



Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

Karin Arnold, Justus von Geibler,
Katrín Bienge, Caroline Stachura,
Sylvia Borbonus, Kora Kristof

Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen:

**Ein Konzept zur Verbesserung
der Rohstoffeffizienz und
Optimierung der Landnutzung**

Nr. 180 · August 2009
ISSN 0949-5266

Wuppertal Papers

Herausgeber:

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH
Döppersberg 19
42103 Wuppertal

Autoren:

Karin Arnold
Justus von Geibler
Katrin Bienge
Caroline Stachura
Sylvia Borbonus
Kora Kristof

Ansprechpartnerin:

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

„Wuppertal Papers“ sind Diskussionspapiere. Sie sollen Interessenten frühzeitig mit bestimmten Aspekten der Arbeit des Instituts vertraut machen und zu kritischer Diskussion einladen. Das Wuppertal Institut achtet auf ihre wissenschaftliche Qualität, identifiziert sich aber nicht notwendigerweise mit ihrem Inhalt.

Das vorliegende Paper ist Teil der Arbeiten der Autoren im Projekt „Klimaschutz und optimierter Ausbau erneuerbarer Energien durch Kaskadennutzung von Biomasseprodukten – Potenziale, Entwicklungen und Chancen einer integrierten Strategie zur stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse“. Das Vorhaben wird gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, das Ministerium für Wirtschaft, Energie und Mittelstand des Landes Nordrhein-Westfalen sowie die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, bei denen wir uns für die finanzielle Unterstützung bedanken.

Außerdem danken wir Dr. Stefan Bringezu, Wuppertal Institut, für interessante Diskussionen und hilfreiche Kommentare bei der Erstellung des Papers.

“Wuppertal Papers” are discussion papers. Their purpose is to introduce, at an early stage, certain aspects of the Wuppertal Institute’s work to interested parties and to initiate critical discussions. The Wuppertal Institute considers its scientific quality as important, however, it does not essentially identify itself with the content.

The present paper is part of the work of the authors within the project “Biomass cascading towards climate protection and an optimised expansion of renewable energies – potentials, development, and prospects of an integrated strategy on material and energetic biomass use”. The study is supported by the federal ministry for environment, nature conservation and nuclear safety, the ministry of economic affairs and energy of the state of North Rhine-Westphalia and the German Agricultural Society, whom we thank for funding.

Furthermore, we thank Dr Stefan Bringezu, Wuppertal Institute, for interesting discussions and helpful comments while developing the paper.

Zusammenfassung

Energie aus Biomasse spielt unter den erneuerbaren Energien eine zunehmend wichtigere Rolle. Biomasse kann industriell weiterverarbeitet werden oder der Erzeugung von Wärme, Strom und anderen Energieformen dienen. Daher ist bereits heute beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe eine massive Nutzungskonkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Verwertung absehbar.

Aus der begrenzten Verfügbarkeit der Ressource 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 nachwachsenden Rohstoffen (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.

Die Ansatzpunkte für Nutzungskaskaden sind vielfältig. Ob und inwieweit derartige Konzepte tragen, wie hoch deren Potenzial ist, welche Voraussetzungen für die Umsetzung zu erfüllen sind, ist aber noch nicht ausreichend untersucht.

Im vorliegenden Diskussionspapier wird zunächst eine Definition des vielfach und teils unterschiedlich verwendeten Begriffs Kaskadennutzung erarbeitet. Die folgenden Darstellungen von 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. Zudem werden Anforderungen an eine nachhaltige Kaskadennutzung von Nawaro abgeleitet und Schlussfolgerungen zu deren Ausgestaltung gezogen, damit Unternehmen der Land- und Forstwirtschaft die Potenziale von Nawaro hochwertig und erfolgreich nutzen können.

Abstract

Biomass based energy plays an increasingly important role among renewable energies. It can be industrially processed or used for energy generation e.g. heat, electricity or further energy forms. Thus there is a considerable competition between material and energetic biomass use.

From the limited availability of biomass resources and the increasing demand derives the call for the most efficient use possible. In this context, the idea of biomass cascading gains of attention as a possible solutions. The concept can be understood as a in series-connection of (multiple) material and energetic utilization of the same feedstock, thus creating combinations between the material and energy sector.

The concept of biomass cascading is therefore an approach to increase the resource efficiency and to optimize the utilization of acreage and forest.

The starting points for biomass cascading are manifold. 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.

Within this discussion paper, at first a definition of the concept has been developed, as the use of the term is manifold and partly heterogeneous. The following description of biomass cascading examples integrate agricultural as well as forestry products in order to demonstrate the broad applicability of the concept. Furthermore, specifications of a sustainable biomass cascading are derived, and conclusions are drawn as to how these cascades can contribute to a high-value and successful utilization of the corresponding potentials for agriculture and forestry.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Knappheit von Fläche und Material: Notwendigkeit einer verbesserten Rohstoffeffizienz	8
2.1	Stoffliche Nutzung von Nawaro: Baustoffe, Dämmstoffe, Papier	8
2.2	Energetische Nutzung von Nawaro: Strom, Wärme, Kraftstoffe	10
2.3	Internationale Perspektive: globale Flächenbelegung	13
2.4	Zwischenfazit	14
3	Kaskadennutzung von Nawaro: Ein bewährtes Prinzip mit Optimierungspotenzial	15
3.1	Nutzung bestehender Neben- und Koppelprodukte	16
3.2	Parallele Nutzung der ganzen Pflanze in verschiedenen Anwendungen	16
3.3	Prinzip der Kaskadennutzung: sequentielle stoffliche Nawaro-Nutzung und energetische Verwertung am Ende des Lebenszyklus	17
3.4	Vorteile einer Kaskadennutzung	19
4	Kaskadennutzung von Nawaro: Beispiele der bestehenden Praxis	22
4.1	Mehr Wertschöpfung im Unternehmen: Aufbereitung und Nutzung von verbrauchtem Frittierfett als Ersatzbrennstoff bei BakeMark	22
4.2	Reststoffpotenziale effizient einsetzen: Energetische Nutzung von Altholz	23
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	26
5.1	Herausforderungen einer effizienten und nachhaltigen Nawaro-Nutzung	26
5.2	Anforderungen an eine nachhaltige Gestaltung von Nawaro-Kaskaden	26
5.3	Das Ziel: Die Umsetzung einer nachhaltigen Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen voranbringen	28
6	Ausblick	32
7	Literaturverzeichnis	33

Abkürzungen

BHKW	Blockheizkraftwerk
BTL	Biomass-to-Liquid
Euro/t	Euro pro Tonne
Fm	Festmeter
GJ	Giga Joule
ha	Hektar
ha/d	Hektar pro Tag
KUP	Kurzumtriebsplantage
kW	Kilo Watt
Nawaro	Nachwachsende Rohstoffe
RME	Rapsmethylester (Biodiesel)
t/h	Tonnen pro Stunde
THG	Treibhausgas

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der Verknappung fossiler Ressourcen haben in den letzten Jahren nachwachsende Rohstoffe (Nawaro) in Deutschland 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 zusätzlich positive Effekte für den Klimaschutz und den ländlichen Raum möglich.

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 Notwendigkeit 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. 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. Im vorliegenden Diskussionspapier werden Anforderungen an eine nachhaltige Kaskadennutzung von Nawaro abgeleitet und Schlussfolgerungen zu deren Ausgestaltung gezogen, damit Unternehmen der Land- und Forstwirtschaft die Potenziale von Nawaro hochwertig und erfolgreich nutzen können.

2 Knappe Flächen und Material: Notwendigkeit einer verbesserten Rohstoffeffizienz

Biomasse ist ein wertvoller Rohstoff, der auf vielfältige Art und Weise eingesetzt werden kann: Neben der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln treten Anwendungen zur energetischen und stofflichen Nutzung verstärkt in den Fokus der Diskussion. Während sich der Begriff Biomasse¹ auf die Gesamtheit der Nahrungs- und Futtermittel sowie stoffliche und energetische Biomassennutzungen bezieht, wird zur Abgrenzung der Begriff der „nachwachsenden Rohstoffe“ im Folgenden ausschließlich auf die stofflich und energetisch genutzte Biomasse bezogen.

Um die Notwendigkeit einer verbesserten Rohstoffeffizienz darzustellen und zu erläutern, wie die sequentiell gekoppelte Nutzung von Nawaro in einer Kaskade – erst zur stofflichen, dann zur energetischen Anwendung – gestaltet werden kann, wird im Folgenden zunächst ein kurzer Abriss der bisherigen Anwendungsfelder von Nawaro gegeben. Dazu werden jeweils die stofflichen und energetischen Nutzungspfade im Überblick dargelegt. Anhand der aktuellen land- und forstwirtschaftlichen Flächennutzung sowie zentraler Trends werden die auftretenden Flächenknappheiten und Konkurrenzen zwischen stofflicher und energetischer Nutzung erläutert.

Für eine umfassende Perspektive werden die globale Flächennutzung sowie die Flächennutzung für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion, als die derzeit größten agrarischen Landnutzungen, in die Betrachtungen der Flächen- und Ressourcenknappheiten integriert und im Abschnitt 2.3 aufgegriffen.

2.1 Stoffliche Nutzung von Nawaro: Baustoffe, Dämmstoffe, Papier

Die stoffliche Nutzung verschiedener biogener Rohstoffe umfasst eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten (Bringezu et al. 2007, Weiß/Bringezu/Heilmeier 2004, FNR 2007c). Als Rohstoffquellen kommen unterschiedliche Einsatzstoffe aus dem direkten Anbau von z.B. stärke- und zuckerhaltigen Pflanzen, Faser- oder Ölpflanzen, Heil- und Färberpflanzen sowie Holz oder aus industriellen und land- und forstwirtschaftlichen Rückständen in Frage (FNR 2007c: 12).

