47&Itemid=29 (Stand: 12.02.2008).
- EEA (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment) Report No. 7/2006. Copenhagen.
- Ellerbrok, (2007): Persönliche Mitteilung von Herrn Ellerbrok vom Containerdienst B. und J. Hesse Oberhausen (Telefoninterview am 27.11.2007).
- Elliot, D. C. (2004): Chemicals from Biomass. In: Cleveland, C.J. (Ed.), Encyclopedia of energy, Elsevier, Oxford.
- EPEA – Environmental Protection Encouragement Agency (Hg.) (2009): „CO₂-Speicherung und Wertschöpfung – Holznutzung in einer Kaskade“ in Zusammenarbeit mit dem Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. (VHI), Gießen und dem Fraunhofer Institut für Holzforschung (Wilhelm-Klauditz-Institut WKI), Braunschweig. Hamburg.
- Erbreich, M. (2004): Die Aufbereitung und Wiederverwendung von Altholz zur Herstellung von Mitteldichten Faserplatten (MDF). Hamburg.
- Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2005): Handreichung – Biogasgewinnung und -nutzung; 2. Aufl.; Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Leipzig; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt.

- Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2007): Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie, 2. Auflage, Gülzow.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (2009): Basisinfo Nachwachsende Rohstoffe – Daten und Fakten. Online-Portal, letzter Zugriff am 23. Juni 2009 <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/service/daten-und-fakten/anbau.html?spalte=3>.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2000): Leitfaden Bioenergie, Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2006): Biokraftstoffe – eine vergleichende Analyse. (Autor: N. Schmitz) im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Gülzow.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2006b): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2007a): Makroökonomische Effekte des Ausbaus und der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen, Studie von Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI) / Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft der Justus-Liebig-Universität, Gießen im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vertreten durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Güstrow.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2007b): Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie. Gülzow.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2007c): Daten und Fakten zu nachwachsenden Rohstoffen. Gülzow.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2007d): Marktübersicht: Scheitholzvergaserkessel, Scheitholz-Pellet-Kombinationskessel. Gülzow.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2007e): Marktübersicht: Pellet-Zentralheizung und Pelletöfen. Gülzow.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2007. Daten und Fakten zu nachwachsenden Rohstoffen, Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2008. Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hg.), Berlin.
- Faulstich, M.; Quicker, P. (2007): Energetische versus stoffliche Nutzung von Biomasse – Potenziale, Entwicklungen, Chancen. Labor für Abfallwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft, Umweltchemie an der FH Münster. 10. Münsteraner Abfallwirtschaftstage.
- Fehrenbach, Horst (2007): Methodik und Berechnung des CO₂-Minderungspotenzials von Biokraftstoffen – Grundlagen für die Default-Werte in der BioNachV. 27 November, Berlin.
- Fischer; Dr. Jürgen, ADM Research GmbH: persönliche Mitteilung am 24. März 2009.
- Flemming, Jana und Michael Knoll. 2006. Basisstudie 1: Ist-Analyse Wald und Holz in Deutschland. Holzwende Paper, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin, Juni. Holzwende 2020plus.
- Fornefeld, M., Tschurtschenthaler, G. und Oefinger, P. (2004): Absatz-Potenziale für heimische Produkte aus Nadelstarkholz auf den nationalen und internationalen Märkten. Abschlussbericht im Auftrag des BMWA, Düsseldorf.
- Fraanje, P.J. (1997): Cascading of pine wood. Resource, Conservation and Recycling, 19.
- Friedmann, Hans (2006): Status Quo und Perspektiven der Vergärung biogener Reststoffe in Deutschland. Agraferm Technologies AG, Pfaffenhofen. Vortrag beim 19. Aachener Kolloquium Abfallwirtschaft.

- Fritsche, U. R.; Heinz, A.; Thrän, D.; Reinhardt, G.; Baur, F.; Flake, M.; Simon, S. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Endbericht. Verbundprojekt: Institut für angewandte Ökologie e.V. (Öko-Institut), Darmstadt; Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik, Oberhausen; Institut für Energetik und Umwelt gGmbH; Leipzig; ifeu, Heidelberg; izes, Saarbrücken; Institut für Geoökologie, Braunschweig; Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus, München. Gefördert vom BMU im Rahmen des ZIP, Projektträger FZ Jülich.
- Fritsche, Uwe (2009): Biokraftstoffe – Verbündete im Kampf gegen den Klimawandel? Ein Überblick. Vortrag bei Heinrich-Böll-Stiftung Hessen e.V. und Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE). Tagung 2009.