¹ Unter dem Begriff „Biomasse“ werden sämtliche rezente (also noch nicht fossile) Stoffe organischer Herkunft verstanden. Biomasse beinhaltet damit die in der Natur lebende Phyto- und Zoomasse, die daraus resultierenden Rückstände bzw. Nebenprodukte, abgestorbene (aber noch nicht fossile) Phyto- und Zoomasse sowie im weiteren Sinne alle Stoffe, die beispielsweise durch eine technische Umwandlung und/oder eine Nutzung entstanden sind (vgl. FNR, 2000).

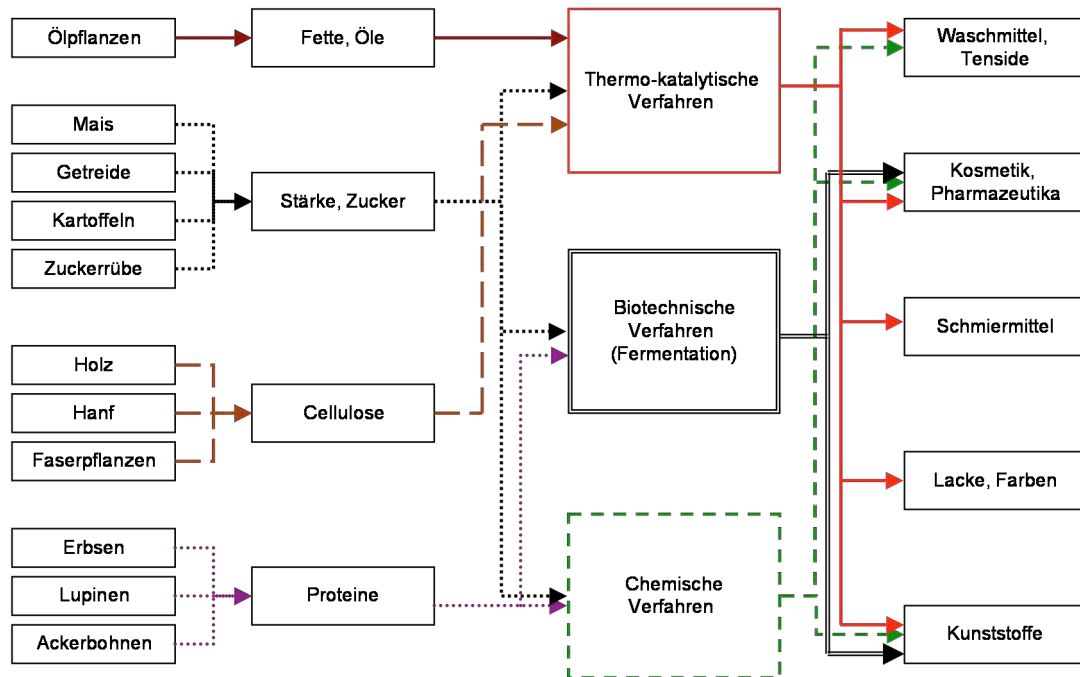


Abbildung 2.1: Überblick über exemplarische Nawaro-Pfade zur stofflichen Nutzung (eigene Darstellung)

Abbildung 2.1 zeigt exemplarische Biomassepfade von z.B. stärke- und zuckerliefernden Pflanzen aus der Landwirtschaft. Bereits heute existiert eine Vielzahl von technischen Umwandlungs- und Veredelungsprozessen für Nawaro, die einen Einsatz in z.B. Lacken und Farben, Kosmetika oder darüber hinaus zur Herstellung von Textilien, Baustoffen und Möbeln ermöglichen.

Holz wird überwiegend stofflich im Baubereich, in der Möbel-, der Verpackungs- sowie der Papier- und Zellstoffindustrie eingesetzt. Die Reststoffe aus der Holzverarbeitenden Industrie werden u.a. zur Herstellung von Faserplatten, Naturdämmstoffen oder Holzfaserverstärkten Verbundwerkstoffen verwendet (Mantau 2005, FNR 2007c).

Für den Anbau von Biomasse steht in Deutschland theoretisch die land- und forstwirtschaftlich genutzte Fläche, also maximal ca. 17 Mio. Hektar landwirtschaftliche Fläche² und ca. 11 Mio. Hektar nutzbare Waldfläche zur Verfügung (FNR 2007c: 11 ff.). Diese Fläche muss zwischen den Sektoren der Nahrungs- und Futtermittelbereitstellung, sowie der energetischen und stofflichen Nutzung aufgeteilt werden.

² Die landwirtschaftliche Fläche Deutschlands von ca. 17 Mio. ha besteht aus ca. 12 Mio. ha Ackerfläche, ca. 5 Mio. ha Dauergrünland und geringe Flächen für Dauerkulturen wie Gewächshäuser (ca. 0,2 Mio. ha) (BMELV 2007, Tab. 2). Von der landwirtschaftlichen Fläche wurden im Jahr 2007 nach Schätzungen der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) ca. 13 Prozent (2 Mio. ha) für stoffliche und energetische Nawaro genutzt (FNR 2007c: 12).

Der Großteil der landwirtschaftlichen Fläche wird heute überwiegend für die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln genutzt (BMELV 2007). Die stoffliche Nutzung der landwirtschaftlichen Fläche ist mit ca. 270.000 Hektar im Jahr 2006 eher gering. Seit 1993 ist die Fläche zur Bereitstellung für die stoffliche Nutzung von 244.440 Hektar nur geringfügig gestiegen (BMELV 2007). Schätzungen für das Jahr 2007 gehen von ca. 273.600 Hektar aus (FNR 2007c: 12).

Bezogen auf 2007 sind ca. 13 Prozent der Fläche, auf denen Nawaro angebaut werden (weniger als zwei Prozent der gesamten landwirtschaftlichen Fläche) für den stofflichen Sektor eingesetzt worden (eigene Berechnung basierend auf FNR 2007c: 12). Die im Wald eingeschlagenen Holzmengen werden dagegen mit bis zu 77 Prozent überwiegend stofflich genutzt (54,1 Mio. Festmeter in 2005) (FNR 2007c: 16).

Aufgrund der vielfältigen Anwendungsfelder und möglichen ökologischen und ökonomischen Vorteile einer stofflichen Nutzung von Nawaro, ist eine deutliche Steigerung der Nachfrage nach Produkten denkbar. Es bestehen Ausbaupotenziale der stofflichen Nutzung in der Erschließung neuer Märkte von z.B. stärkehaltigen Pflanzen in der Papier-, Pappe- und chemischen Industrie, von zuckerhaltigen Pflanzen zur Herstellung von biologisch abbaubaren Kunststoffen, sowie von Faserpflanzen zur Produktion von Dämmstoffen oder faserverstärkten Werkstoffen (Bringezu et al. 2007: 17). Weitere Anwendungsfelder sind durch technologische Entwicklungen von z.B. Wood-Plastic-Composites (Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffe) oder Biokunststoffen (wie z.B. Arboform[®] vgl. Wegener et al. 2006) gegeben.

2.2 Energetische Nutzung von Nawaro: Strom, Wärme, Kraftstoffe

Es existiert bereits heute eine Vielzahl von Optionen, unterschiedliche Nawaro in fester, flüssiger oder gasförmiger Form energetisch zu nutzen. Unter den erneuerbaren Energien ist Biomasse die einzige, die flexibel sowohl stationär zur Strom- und Wärmebereitstellung als auch mobil als Kraftstoff eingesetzt werden kann.

Wie aus Abbildung 2.2 anhand exemplarischer Nutzungspfade ersichtlich wird, steht ein breites Spektrum von Rohstoffen zur Verfügung, das in vielfältigen Umwandlungsprozessen verarbeitet werden kann.

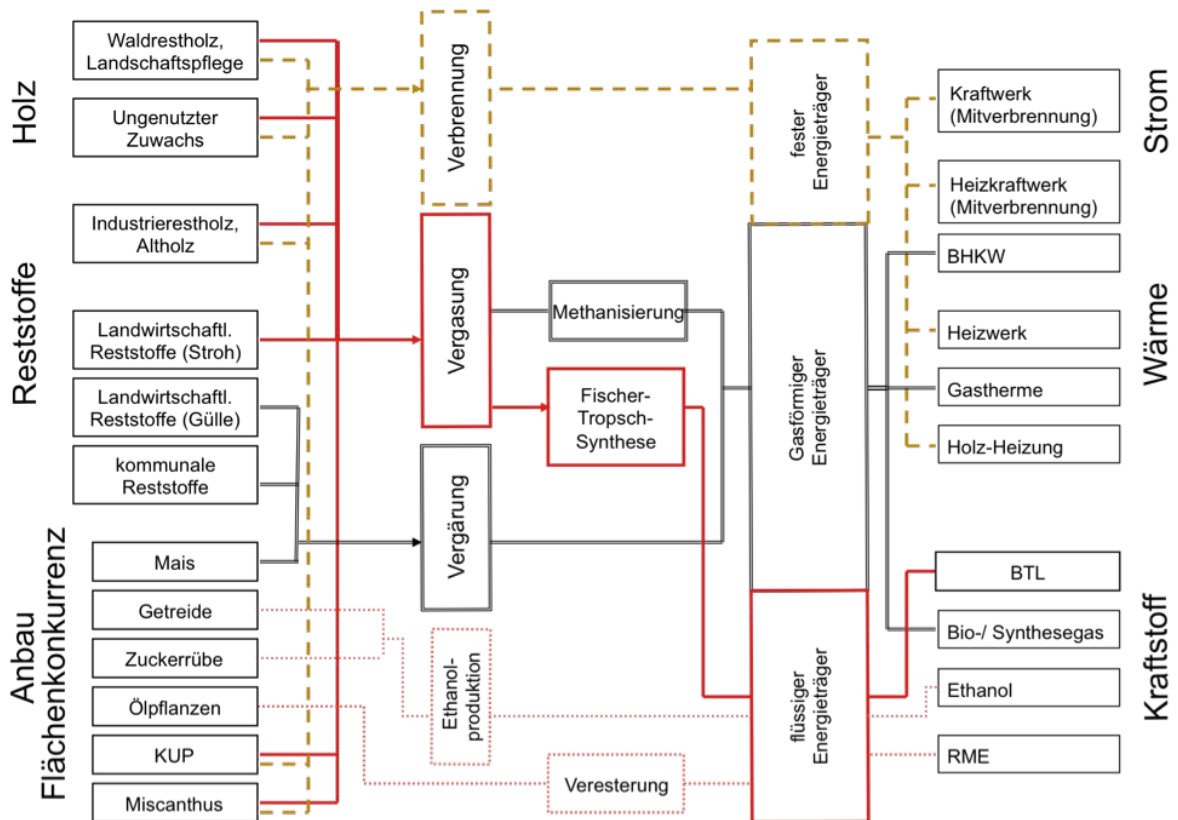


Abbildung 2.2: Überblick über exemplarische Nawaro-Pfade zur energetischen Nutzung (eigene Darstellung)

Von den ca. 2 Mio. Hektar landwirtschaftlicher Fläche, die für den Anbau von Nawaro genutzt werden, wurden im Jahr 2007 ca. 1,77 Mio. Hektar für energetische Anwendungen genutzt (FNR 2007c: 12). Abbildung 2.3 verdeutlicht die steigende Tendenz der energetischen Nawaro-Nutzung. Die Menge des Waldholzes, das energetisch genutzt wird, beträgt mit 23 Prozent etwa ein Viertel des gesamten Aufkommens (16,4 Mio. Festmeter (Fm) von 70,5 Mio. Fm in 2005) (FNR 2007c: 16). Hinzu kommt die energetische Nutzung von Industrie- und Altholz in erheblichem Umfang von 105,8 Mio. Fm, wobei Altholz den geringeren Anteil stellt (FNR 2007c: 16, vgl. Abschnitt 4.2).

Unter den energetischen Anwendungen, die auf dem gezielten Anbau von Nawaro basieren, hat Raps für die Produktion von Biodiesel derzeit die größte Bedeutung. Deutschlandweit sind zu diesem Zweck im Jahr 2007 rund 1,1 Mio. Hektar Fläche oder 9 Prozent des Ackerlandes belegt worden. Die bislang oft prognostizierte pflanzenbauliche Obergrenze (aufgrund von Fruchtfolgebeschränkungen, Bodeneignung etc.) von bundesweit einer Millionen Hektar ist damit bereits überschritten; eine weitere signifikante Ausweitung des Rapsanbaus ist daher nicht zu erwarten.

Aufgrund der steigenden Preise für Erdöl, vor allem aber durch die gesetzten Mengenziele der Bundesregierung bezüglich der biogenen Kraftstoffe, nimmt die Nachfrage

hier weiter zu. Derzeit wird ein Anteil von 5,25 % von Biokraftstoffen am gesamten Kraftstoffbedarf in Deutschland in 2009 vorgesehen; dieser Anteil soll bis auf 6,25 % in 2010 ansteigen. Es ist absehbar, dass diese Mengen nicht allein aus heimischen Ressourcen gedeckt werden wird: zum einen ist die verfügbare Ackerfläche in Deutschland begrenzt, zum anderen werden die benötigten Rohstoffe in anderen Ländern vielfach günstiger produziert. Daher werden verstärkt auch die negativen Folgen des globalen steigenden Anbaus von Ölpflanzen deutlich³. Aber nicht nur die Nachfrage nach Ölpflanzen, sondern auch die nach anderen Rohstoffen wie Energiegetreide oder Energieholz, bzw. energetisch verwertbare Reststoffe, wie z.B. Altholz, oder energetisch verwertbare Koppel- und Nebenprodukte, steigt.

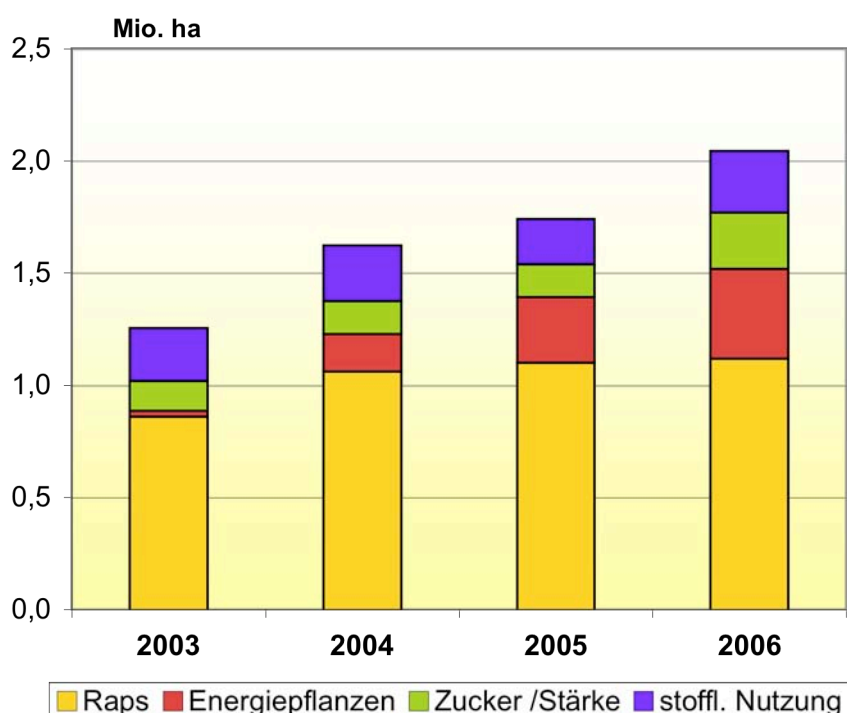


Abbildung 2.3: Entwicklung der landwirtschaftlichen Flächenbelegung in Deutschland von primär energetisch und stofflich genutzten Nawaro 2003–2006 in Mio. Hektar (Quelle: eigene Darstellung nach Statistik der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe FNR)

Die Kultivierung von Energiepflanzen für die Biogasproduktion nimmt bereits einen beachtlichen Anteil der Fläche ein: etwa 3,5 Prozent oder 400.000 Hektar waren es bundesweit in 2007 (FNR 2007c: 12). Dabei hat die Biogasbranche im Jahr 2006 einen regelrechten Boom erlebt. Die Anzahl der Biogasanlagen ist stark angestiegen. Die installierte Leistung hatte sich seit dem Jahr 2004 mehr als verdoppelt, so dass allein

³ Als ein Beispiel ist die Problematik des Anbaus von Palmöl auf Regenwaldflächen in Malaysia und Indonesien zu nennen (siehe Bringezu et al. 2007a, von Geibler 2007, Pastowski et.al, 2007).

dieser Teil der Nawaro-Nutzung bereits mehr als ein Prozent der gesamten deutschen Stromerzeugung bereitstellte.

Doch bereits im darauffolgenden Jahr 2007 ist der Boom der Biogasbranche abgeflaut. Zum Teil ist das in gestiegenen Substratkosten begründet, welche die Wirtschaftlichkeit der Anlagen gefährden.

2.3 Internationale Perspektive: globale Flächenbelegung

Der Anbau von Nawaro ist hauptsächlich von den zur Verfügung stehenden Anbauflächen, deren ökologischen Rahmenbedingungen sowie den vorherrschenden Nutzungskonkurrenzen bestimmt. So müssen die Flächeneignung und der Umgang mit der genutzten Fläche berücksichtigt werden, da z.B. durch eine Übernutzung landwirtschaftlicher Flächen ausgelöste Bodendegradierung die verfügbare Fläche langfristig reduzieren kann.

Darüber hinaus ist auch die deutsche Flächennutzung durch den internationalen Handel mit Agrar- und Forstprodukten in weltweite Nutzungsmuster eingebunden. Untersuchungen für den europäischen Außenhandel mit Agrarprodukten haben beispielsweise ergeben, dass die EU-15 für den inländischen Konsum agrarischer Güter im Jahr 2000 ihre eigene landwirtschaftlich verfügbare Fläche um rund 20 Prozent überschritten⁴ (Steger, 2005).

Ergebnisse einer jüngeren Analyse zum Flächenverbrauch in Deutschland für nachwachsende Rohstoffe⁵ deuten an, dass auch hier die globale Flächenbelegung für den inländischen Verbrauch über der inländisch zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Fläche liegt (Bringezu et al., 2008). Auch für den Forstbereich deuten sich diesbezüglich deutliche Netto-Flächenimporte an (IIASA, o.J.). Die Analyse einer Szenarienentwicklung für den zu erwartenden Bedarf an Bioenergie und Biomaterialien weisen auch eine Zunahme an von Deutschland ausländisch belegten Flächen aus. Eine damit verbundene Bilanzierung der Treibhausgasemissionen deutet an, dass für die Importe von nachwachsenden Rohstoffen (insbesondere Soja- und Palmöl) nach Deutschland erhebliche Treibhausgasemissionen durch die Umwandlung von tropischen

⁴ Zu den ökologischen und sozialen Auswirkungen der agrarischen Flächenbelegung der Länder des Südens für die Märkte des Nordens vor dem Hintergrund einer steigenden Weltbevölkerung und dem Problem der Unterernährung vor allem in den Ländern des Südens siehe Steger 2005.

⁵ Das Projekt „Optionen einer nachhaltigen Flächennutzung und Ressourcenschutzstrategien unter besonderer Berücksichtigung der nachhaltigen Versorgung mit nachwachsenden Rohstoffen“ wird am Wuppertal Institut in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik und dem IFEU Institut für das Umweltbundesamt durchgeführt.