- von Geibler, J. (2007): Biomassezertifizierung unter Wachstumsdruck: Wie wirksam sind Nachhaltigkeitsstandards bei steigender Nachfrage? Wuppertal.
- Geissler, S. et al.: Äpfel & Birnen Cascade: Mehr Wertschöpfung für das Mostviertel durch Kaskadennutzung. Laufendes Projekt. 2007.
- Große, Werner (2006): Holzbereitstellung mittels schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf stillgelegten Ackerflächen, Statement auf dem Workshop des IZT „Perspektiven der energetischen Nutzung von Holz“, 14.12.2006, Berlin.
- Hans-Dieter Hojnacki: Havi Logistics GmbH: persönliche Mitteilung am 24. April 2009.
- Hartmann, Hans; Thunke, Klaus; Höldrich, Alexander; Roßmann, Paul (2003): Handbuch Bioenergie Kleinanlagen. Technologie- und Förderzentrum Straubingen; im Auftrag BMELV und FNR. Gülzow.
- Havi Logistics (2009): Von der Friteuse unter die Motorhaube. Pressemitteilung Havi Logistics; online print. Letzter Zugriff am 23. Juni 2009 (http://media.havi-logistics.com/Top_Navigation/Press_Releases/German/_2009/Einsatz_von_AME.asp).
- HDH/VDM (Hg.) (2005): Jahrbuch 2005-2006. Hauptverband der Deutschen Holz und Kunststoffe verarbeitenden Industrie und verwandter Industriezweige e.V. (HDH) und Verband der Deutschen Möbelindustrie e.V. (VDM). Bad Honnef.
- Hempfen, Susanne (2006): Auswirkungen der neuen Veterinärrechtsvorschriften auf die Entsorgung biogener Abfälle und tierischer Nebenprodukte. BMU; Referat WA II 4. Vortrag beim 19. Aachener Kolloquium Abfallwirtschaft.
- Henke, Dr. Jan (2008): Biofuels Sustainability & Certification – Practical Analysis of Biofuels Certification Schemes. Meó Corporate Development GmbH, Köln.
- Hennicke, P., Kristof, K. Dorner, U. (2009): Ressourcensicherheit und Ressourceneffizienz – Wege aus der Rohstoffkrise. Ressourceneffizienz-Paper 7.3, Wuppertal Institut, Wuppertal.
- Hoffmann, Dunja (2007): Regionale Wertschöpfung durch optimierte Nutzung endogener Bioenergiepotenziale als strategischer Beitrag zur nachhaltigen Regionalentwicklung, Dissertation, Saarbrücken.
- Holz-Zentralblatt (Hg.) (2007): Eine gute Lösung für alle zeichnet sich nicht ab. Holz-Zentralblatt Nr. 14, S. 363–364.
- Holzabsatzfonds – Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft (Hg.) (2009): Holzschutz für konstruktive Vollholzprodukte. Konstruktiver Holzschutz gegen Pilze und Insekten durch bauliche Maßnahmen. INFORMATIONSDIENST HOLZ spezial 02/2009. Wiesbaden.
- Holzabsatzfonds – Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft (Hg.) (2005): Brandschutzkonzepte für mehrgeschossige Gebäude und Aufstockungen in Holzbauweise. Orientierungshilfe für Architekten, Fachplaner, Bauaufsichtsbehörden und Feuerwehren. INFORMATIONSDIENST HOLZ spezial 12/2005. Wiesbaden.
- Honermeier, Dr. Bernd & Gaudchau, Dr. Michael (2001): Vorfruchtwert von Winterraps. Justus-Liebig-Universität Giessen; UFOP- Praxisinformation.
- HPE (2006): Aktuelle Meldungen. Bundesverband Holzpackmittel, Paletten, Exportverpackung (HPE) e.V. <http://www.hpe.de/meldungen4.htm> (Stand: 22.9.2006).

- IFEU (2004): CO₂ Mitigation through Biofuels in the Transport Sector – Status and Perspectives. Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg (IFEU). www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20040801_gen-351.pdf.
- IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) (o.J.): Land appropriation of the forest sector. International Institute for Applied Systems Analysis. Land use change and agriculture Project. Download unter: http://www.mosus.net/documents/MOSUS_Forestry%20sector.pdf (Stand: 01.11.2007).