Naturwaldflächen frei werden, welche die Bemühungen um Klimaschutz in Deutschland konterkarieren könnten (Bringezu et al., 2008).⁶

2.4 Zwischenfazit

Als Zwischenfazit lässt sich festhalten, dass die Nachfrage nach stofflichen und energetischen Nutzungen von Nawaro steigt. Der weitere Ausbau der Nawaro-Nutzung ist von den zur Verfügung stehenden Anbauflächen und vorherrschenden Nutzungskonkurrenzen bestimmt. Die Fläche, die für eine Produktion von Nawaro zur Verfügung steht, ist direkt vom Flächenbedarf für die Nahrungsmittelerzeugung und anderen konkurrierenden Flächennutzungen, wie etwa für Besiedlungs- und Naturschutzflächen abhängig. Die allgemeine Flächenverfügbarkeit zum Anbau von Nawaro wird zudem weiter begrenzt, da ökologische Rahmenbedingungen wie Flächeneignung und der Umgang mit der genutzten Fläche berücksichtigt werden müssen. So kann z.B. Bodendegradierung durch eine Übernutzung landwirtschaftlicher Böden die verfügbare Fläche langfristig reduzieren. Auf der anderen Seite verringern alternative Anbauformen, wie z.B. der Öko-Landbau durch extensive Bewirtschaftung der Fläche das Potenzial an sowohl Nahrungsmitteln wie auch Rohstoff- und Energiepflanzen, und stellen damit ebenso einen limitierenden Faktor dar.

Ein Blick in die Literatur bestätigt allerdings die zunehmende Etablierung der Verwendung von Nawaro (FNR 2007b und 2007a, Bringezu et al., 2008) sowohl stofflich z.B. als Werkstoff im Bau- und Wohnsektor oder in der Industrie (Elliot, 2004, TAB 2007, Leitner 2007) als auch energetisch als Kraftstoff und zur Wärme- oder Stromerzeugung (FNR 2006, BMVEL 2004). Allerdings drängen Nawaro aufgrund politischer Maßnahmen und steigender Preise für fossile Energieträger bislang stärker auf die energetischen als auf die stofflichen Märkte.

Durch die erhöhte Nachfrage werden sich die bestehenden Flächenknappheiten und Nutzungskonkurrenzen zukünftig nicht nur innerhalb Deutschlands, sondern insbesondere auch international verstärken. Daher werden innovative Ansätze zur Optimierung der Landnutzung notwendig, die auf eine Erhöhung der Rohstoffeffizienz ausgerichtet sind. Das Prinzip der Kaskadennutzung ist ein solcher Ansatz, auf den im folgenden Kapitel eingegangen wird.

⁶ Je nach Art der Landnutzungsänderung (also abhängig davon, ob die Rohstoffe auf Ackerflächen, ehemaligen Regenwaldflächen oder Torfböden angebaut werden, werden Emissionen in Höhe von rund 110 bis 298 kg THG/GJ Kraftstoff frei. Das führt zu einer Zunahme gegenüber konventionellen fossilen Kraftstoffen um den Faktor 1,7–2,2 [Fehrenbach, 2007].

3 Kaskadennutzung von Nawaro: ein bewährtes Prinzip mit Optimierungspotenzial

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, ist in den vorigen Kapiteln erläutert worden. Vor diesem Hintergrund gilt es nun, eine langfristig erfolgreiche Biomasse-nutzungsstrategie 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. Dies – sowie das Optimierungspotenzial der jeweiligen Nutzungen – wird im folgenden Kapitel 4 anhand von Beispielen gezeigt.

Zunächst werden aber zur Abgrenzung der Begriffe und der unterschiedlichen Möglichkeiten, Nawaro einzusetzen, 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.

Je nach dem in welcher Verarbeitungsstufe des Rohstoffes innerhalb der Wertschöpfungskette⁷ Biomasse eingesetzt 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.

⁷ 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.

3.1 Nutzung bestehender Neben- und Koppelprodukte

Abbildung 3.1 stellt die **Nutzung von Koppel- und Nebenprodukten** dar, die bei der Verarbeitung der Pflanze entstehen können. Dies ist gängige Praxis, in viele Betriebsabläufe bereits fest integriert und trägt zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz bei, indem möglichst viele Anteile des Rohstoffs verarbeitet 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; Holz kann entweder als Werk- oder Brennstoff dienen.

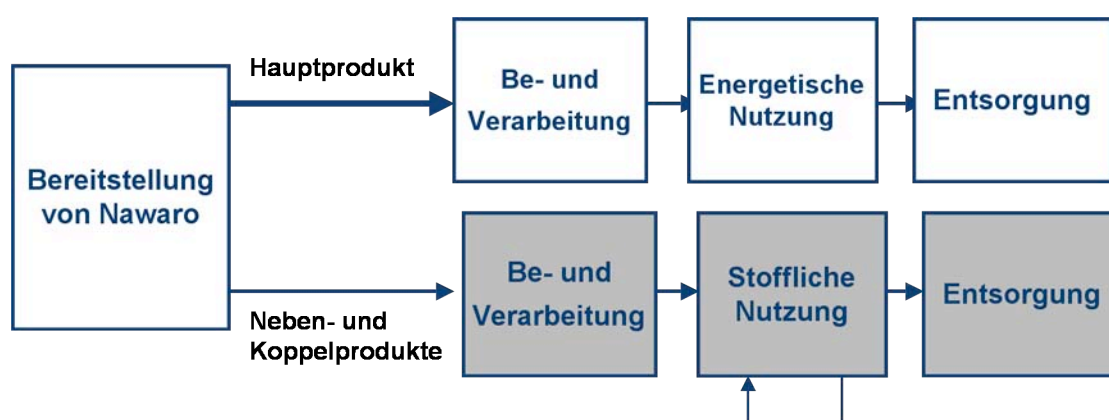


Abbildung 3.1: Multiple Nutzung von Nawaro I: Nutzung von Neben- und Koppelprodukten (eigene Darstellung)

3.2 Parallele Nutzung der ganzen Pflanze in verschiedenen Anwendungen

Abbildung 3.2 verdeutlicht die **parallele Nutzung von Pflanzenteilen**, bei der verschiedene Teile der Pflanze im selben Prozessschritt verschiedenen Anwendungen (stofflich oder energetisch) zugeführt werden.

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.

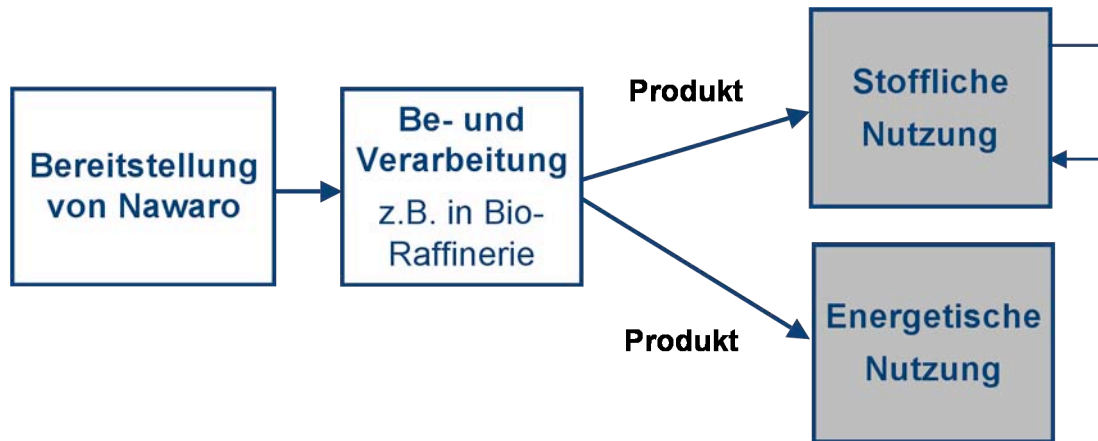


Abbildung 3.2: Multiple Nutzung von Nawaro II: Parallele Nutzung von Pflanzenteilen (eigene Darstellung)

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

Während sich der Grundgedanke der Kaskadennutzung in verschiedenen öffentlichen Diskussionen und Papieren, oft auch auf politischer Ebene wie z.B. auch in der Hightech-Strategie der Bundesregierung zum „Aufbau einer wissensbasierten Bio-Industrie in Deutschland“ (BMBF 2007) wiederfindet und Beispiele für Ansätze einer sequentiellen Rohstoffnutzung deutlich werden, fehlt derzeit eine detaillierte und schlüssige Abbildung des zugrunde liegenden Konzepts. Der Begriff der Kaskade wird in unterschiedlichen Kontexten mit diversen Bedeutungen versehen. 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 Eco Concept unter dem Stichwort „Kaskadennutzung“ beschrieben, wie ein Produkt- und nachgelagertes Materialrecycling aussehen kann (Econcept 2007):

„Ein hochwertiges Regal kann zunächst vom 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 seine 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 EcoConcept – 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 Wertschöpfungs niveau 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 lässt sich in Anlehnung an Dornburg (2004) aufstellen. Die nacheinander stattfindende Verwendung desselben Rohstoffs zunächst im stofflichen, dann im energetischen Sektor ist (Dornburg, 2004) als multiple Nutzung von Nawaro-Ressourcen im Sinne einer *„aufeinander folgenden Nutzung von Biomasse für mehrere Zwecke, d.h. Materialien, Materialrecycling und Energierückgewinnung“* definiert worden.

Entsprechend wird hier das Prinzip der Kaskadennutzung von Nawaro als sequentielle Nutzung von biogenen Rohstoffen für stoffliche und energetische Anwendungen definiert.

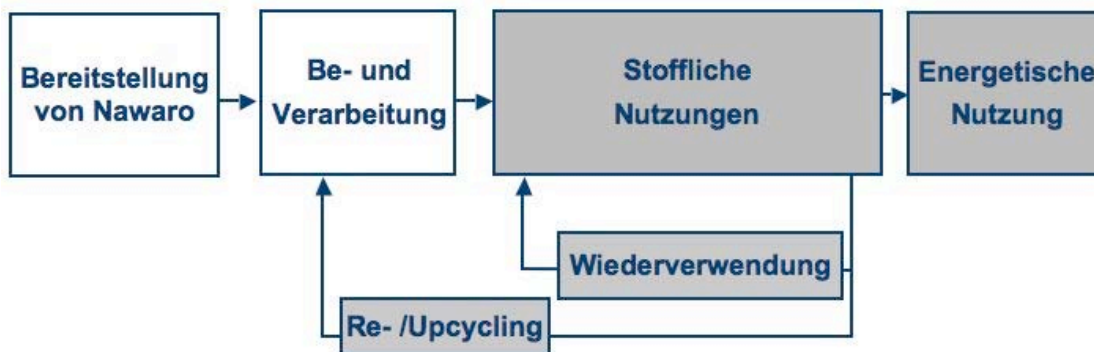


Abbildung 3.3: Multiple Nutzung von Nawaro III: Kaskadennutzung (eigene Darstellung)

Abbildung 3.3 verdeutlicht die multiple Nutzung von Nawaro nach dem Prinzip der **Kaskadennutzung**, 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.

Bereits bestehende Beispiele für die Kaskadennutzung sind die energetische Nutzung von gebrauchtem Frittierfett oder die energetische Nutzung von Altholz, die im folgenden Abschnitt 4 vorgestellt werden.

3.4 Vorteile einer Kaskadennutzung

Eine Kaskadennutzung geht mit einer verbesserten Ausnutzung der genutzten Flächen und Rohstoffe einher. Zwar wird durch eine Nutzung von Neben- und Koppelprodukten und auch die parallele Nutzung von Pflanzenteilen die Konkurrenz von stofflicher und energetischer Nutzung bereits gemindert. Allerdings beinhaltet die Kaskadennutzung weitreichendere Möglichkeiten der Ressourcenschonung in zweierlei Hinsicht: durch die mehrfache Nutzung desselben Rohstoffes ergibt sich zum einen ein geringerer Bedarf an Rohstoffen, zum anderen deren effizientere Nutzung als Material und Energieträger.

Eine vergleichende Analyse von Umweltbe- und -entlastungen von nachwachsenden und fossilen Produktalternativen hat gezeigt, dass die Umweltentlastungen bezogen auf den Energieverbrauch und das Treibhauspotenzial durch den Einsatz von Nawaro in Gebrauchsgütern am größten sind (vgl. Abbildung 3.4). Weniger stark entlastend wirkt sich die energetische Nutzung von Nawaro für Strom, Wärme und Kraftstoffherstellung aus (siehe Weiß/Bringezu/Heilmeier 2004: 14).

Durch die Anwendung einer Nutzungskaskade können die positiven Effekte der Umweltentlastung aus den Sektoren der stofflichen und der energetischen Nutzung hintereinander geschaltet und somit verstärkt werden.

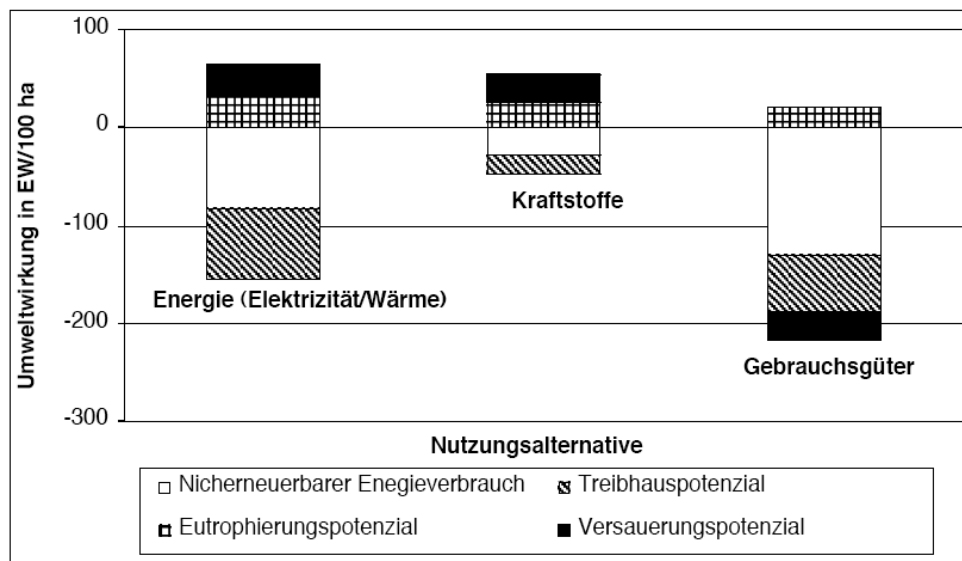


Abbildung 3.4: Vergleichende Darstellung der Umweltwirkungen von Nawaro und den fossilen Produktalternativen (Quelle: Weiß/Bringezu/Heilmeier 2004: 14)

Mit der Realisierung des Kaskadenprinzips können zudem ökonomische Vorteile für einzelne Unternehmen durch verringerte Rohstoffkosten oder Entsorgungsgebühren einhergehen. Auf der anderen Seite können erhöhte Aufwendungen für Logistik entstehen. Der Nettoeffekt ist im Einzelfall zu prüfen.

Die Kaskadennutzung pflanzlicher Rohstoffe birgt aber auch volkswirtschaftlich das Potenzial positiver makroökonomischer Effekte. Unter diesen gilt das Interesse vor allem der Schaffung von Arbeitsplätzen durch Nawaro-Produktion und Weiterverarbeitung und generell der Entwicklung des ländlichen Raums. Durch eine mehrfache Nutzung des gegebenen Biomasseangebots können sich z.B. höhere Beschäftigungs- und Wertschöpfungspotenziale ergeben. In der Zellstoff- und Papierindustrie wird etwa die Wertschöpfung bei der stofflichen Nutzung pro eingesetzten Rohstoff Holz 8-mal, der Beschäftigungsfaktor 13-mal höher eingeschätzt als bei einem direkten energetischen Einsatz, was für die Kopplung beider Routen spricht (Pöyry, 2006 zit. in Vorher/Kibat, 2007). Allerdings müssen auf anderen Seite mögliche indirekte Effekte beachtet werden, wenn es z.B. zu einer Verdrängung von bestehenden Arbeitsplätzen kommt. Direkte und indirekte Effekte müssen daher gegeneinander abgewogen werden. Hierzu besteht weiterer Forschungsbedarf.

Eine Untersuchung im Auftrag der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) zu den volkswirtschaftlichen Effekte von Nawaro (FNR 2007a) bewertet die Beschäftigungseffekte der industriellen Nawaro-Weiterverarbeitung sowie die Arbeitsplatz- und Einkommenseffekte in der deutschen Landwirtschaft. Es wurden leicht positive Netto-Beschäftigungseffekte ermittelt. Die Studie weist aber auch auf die Bedeutung der Herausbildung von Vorreitermarkt-Stellungen hin.

Die meisten der bislang vorliegenden Studien beschäftigen sich mit den volkswirtschaftlichen Effekten erneuerbarer Energieträger insgesamt, wobei Nawaro als deren integrierter Bestandteil angesehen werden. Separat ausgewiesen wird die Biomasse in der im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) durchgeführten Studie zu den Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt (BMU 2006). Dabei dürfte die stoffliche Nutzung derzeit noch geringere Effekte haben. Im Bereich der energetischen Nutzung von Nawaro wurde durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) eine umfassende gesamtwirtschaftliche Bewertung unter Berücksichtigung externer und makroökonomischer Effekte in Auftrag gegeben (IER/Hohenheim/FAL 2000). Zu den ermittelten gesamtwirtschaftlichen Vorteilen zählen die Stabilisierung des Agrar- und Forstsektors, positive Nettobeschäftigungseffekte und eine reduzierte Abhängigkeit von Primärenergieimporten.

Ländliche Regionen erhoffen sich von der zunehmenden Biomassenutzung eine Stärkung der regionalen Wirtschaftskraft. Der Einsatz regionsinterner Ressourcen zur Energiegewinnung und die Versorgung mit regional erzeugten Produkten werden in zahlreichen Projekten der Regionalentwicklung befürwortet (Hoffmann, 2007). Die Kaskadennutzung nachwachsender Rohstoffe hat das Potenzial, den Ansatz der endogenen Regionalentwicklung, die sich vor allem auf die Erzielung wirtschaftlicher Effekte konzentriert, und der ökologischen Kreislaufwirtschaft zu kombinieren. In letzterer spielen vor allem ökosystemare Zusammenhänge eine wichtige Rolle. Sie strebt die Rückführung von genutzten Rohstoffen in das System mit möglichst geringen energetischen und stofflichen Verlusten an. Eine genaue Untersuchung der Effekte, die durch eine Kaskadennutzung von Nawaro ausgelöst werden – in Abgrenzung zur stofflichen oder energetischen Nutzung – stehen bisher noch aus. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

4 Kaskadennutzung von Nawaro: Beispiele aus der Praxis

In diesem Kapitel werden zwei Beispiele der Kaskadennutzung, die heute bereits umgesetzt werden, vorgestellt und hinsichtlich ihrer Optimierungsmöglichkeiten diskutiert.

4.1 Mehr Wertschöpfung im Unternehmen: Aufbereitung und Nutzung von verbrauchtem Frittierfett als Ersatzbrennstoff bei BakeMark

Das Delmenhorster Werk des Lebensmittelproduzenten BakeMark/Meistermarken mit Hauptsitz in Bremen ist von der Klimaschutzagentur „Bremer Energie-Konsens GmbH“ mit einem Sonderpreis für „besondere Anstrengungen auf dem Gebiet der Steigerung der Energieeffizienz“ ausgezeichnet worden. Honoriert wird der Einsatz von gebrauchtem Frittierfett als Ersatzbrennstoff.