- Institut für Energetik und Umwelt gGmbH et al. (2006): Nachhaltige Biomassennutzungsstrategien im europäischen Kontext. Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergeträgern. Endbericht.
- Janke, H. D. (2002): Umweltbiotechnik – Grundlagen und Verfahren; Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2002.
- Kaltschmitt, M.; Hartmann H. (Hg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer-Verlag, Heidelberg, 2001.
- Kändler, G. (2006): Wie zuverlässig ist die Bundeswaldinventur als Basis? Vortrag im Rahmen des Seminars Forst und Holz – Potenziale, Mobilisierung, Verbrauch: Chancen und Strategien. 13. Juli 2006, Interforst München.
- Kaplinsky, R.; Morris M. (2001): A Handbook for Value Chain Analysis, IDRC.
- Knoll, M.; Rupp, J. (2007): Stoffliche oder energetische Nutzung? Nutzungskonkurrenz um die Ressource Holz. Verbundvorhaben im BMBF-Förderschwerpunkt „Forschung für eine nachhaltige Waldwirtschaft“, Paperreihe des „Holzwende 2020plus“-Projektes, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin.
- Kohl, Uwe (2006): Aufkommen, Behandlung und Verbleib von tierischen Nebenprodukten und Speiseabfällen aus Sicht des Bundesverbands der Nahrungsmittel- und Speiseresteverwertung. Bundesverbands der Nahrungsmittel- und Speiseresteverwertung (BNS) e.V., Querfurt. Vortrag beim 19. Aachener Kolloquium Abfallwirtschaft.
- Kollert, W. 1990. Die Erfassung von Warenströmen des Holzmarktes in der Wirtschaftsstatistik der Bundesrepublik Deutschland. Ludwig-Maximilians-Universität.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2005): Aktionsplan für Biomasse. KOM (2005) 628; http://www.bmelv.de/cln_045/nn_1021300/SharedDocs/downloads/081-NaWaRo/BiomasseAktionsplan,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/BiomasseAktionsplan.pdf.
- Kratz, M.; Lehr, U., Nitsch, J.; Edler, D.; Lutz, C. (2007): Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte 2006 – Abschlussbericht des Vorhabens „Wirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt – Follow up“ Stuttgart, Berlin, Osnabrück, September 2007.
- von Kriegsheim, Falk, Petrotec AG: persönliche Mitteilung am 17. Juni 2009.
- Kromus, S.; Narodoslawsky, M.; Krotscheck, C. (2002): Grüne Bioraffinerie. Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer nachhaltigen Kulturlandschaftsnutzung. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 18/2002, Wien.
- Krotscheck, C.; Kromus, S. (2004): Grüne Bioraffinerie. Gewinnung von Milchsäure aus Grassilagesaft. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 3/2004, Wien.
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (2007): Faustzahlen Biogas. Darmstadt.
- Lang, A. (2002): Altholzverwertung, Altholzverordnung. Hamburg, URL: http://www.bfafh.de/bfh-pers/pdf/lang02_1.pdf (Stand: 2.6.2009).
- Leithner, C. (2007): Biokunststoffe von Feldern und Wäldern. Bauernzeitung.
- Lichter, W. (2006). Biobrennstoffe sind in Russland noch ein zartes Pflänzchen. www.bfai.de/DE/Content/___SharedDocs/Links-Einzeldokumente-Datenbanken/fachdokument.html?flident=MKT20060815112422.

- Mantau, U. (2004): Holzrohstoffbilanz für Deutschland – Holzrohstoffaufkommen und dessen Verwendung im Jahr 2002. Holz-Zentralblatt, JG 76: 1026–1028.
- Mantau, U. (2005): Holzverwendung im Baubereich – Neubau und Modernisierung nach Marktsegmenten und Produktbereichen. Eine Studie im Auftrag des Holzabsatzfonds (HAF).
- Mantau, U. (2005b): Holzverwendung im Baubereich – Neubau und Modernisierung nach Marktsegmenten und Produktbereichen. Eine Studie im Auftrag des Holzabsatzfonds (HAF).
- Mantau, U. (2006): Kampf um den Rohstoff Holz trotz riesiger Potenziale?, AFZ-Der Wald 3, S. 111–113.
- Mantau, U. (2007): Energetische und stoffliche Holzverbrauchsentwicklung in Deutschland. Vortrag Kongress Rohholzmanagement. Hannover. http://www.kompetenznetz-holz.de/aktuelles/rohholzmanagement/vortraege/16_Referat_Mantau.pdf (Zugegriffen: 28. August 2008).