Die BakeMark Deutschland GmbH, Bremen, ist auf dem Nahrungsmittelsektor ein führender Anbieter von Produkten und Serviceleistungen im deutschen Markt für handwerkliche und industrielle Hersteller sowie Großverbraucher von Backwaren. Es werden unter anderem Spezialmargarinen, Backfette, Backmittel und -mischungen, Füllungen und Auflagen, Glasuren und Überzugsmassen sowie Trennmittel und Schneideöle für das weiterverarbeitende Backgewerbe (Unternehmen der Außer-Haus-Verpflegung, Süßwaren-, Eiskrem- und Nahrungsmittelindustrie, etc.) hergestellt.

Im Werk in Delmenhorst werden vielfältige Margarinen- und Fettprodukte (Spezial-Margarinen, Siedefette, Pflanzenfettzubereitungen, Backpasten & Backcremes, Glasuren und Überzugsmassen, Füllungen, etc.) erzeugt. In verschiedenen Zubereitungsverfahren werden als Frittierfett vorwiegend Palmolein und Palmöl eingesetzt.

Seit 2006 wird ein Teil des in der Produktion verbrauchten Frittierfetts in einer der hauseigenen Dampfkesselanlagen zur Energiegewinnung genutzt. Das Fett wird vor Ort gefiltert und gesäubert, um so der Verbrennung im Dampfkessel zur Verfügung zu stehen. Der befeuerte Kessel hat eine Kapazität von 5 t/h und erzeugt Dampf für die Beheizung von Anlagen wie Garschränken, aber auch Gebäuden und Hallen sowie für Heißwasser. Das gebrauchte Fett führt zu einer Auslastung des Kessels von 50 Prozent und substituiert aufgrund des geringfügig niedrigeren Heizwertes (um 3 bis 4 Prozent) rund 30 Prozent des jährlichen Energiebedarfs an diesem Dampferzeuger. Aus der Verbrennung bleiben lediglich Filtrerrückstände zurück, die entsorgt werden.

Der positive Nutzen dieser angewandten Kaskadennutzung liegt zum einen in der Substitution fossiler Energie im Delmenhorster Werk: Dem Dampfkessel muss rund ein Drittel weniger fossile Energie zugeführt werden. Positiv ist auch, dass die Kosten zur Entsorgung des gebrauchten Frittierfetts entfallen. Auch der im konventionellen Fall erforderliche LKW-Transport zur Entsorgungsstätte des Öls und die Reinigung der bisher benötigten Transportbehälter sind nicht mehr notwendig (Stumpe 2007).

Dieses Beispiel verdeutlicht die Potenziale der Ausgestaltung einer Nutzungskaskade zur Erhöhung der Wertschöpfung im eigenen Unternehmen. Möglicherweise ist das Frittierfett auch in der ursprünglichen Verwendung im Sinne einer Kaskadennutzung zunächst stofflich und nachfolgend energetisch durch einen externen Dienstleister entsorgt worden – Angaben zum Verbleib und einer eventuellen Nutzung des Fettes liegen leider nicht vor. Durch die nun eingeführte betriebsinterne energetische Nutzung konnte aber sicherlich die Wertschöpfung für das Unternehmen BakeMark selbst erhöht werden.

Allerdings sollte gefragt werden, ob durch die betriebsinterne energetische Nutzung der Abfallstoffe möglicherweise Anreize zur Erhöhung der Effizienz in der originären Produktion reduziert werden und sich so ein suboptimaler Status quo manifestiert. So wäre z.B. zu überprüfen, inwiefern mittel- oder langfristige das Frittieren mit Frittierfett durch ein anderes Verfahren ersetzt werden kann oder eventuell eine weitere Aufbereitung des gebrauchten Frittierfetts für eine weitere stoffliche Nutzung (Recycling oder höherwertige Nutzung) möglich ist.

Ein weiterer Schritt zur Steigerung der regionalen bzw. lokalen Wertschöpfung – und insgesamt ein großer Fortschritt in Richtung einer nachhaltigen Nutzung aus einer systemweiten Perspektive – kann der Einsatz von Fetten aus heimischen Pflanzen anstelle des ökologisch und sozial bedenklichen Palmöls als Rohstoff sein. So könnte die Substitution von Palmöl durch andere Pflanzenfette bzw. die Verwendung von Palmöl aus zertifiziertem nachhaltigem Anbau eine Verbesserung darstellen. Zudem stellt sich die Frage, wie die Umsetzung in einzelnen Beispielen und Nischenanwendungen so ausgeweitet werden kann, dass ein Systembeitrag für die nachhaltige Ressourcennutzung geleistet wird.

4.2 Reststoffpotenziale effizient einsetzen: Energetische Nutzung von Altholz

Am Beispiel der Altholznutzung werden die Potenziale einer Kaskadennutzung von Holz deutlich, an deren Ende vielfältige Möglichkeiten der energetischen Nutzung bestehen. Allerdings wird deutlich, dass Anreize zur energetischen Verwendung die stoffliche Wiederverwendung und Recycling verhindern können.

Ein Großteil des Altholzaufkommens wird energetisch in Heiz- und Kraftwerken oder in privaten Haushalten genutzt. Im Jahr 2004 wurden insgesamt 7,0 Mio. Fm Altholz in Heiz- und Kraftwerken verbrannt und 1,2 Mio. Fm für den Hausbrand verwendet. Im Vergleich ist die stoffliche Nutzung von Altholz im selben Zeitraum geringer: hier setzte die Holzwerkstoffindustrie 2,6 Mio. Fm an Altholz ein (Mantau/Sörgel 2006: 21). Je nach Verwendung bzw. Umwandlungstechnik kann Altholz aus den Altholzkategorien A1 bis A4 zur Energieerzeugung eingesetzt werden (AltholzV 2002). Die energetische Verwertung wird durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert.

Damit wird aber nicht notwendigerweise die effizienteste Nutzung gefördert. Die Energieerzeugung in Biomasse-Heiz(kraft)werken erreicht in der Regel einen niedrigeren Wirkungsgrad, als dies in modernen, fossil befeuerten Anlagen dem Stand der Technik entspricht. Zudem ist aus Sicht der Ressourcenschonung weiter kritisch anzumerken, dass ein Produkt- oder Materialrecycling von Altholz immer weniger stattfindet, da sich die energetische Nutzung aus finanzieller Sicht oft günstiger darstellt. Politische Rahmenbedingungen können demnach helfen, Reststoffströme zu klassifizieren und eine effizientere Nutzung zu fördern aber auch das Gegenteil bewirken und Anreize geben, die eine mehrfache stoffliche Nutzung erschweren oder verhindern.

Ein typisches Beispiel für die energetische Verwertung von Altholz ist die Deckung des hauseigenen Wärme- und Warmwasserbedarfs mittels Holzhackschnitzeln. So ist seit Oktober 2007 bei einem Recyclingunternehmen und Containerdienst in Oberhausen eine Hackgutfeuerungsanlage „Heizomat HSK-RA 60“ mit einer Nenn-Wärmeleistung von 60 kW in Betrieb. Die Befeuerung dieser Heizung wird mit Altholz der Kategorien A1 und A2 vorgenommen. Dieses von Bau- und Gärtnerbetrieben zur Entsorgung angenommene Holz (70 Prozent Bauholz, sonst Paletten, Verpackungen, Stammholz etc.) wird von einem ortsansässigen Holzhäcksler zu Hackschnitzeln aufbereitet. Es entstehen jährliche Kosten von ca. 250 Euro; vormals wurde das Holz zu Kosten von 3–5 Euro/t entsorgt. Die ganzjährig betriebene Anlage hat einen Brennstoffbedarf von 100 bis 120 m³ jährlich. Die Heizkostensparnis beläuft sich für das Unternehmen nach eigenen Angaben auf netto 3000 bis 3500 Euro pro Jahr. Es wird mit der Amortisierung der Heizanlage innerhalb von fünf bis sieben Jahren gerechnet (Ellerbrok, 2007).

Als Zwischenfazit kann festgehalten werden, dass im Bereich Altholz eine Kaskadennutzung von Nawaro bereits etabliert ist. Das folgende Beispiel macht deutlich, dass in der Organisation der Wertschöpfungskette aber noch Optimierungspotenzial ausgeschöpft werden kann, denn die Nutzung von Altholz erfolgt in der Regel über eine längere komplexe Kette, die von dem anfallenden Restholz über die Sammlung und Lagerung in eine Sortieranlage und von dort über einen Makler zur Verwertungsanlage reicht. Dabei ist sicherlich positiv zu vermerken, dass das Konzept der Nutzung von Reststoffen zumindest im Ansatz vorhanden ist. Es ist allerdings fraglich, welcher Anteil des Abfallholzes tatsächlich bis zur energetischen Verwertung gelangt. Zudem ist die zugrunde liegende Nutzungskette so wenig transparent, so dass mit hoher Wahr-

scheinlichkeit wenig Gelegenheit gegeben ist, einen Kreislauf der Wertschöpfung zu generieren, in dem die Bereitsteller des Holzes von eventuellen Erlösen durch die energetische Umsetzung profitieren können. Die Kaskadennutzungskette kann sicherlich hinsichtlich ihrer Effizienz und Transparenz optimiert werden.