- Mantau, U./Sörgel, C. (2006): Holzrohstoffbilanz Deutschland – Bestandsaufnahme 2004 – Ergebnisbericht. Hamburg.
- Mantau, U./Sörgel, C. (2006b): Holzrohstoffbilanz Deutschland – Bestandsaufnahme 2004 – Methodikbericht. Hamburg.
- Mantau, U. und Bilitewski, B. (2005): Stoffstrom-Modell-Holz, Bestimmung des Aufkommens, der Verwendung und des Verbleibs von Holzprodukten, Forschungsbericht für den Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP). Celle. http://www.vdp-online.de/pdf/Stoffstrommodell_Holz_LF.pdf#search=%22Stoffstrom-Modell-%20Holz%22.
- Mantau, U. und Sörgel, C. (2006): Holzrohstoffbilanz Deutschland. Bestandsaufnahme 2004. Ergebnisbericht. Hamburg.
- Mantau, U., Sörgel, C. (2006) Holzrohstoffbilanz Deutschland – Bestandsaufnahme 2004, BFH Nachrichten 2/2006. <http://www.bfafh.de/>.
- Mantau, U., Steierer, F., Hetsch, S. und Prins, K. (2007): Wood resources availability of renewable energy policies. A first glance at 2005, 2010 and 2020 in European Countries.
- Meier, D./Faix, O. (1999): Heizöl und Chemie-Rohstoffe aus Holz. Flash-Pyrolyse eröffnet neue Möglichkeiten. In: ForschungsReport Ernährung – Landwirtschaft – Forsten 1/1999, S. 38–41.
- meó Consulting Team; Institut für Energetik und Umwelt gGmbH; Faserinstitut Bremen (2006): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hg.), Gülzow.
- Michanickl, A. (2009): mündliche Mitteilung. Telefonat vom 13.7.2009.
- Mrosek, T., Kies, U. und Schulte, A. (2005): Clusterstudie Forst und Holz Deutschland 2005. Forst- und Holzwirtschaft hat sehr große volkswirtschaftliche und arbeitsmarktpolitische Bedeutung. Holz-Zentralblatt 84, S. 1113–1117.
- Müller-Langer, F./Schneider, S./Witt, J./Thrän, D./Baur, F./Koch, M. (2006): Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung. Zwischenbericht. Leipzig.
- Nickel, R.; Liedtke, C.; Heuer, P. (2001): Forschungslandschaft Biotische Rohstoffe: Unternehmen und Branchen auf dem Weg zur Nachhaltigkeit. Wuppertal Paper Nr. 114 Wuppertal Institut, Wuppertal.
- Nitsch, J., Krewitt, W., Nast, M., Viebahn, P., Gärtner, S., Pehnt, M., Reinhardt, G., Schmidt, R., Uihlein, A., Barthel, C., Fishedick, M. und Merten, F. (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal.
- Nolte Holzwerkstoff (2009): Umwelterklärung 2008. Gernersheim, URL: <http://www.rheinspan.de/wp-content/uploads/2009/06/umwelterklärung-2008.pdf> (Stand: 28.06.2009).
- Nusser, M.; Sheridan, P.; Walz, R.; Seydel, P.; Wydra, S. (2007): Makroökonomische Effekte des Anbaus und der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hg.), Gülzow.

- Ochs, T., Duschl, C. und Seintsch, B. (2007): Struktur und Rohstoffbedarf der Holzwirtschaft. Teil I der Studie „Regionalisierte Struktur- und Marktanalyse der 1. Verarbeitungsstufe der Holzwirtschaft. In: Holz-Zentralblatt Nr. 10, S. 269–271.
- Oertel, D. (2007): TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag): Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Sachstandsbericht zum Monitoring „Nachwachsende Rohstoffe“. TAB-Arbeitsbericht Nr. 114, Berlin.
- Pastowski, A.; Fishedick, M.; Arnold, K.; Bienge, K.; von Geibler, J.; Merten, F.; Schüwer, D.; Reinhardt, G.; Gärtner, S.; Münch, J.; Rettenmaier, N.; Kadelbach, S.; Müller, T.; Barthel, D. (2007): Sozial-ökologische Bewertung der stationären energetischen Nutzung von importierten Biokraftstoffen am Beispiel von Palmöl. Unveröffentlichte Studie für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Wuppertal.
- Piringer, M.; Fischer, T. (2003): Kreislaufwirtschaft mit Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen. Voraussetzungen und Strategien. In: Berichte aus Energie- und Umweltforschung 14/20, Wien.
- Pladerer C. (1998): Kaskadische Nutzung von Biomasse. Entwicklung eines Systems für die Beurteilung der Nachhaltigkeit von kaskadischen Biomassennutzungswegen im regionalen Kontext. Österreichisches Ökologieinstitut.
- Polley, Heino und Franz Kroiher. 2006. Struktur und regionale Verteilung des Holzvorrates und des potenziellen Rohholzaufkommens in Deutschland im Rahmen der Clusterstudie Forst- und Holzwirtschaft. Arbeitsbericht des Instituts für Waldökologie und Waldinventuren ; 2006/3. Eberswalde: Institut für Waldökologie und Waldinventuren.
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (Hg.) (2008): Fortschrittsbericht zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Berlin.
- Putz, R. (2006): Modifizierte Holzspäne für höherwertige Holz/Kunststoff-Verbundwerkstoffe. Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Wien.
- Ramesohl, S.; Arnold, K.; Kaltschmitt, M.; Scholwin, F.; Hofmann, F.; Plättner, A.; Kalies, M.; Lulies, S.; Schröder, G. (2006): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal.
- Ritthoff, M. / Rohn, H. / Liedtke, C. (2002): MIPS berechnen: Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen. Wuppertal. (Wuppertal Spezial Nr. 27)
- Schepelmann, P. (2006), Global land use accounting (GLUA), URL: <http://ivm5.ivm.vu.nl/sat/chapdb.php?id=46>.
- Scheuermann, A., et al.: Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes; Institut für Energetik und Umwelt gGmbH; Leipzig, 2004.
- Schindler, J. (2006): Verfügbarkeit von Biomasse zur Kraftstoffproduktion. L-B-Systemtechnik GmbH, Ottobrunn.
- Scholwin, F., Thrän, D., Daniel, J., Weber, M., Weber, A., Fischer, E., Jahraus, B., Klinski, S., Vetter, A. und Beck, J. (2007): Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Endbericht. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- Scholwin, F.; Daniel, J.; Paterson, M. (2007): Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft. Teilbericht 2: Erhebung des im Trockenfermentationsverfahren erschließbaren energetischen Potenziale in Deutschland, Vergleichende ökonomische und ökologische Analyse landwirtschaftlicher Trockenfermentationsanlagen, Endbericht; Forschungsvorhaben im Auftrag der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe, FKZ 22011701, 2007.
- Schöne, F., Weiß, J. (2006): Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen in der Schweinefütterung. (<http://www.ufop.de/905.php>, Mai 2006).

- Schütz, H. / Bringezu, S. (2008). Ressourcenverbrauch von Deutschland – aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen. UBA, Berlin.
- Siekerkotte, Martin (2009), Landwirtschaftskammer NRW. Persönliche Mitteilung am 3. März 2009.
- Soukup, Ole (2008) : Erstellung von Produktökobilanzen auf Basis von Stoffstromnetzen für die Bereitstellung von Biogas zur Einspeisung in das Erdgasnetz. Diplomarbeit, Wuppertal Institut.
- Statistisches Bundesamt (2005): Statistische Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden 2005.
- Statistisches Bundesamt (2006): Statistische Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden 2006.
- Statistisches Bundesamt (2006a): 82 Prozent des nutzbaren Holzzuwachses im Wald wurden 2004 eingeschlagen. Pressemitteilung vom 6. Juli 2006. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2008): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht zur Nachhaltigkeitsstrategie. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2008): Statistische Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden 2008.
- Steger, S. (2005). Der Flächenrucksack des europäischen Außenhandels mit Agrarprodukten: Welche Globalisierung ist zukunftsfähig? Wuppertal Institute, Wuppertal.
- Steger, Sören (2005): Der Flächenrucksack des europäischen Außenhandels mit Agrarprodukten. Wuppertal Paper 152. Wuppertal Institut. Wuppertal.
- Steinbrecher, Nils und Walter, Joachim (2001): Marktübersicht dezentrale Holzvergasung: Marktanalyse 2000 für Holzvergasersysteme bis 5 MW. Öko-Institut e.V., Darmstadt.
- Stumpe, (2007): Persönliche Mitteilung von Herrn Stumpe, BakeMark D GmbH (Email vom 12.12.2007).
- Sullivan, Marlene; Edler, Dietmar; Ottmüller, Marion; Lehr, Ulrike (2009): Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland im Jahr 2008. DLR, DIW, ZSW, GWS. Forschungsvorhaben (FZK 0325042) des BMU.