Einen Ansatz dazu liefert die System direct GmbH&Co KG, eine Gesellschaft zur freiwilligen Rücknahme imprägnierter Althölzer. In Zusammenarbeit mit dem Deutschen Holzschutzverband großtechnischer Imprägnierung e.V. (DHV) ist ein Konzept zur freiwilligen Rücknahme von gebrauchten imprägnierten Hölzern entwickelt worden⁸. Durch die direkte Ansprache und Einbindung der Abfallverursacher konnte die Kette der Erzeugung und Verwertung auf drei Glieder verkürzt werden: ein Abfallfahrzeug holt das Altholz beim letzten Verbraucher ab und bringt es direkt zur Verwertungsstelle. Damit wird eine energetische Verwertung von 100 Prozent des hier eingebundenen Abfallholzes erreicht. Aufgrund der direkten Einbindung und kurzen Kommunikationswege kann zudem ein „Wertschöpfungskreislauf“ aufgebaut werden, in dem der Abfallerzeuger an den Erlösen aus der Energieerzeugung durch Altholz teilhaben kann. Durch eine weitere konsequente Umsetzung dieses Konzepts sollte im Ausblick auch der vorige Nutzer des Holzes bzw. der Rohstofflieferant mit in den Kreislauf eingebunden werden.

Allerdings stellt sich auch in diesem Beispiel die Frage nach einer möglichen Manifestierung eines suboptimalen Status quo, denn ggf. ist eine Entfernung von Störstoffen (Dekontaminierung) für eine wiederholte stoffliche Nutzung möglich und sinnvoll oder eine Vermeidung des ursprünglichen Einsatzes halogenorganischer Verbindungen oder von Holzschutzmitteln, der zu einer Einstufung in die Altholzkategorien III und IV und Notwendigkeit der thermischen Verwertung führt, zu erreichen (vgl. z.B. Michanickl und Böhme, 1996, Bayer und Soyecz, 2000, cit in EPEA Internationale Umweltforschung, 2009).

Die stoffliche Nutzung von nicht beschichtetem und nicht imprägniertem Altholz kann einer verbesserten Rohstoffeffizienz dienen. Die Möglichkeiten der stofflichen Altholznutzung sind abhängig von z.B. Schadstoffbelastungen, die durch vorhergehende Verarbeitungsprozesse bestimmt sind. Durch ein verbessertes Produktdesign (z.B. durch alternative Verbindungen zwischen Baustoffen, technischer Holzschutz) können sie langfristig so ausgerichtet werden, dass ein möglichst hoher stofflich wiederverwertbarer Anteil ermöglicht wird.

⁸ http://www.altholzverordnung.de/download/info_lang.pdf

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Um die Herausforderungen einer effizienten und umwelt- und sozialverträglichen Nutzung von Nawaro anzunehmen, werden Anforderungen an eine nachhaltige Gestaltung und Umsetzung von Nawaro-Kaskaden abgeleitet und relevante Forschungsfelder aufgezeigt.

5.1 Herausforderungen einer effizienten und nachhaltigen Nawaro-Nutzung

Die Studien, die sich mit den zukünftig zur Verfügung stehenden Potenzialen nachwachsender Rohstoffe beschäftigen, zeigen, dass der Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen in den zwei Bereichen der energetischen Nutzung als Strom, Wärme und Kraftstoff sowie der stofflichen Nutzung in chemischen Produkten, als Werk-, Dämm- und Kunststoff auch in Zukunft weiter zunehmen wird.

Deutlich wird auch, dass das zur Verfügung stehende Potenzial nicht beliebig erweiterbar ist und nicht ausreichen wird, um die Nachfrage aus allen Bereichen vollständig zu decken. Zusätzliche Flächen werden schon für die Nahrungsmittelversorgung einer steigenden Weltbevölkerung erforderlich. Der Steigerung der Hektarproduktivitäten unterliegt auch aus technischen und ökologischen Gründen einer Begrenzung, 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 Bedarfs 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).

5.2 Anforderungen an eine nachhaltige Gestaltung von Nawaro-Kaskaden

Aufgrund der natürlichen Vielfalt von biogenen Rohstoffen und ihren diversen Anwendungsmöglichkeiten im Material- und Energiebereich gibt es viele verschiedene Möglichkeiten, Kaskadensysteme anzuwenden. Die Beispiele haben gezeigt, 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:

- **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 zum Schutz der Lebensräume beitragen, sowie human- und sozialverträglich gestaltet 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.
- **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 nach Ablauf der gesamt sinnvollen stofflichen Anwendung werden im Sinne einer nachhaltigen Nutzungskaskade energetisch genutzt.
- **Wiederholte stoffliche und hochwertig energetische Nutzung:**
Eine mehrfache und hochwertige stoffliche Nutzung von Nawaro vor der letzten energetischen Nutzung erhöht in der Regel die Rohstoff- und Flächeneffizienz der Nutzungskaskade. Um relevante Mengenströme für die weitere Verwertung rückgewinnen zu können, wird eine diffuse Verteilung der Rohstoffe nach Möglichkeit vermieden. Grenzen des Recyclings, zum Beispiel durch hohen Energieeinsatz, logistischen Aufwand oder Gesundheitsgefährdungen, sind bekannt und werden berücksichtigt, denn nicht jedes stoffliche Recycling ist sinnvoll. Am Ende der Kaskade steht eine möglichst hochwertige energetische Verwertung.
- **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.
- **Ausreichende Mengenströme erhalten:**
Um eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Nutzung zu ermöglichen, werden Mengenströme in ausreichendem Umfang erhalten. Denn eine zu diffuse Verteilung

der Rohstoffe bedingt einen hohen logistischen Aufwand zu deren Sammlung mit der Folge, dass relevante Mengen nicht mehr rückzugewinnen sind und so aus der sinnvollen stofflichen oder energetischen Verwertung herausfallen.

- **Flexibilität der Produktionsstrukturen erhalten:**

Bei der Einwicklung von Kaskadennutzungssystemen werden sich abzeichnende technische und soziale Trends berücksichtigt und eine langfristige Gestaltbarkeit der Produktionsstrukturen entwickelt, um der Manifestierung nicht optimaler Konzepte zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe entgegen zu wirken.

- **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 Konsumenten und Konsumentinnen mit ein.

5.3 Das Ziel: Nachhaltigen Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen umsetzen

Um die vielfältigen Potenziale von Nawaro auszuschöpfen, sollte das Prinzip der Kaskadennutzung verstärkt in verschiedenen Handlungsfeldern berücksichtigt werden. Neben dem Handlungsbedarf in Politik und Wirtschaft ergibt sich durch die Innovationskraft der verstärkten Implementierung der Kaskadennutzung auch weit reichender Forschungsbedarf.

Von Seiten der **Politik** sind bisher zu wenig Anstrengungen erfolgt, die Ausrichtung der bisherigen Nawaro-Förderung im Lichte der Kaskadennutzung zu überprüfen und Maßnahmen zur Verbesserung der Rohstoff- und Flächeneffizienz in die Förderpolitik zu integrieren. Die politischen Rahmenbedingungen setzen derzeit Anreize, die der Kaskadennutzung von Nawaro zum Teil sogar entgegenlaufen: Die finanzielle Förderung und die Ausbauziele für die energetische Nutzung von Nawaro verringern die Anreize zu bzw. beeinflussen die bestehende Praxis einer (wiederholten) stoffliche Nutzungsphase der Rohstoffe. Das kann entsprechende Folgen haben: beispielsweise können Arbeitsplätze im Bereich der bestehenden stofflichen Nutzung gefährdet werden.

Die Etablierung von Reduktionszielen für die Nutzung natürlicher Ressourcen wird seit vielen Jahren diskutiert, unter anderem unter dem Stichwort „Faktor 10“. In diesem Sinne sollten neben der Überprüfung der Förderung der Rohstoffnutzung im Energiesektor auch eine Aufstellung nationaler Ziele für die maximale Nutzung von Nawaro gefordert werden. Dabei sollten ökologische und soziale Auswirkungen ebenso wie Wechselwirkungen mit anderen Nutzungssystemen (Nahrungsmittel, Energie) aber auch mit nicht-nachwachsenden Rohstoffen hinreichend Berücksichtigung finden, um die

langfristige nationale Wettbewerbsfähigkeit und positive Beschäftigungseffekte zu sichern.

Die Rohstoff- und Flächeneffizienz ist mit der Entscheidung für oder gegen eine bestimmte Landnutzung und dem vorausschauenden Umgang mit Flächenpotenzialen verbunden. Große Potenziale liegen z.B. in der Reduktion der Flächenbelegung für die tierisch basierte Ernährung. Grundlegend ist auch der Erhalt der derzeitigen landwirtschaftlichen Nutzfläche. Dazu muss die Flächenversiegelung von immer noch mehr als 130 ha/d gestoppt und der Trend zur Versiegelung umgekehrt werden. Geeignete Flächen sollten außerdem mehrfach genutzt werden, indem z.B. Synergien bei der Pflege von Schutzgebieten erkannt werden: Pflanzenmaterial aus der Landschaftspflege kann in vielen Fällen noch der Nutzungskaskade zugeführt werden.

Auch für **Unternehmen** können sich Vorteile aus der Umsetzung der Kaskadennutzung ergeben. Um auch langfristig die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern, sollten insbesondere die Produktentwicklung, Verfahrenstechniken und logistische Fragen aufgegriffen werden. Um eine systemweite Optimierung zu erreichen, sind branchenübergreifende Kooperationen in der Wertschöpfungskette zu verbessern.

Die Gestaltung der Nutzungskaskade ist durch die Hauptanwendung des biogenen Rohstoffs und seine Rohstoffeigenschaften vorgegeben. So wird schon beim Anbau bzw. bei der Erstverarbeitung determiniert, welche Wiederverwendungs- und Recyclingwege später eingeschlagen werden können und in welcher Form am Ende Energie gewonnen werden kann. Daher sollten nach Möglichkeit schon in der Planungsphase, beim Anbau und der Rohstoffverarbeitung Prozesse und Behandlungsschritte im Sinne des Kaskadengedanken optimiert werden. Ebenso spielen verfahrenstechnische Aspekte der Umwandlung und Aufbereitung bei der Effizienzsteigerung der Erst- und Weiterverarbeitung sowie hinsichtlich der Wieder- und Endverwertungsmöglichkeiten eine entscheidende Rolle.

Es wird immer deutlicher, dass innovative Wege gefunden werden müssen, um die verfügbaren Rohstoffe so effizient wie möglich zu nutzen. Dazu muss auf der Nachfrageseite der Bedarf an Energie und Ressourcen allgemein verringert werden: eine effizientere Nutzung von Energie schon bei der Umwandlung und Bereitstellung von Energiedienstleistungen, aber auch eine deutliche Minderung des Fleischkonsums und damit der Nachfrage nach Futtermitteln sowie eine ressourcenschonende Produktentwicklung sind Wege, die verfügbaren Ressourcen zu schonen. Zudem ist der Verwertungsgrad der Rohstoffe zu steigern. Neben der Ertragssteigerung von nachwachsenden Rohstoffen sowie der Nutzung der gesamten Pflanze kann insbesondere die Kaskadennutzung einen Beitrag zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz und zur Optimierung der Flächennutzung leisten.

Forschungsbedarf ergibt sich hinsichtlich einer Reihe von offenen Fragen zur nachhaltigen Gestaltung von Kaskaden:

1. die zu erwartenden Mengen und Qualitäten der Rohstoffe, die in Kaskaden genutzt werden;
2. organisatorische Herausforderungen zum Aufbau und Entwicklung von Transparenz in den Wertschöpfungsketten;
3. Anpassung von Produkteigenschaften und -bearbeitung an die Anforderungen einer nachhaltigen Kaskadennutzung;
4. Ausweitung des Kaskadenprinzips auf andere Rohstoffe und
5. die makroökonomischen Effekte, insbesondere in Form geschaffener Arbeitsplätze und einer gestärkten Wirtschaftskraft ländlicher Regionen.

In weitergehenden Untersuchungen sollten die zu erwartenden Mengen von Rohstoffen in Kaskadennutzung betrachtet werden. Bestehende Abschätzungen und Szenarien sollten eine verstärkte Kaskadennutzung berücksichtigen. Eventuelle Anpassungen von Produkteigenschaften an die Anforderungen einer nachhaltigen Kaskadennutzung sollten geprüft werden. So sind z.B. Dämmstoffe, die in Automobilen und Gebäuden eingesetzt werden, nicht analog zum Altholz in Feuerungsanlagen einsetzbar, da sie aus Sicherheitsgründen nicht brennbar sein dürfen. Hier ist zum einen zu prüfen, ob und inwieweit sie in Vergasern mit höheren Temperaturen und Drücken trotzdem thermisch verwertet werden können; zum anderen ist eine Anpassung der Produkteigenschaften denkbar, die den Sicherheitsanforderungen immer noch genügt, eine thermische Umsetzung aber erleichtert („*nicht brennbar bei Temperaturen bis ...*“). Daneben kann die Entwicklung von Hightech-Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen neue hochwertige Anwendungsfelder und vielfältige Formen einer Kaskadennutzung eröffnen. Ein Beispiel dafür ist z.B. die Veredlung von Reststoffen aus der Papierherstellung (Lignin) zum Werkstoff Arboform® durch ein thermoplastisches Verfahren. Nach Ablauf der stofflichen Nutzungsphasen sollte dieser Werkstoff aller Voraussicht nach noch energetisch genutzt werden können.

Zur nachhaltigen und ressourcenschonenden Verwendung nachwachsender Rohstoffe sowie dem Aufbau und der Bewertung möglicher Nutzungskaskaden gehört schließlich die differenzierte Betrachtung der entsprechenden Stoffströme und Kreislaufwirtschaften ebenso wie die Entwicklung von Nachhaltigkeitskriterien für Unternehmen, Produkte und Prozesse auch in Kooperation mit land- oder forstwirtschaftlichen Betrieben und anderen Unternehmen der Wertschöpfungsketten.

Eine Weiterentwicklung des Kaskadenprinzips kann etwa die Ausweitung des Konzepts auf die Nahrungs- und Futtermittelproduktion darstellen. Insbesondere in diesem Bereich ist die Nutzung von neben- und Koppelprodukten seit langem etabliert. Es gilt aber, auch hier genau zu untersuchen, wie z.B. die Potenziale der stofflichen Nutzung von tierischen Fetten (Nebenprodukt der Fleischproduktion) in der oleochemischen Industrie im Vergleich zur energetischen Nutzung der Fette zu bewerten ist. Auch sind

die Möglichkeiten der Übertragbarkeit des Kaskadenprinzips auf die Nutzung nicht erneuerbarer Rohstoffe und Kunststoffe zu untersuchen.

Da es auf Basis der vorliegenden wissenschaftlichen Ergebnisse bislang kaum möglich ist, die volkswirtschaftlichen Effekte der energetischen und stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland zuverlässig und umfassend zu bewerten, besteht in diesem Feld noch ein erhebliches Informationsdefizit. Eine potenzielle Analyse der volkswirtschaftlichen Effekte durch die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffen sollte die Frage aufgreifen, welche Beschäftigungs- und Einkommenseffekte sowie welche Auswirkungen auf Investitionen und Transferzahlungen zu erwarten sind. Außerdem sollten fiskalische Effekte auf der Einnahmenseite, der Beitrag zur Versorgungssicherheit, die Auswirkungen auf die Handelsbilanz sowie auf den Agrarstrukturwandel bearbeitet werden. Auch externe Effekte gemäß den Emissionsbilanzen sowie luftschadstoffbedingte und schadstoffunabhängige Wirkungen sind in eine volkswirtschaftliche Bewertung mit einzubeziehen.

Weitere Fragestellungen im Rahmen einer volkswirtschaftlichen Analyse der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe können durch spezifische Simulations- oder Modellrechnungen, die teilweise auch in eine Input-Output-Analyse integriert werden können, untersucht werden. Zu diesen gehören z. B. der Einfluss auf die Preisbildung lebensnotwendiger Güter, die Versorgungssicherheit oder die Entwicklung von Exportmöglichkeiten.

6 Ausblick

Die Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen stellt einen vielversprechenden Ansatz dar: für die Land- und Forstwirtschaft ist das Konzept attraktiv, da es ermöglicht, mehr Wertschöpfung aus den nur begrenzt verfügbaren Flächen und Rohstoffen zu schöpfen und somit Arbeitsplatzsicherung und ländliche Entwicklung zu fördern.

Ebenso kann durch Anwendung der Kaskadennutzung zur Schonung der nur begrenzt verfügbaren Ressource Biomasse sowie zum Klimaschutz durch Vermeidung fossiler Rohstoffe auf innovativem Wege beitragen werden.

Trotz des bestehenden Forschungsbedarfes ist es nun Aufgabe von Politik und den Akteuren der Wertschöpfungskette, die sich heute schon ergebenden Chancen in die Realität umzusetzen.

7 Literaturverzeichnis

- 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).
- 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.
- 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.
- BFW-Praxisinfo (2007): Energie aus Biomasse. Wien.
- 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).
- 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.; 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.
- Bringezu, S.; Schütz, H.; Lange, U.; von Geibler, J.; Bienge, K.; Kristof, K.; Arnold, K.; Merten, F.; Ramesohl, S.; Borelback, 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.
- 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.
- DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) (2002): Energetische Nutzung von kontaminiertem Altholz mittels Flashpyrolyse. Abschlussbericht. (Autoren: U. Hansen, H. Küstner, R. Strenziok) Rostock.

- 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).
- 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 Internationale Umweltforschung (2009): CO₂-Speicherung und Wertschöpfung in einer Kaskade. Entwurf, März 2009. EPEA.
- 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.
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (Hg.) (2000): Leitfaden Bioenergie, Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow.
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (Hg.) (2006): Biokraftstoffe – eine vergleichende Analyse. (Autor: N. Schmitz) im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Gülzow.
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (Hg.) (2006b): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow.
- 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.
- FNR (Hg.) (2007b): Nachwachsende Rohstoffe in der Industrie. Gülzow.
- FNR (Hg.) (2007c): Daten und Fakten zu nachwachsenden Rohstoffen. Gülzow.
- Fraanje, P.J. (1997): Cascading of pine wood. Resource, Conservation and Recycling, 19.
- 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 gefördert vom BMU im Rahmen des ZIP, Projektträger FZ Jülich.
- 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.
- Hoffmann, Dunja (2007): Regionale Wertschöpfung durch optimierte Nutzung endogener Bioenergiepotenziale als strategischer Beitrag zur nachhaltigen Regionalentwicklung, Dissertation, Saarbrücken.

- 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).
- 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“, Holzwende Paper, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin.
- 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.
- Leithner, C. (2007): Biokunststoffe von Feldern und Wäldern. Bauernzeitung
- Mantau, U. (2005): Holzverwendung im Baubereich – Neubau und Modernisierung nach Marktsegmenten und Produktbereichen. Eine Studie im Auftrag des Holzabsatzfonds (HAF).
- Mantau, U., Sörgel, C. (2006) Holzrohstoffbilanz Deutschland – Bestandsaufnahme 2004, BFH Nachrichten 2/2006. <http://www.bfafh.de/>.
- 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.
- 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.
- 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.
- Schindler, J. (2006): Verfügbarkeit von Biomasse zur Kraftstoffproduktion. L-B-Systemtechnik GmbH, Ottobrunn.
- Steger, Sören (2005): Der Flächenrucksack des europäischen Außenhandels mit Agrarprodukten. Wuppertal Paper 152. Wuppertal Institut. Wuppertal.

- Stumpe, (2007): Persönliche Mitteilung von Herrn Stumpe, BakeMark D GmbH (Email vom 12.12.2007).
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.