- System direkt (Hg.) (o.J.): Rücknahme von imprägnierten Hölzern aus dem Garten-, Landschafts- und Spielgerätebau sowie aus Landwirtschaft und Weinbau URL: http://www.altholzverordnung.de/download/info_lang.pdf (Stand: 12.02.2008).
- TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (Hg.) (2007): Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Sachstandsbericht zum Monitoring „Nachwachsende Rohstoffe“ (Autorin: D. Oertel). TAB-Arbeitsbericht Nr. 114, Berlin.
- The Brewers of Europe: The Brewers of Europe statistics – Beer Production (1000 hl) 2005; http://stats.brewersofeurope.org/stats_pages/beer_prod.asp (abgerufen am 03.02.2009).
- Umweltbundesamt (Hg; Stefan Schmitz & Inge Paulini) (1999): „Bewertung in Ökobilanzen – Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043 – Version 99“, Berlin, Dezember 1999, ISSN 0722-186X.
- UNI Göttingen (2006): Rohholzmobilisierung in Deutschland: Stand des Wissens. Göttingen.
- VDP (2006): Papier Kompass 2006. Verband deutscher Papierfabriken e.V. (VDP). www.vdp-online.de.
- Vetter, Dr. Armin, Thüringische Landsanstalt für Landwirtschaft: persönliche Mitteilung am 20. Februar 2008.
- VHI (Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie) (2006): Positionspapier Bioenergie.
- Vorher, W.; Kibat, K.-D. (2007): Perspektiven der Holzversorgung unter Berücksichtigung der politischen Ziele zur Förderung erneuerbarer Energien in Deutschland. In: The magazine for the International pulp & paper industry (ipw), 12/2007, S. 35–42.

- Wegener, Gerd; Windeisen, Elisabeth; Scholz, Gunthard; Schrader, Christoph; Pfitzer, Jürgen; Nägele, Helmut (2006): Material alliance of lignin with natural fibres; 9th EWLP; Proceedings; S. 126–129.
- Weimar, H./Mantau, U. (2003): Standorte der Holzwirtschaft. Aufkommens- und Vermarktungsstrukturen von Altholz. Abschlussbericht. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft. Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft. Hamburg.
- Weimar, H./Mantau, U. (2005): Standorte der Holzwirtschaft. Altholz im Entsorgungsmarkt – Aufkommens- und Vermarktungsstruktur. Abschlussbericht. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft. Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft. Hamburg.
- Weimar, H./Mantau, U. (2008): Standorte der Holzwirtschaft. Altholz im Entsorgungsmarkt -Aufkommens- und Vermarktungsstruktur. Abschlussbericht. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft. Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft. Hamburg.
- Weiß, M.; Bringezu, S.; Heilmeier, H. (2004): Energie, Kraftstoffe und Gebrauchsgüter aus Biomasse: Ein flächenbezogener Vergleich von Umweltbelastungen durch Produkte aus nachwachsenden und fossilen Rohstoffen. In: Zeitschrift für angewandte Umweltforschung (ZAU), Jg. 15/16 (2003/2004), H. 3–5, S. 361–378.
- Wendelizes, M./Hagemann, H./Schulte, A. (2006): Das neue Holzmaß ist ein Barrel-Äquivalent ... Zukunftsrohstoff Dendromasse wird knapp und teuer. In: AFZ-Der Wald 22, S. 1202–1206.
- Wimmer, E.; Mackwitz, H.; Schemitz, S.; Burner, U.; Stadlbauer, W. (2003): NaWaRo-Cascading für die Wellness-Regio. Untersuchung der kaskadischen Nutzungsmöglichkeiten von Steinobst-Restmassen im Food- und Non-food-Bereich. Berichte aus Energie- und Umweltforschung. Wien.
- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt Energie; Fraunhofer Institut UMSICHT; IFEU Institut für Quelle: Energie- und Umweltforschung Heidelberg (2007): Optionen einer nachhaltigen Flächennutzung und Ressourcenschutzstrategie unter besonderer Berücksichtigung der nachhaltigen Versorgung mit nachwachsenden Rohstoffen. UBA Vorhaben Z 6 – 91 054/82, Forschungskennzahl (FKZ) 205 93 153 – Vorläufiger Endbericht 10. Oktober 2007.
- WWF (Hg.) (2008): Living Planet Report 2008.

