



Bodenschutz und nachwachsende Rohstoffe

**Gutachten für die
Kommission Bodenschutz des Umweltbundesamtes**

Geschäftszeichen: Z6 – 91003-25/4

Förderkennzeichen: 360 13 006

Stephanie Schlegel

R. Andreas Kraemer

Dora Schaffrin

31. Juli 2005

**Ecologic,
Institut für Internationale und Europäische Umweltpolitik
Pfalzburger Str. 43-44, D - 10717 Berlin, Tel. +49 30 86 88 0 101,
Fax +49 30 86 88 0100, Email: schlegel@ecologic.de
<http://www.ecologic.de>**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	<i>Hintergrund</i>	7
1.2	<i>Ziele des Gutachtens</i>	8
1.3	<i>Grenzen der Untersuchung</i>	9
1.4	<i>Gliederung</i>	9
2	Flächenpotenziale zum Anbau nachwachsender Rohstoffe	11
2.1	<i>Aktuelle Flächennutzung</i>	11
2.2	<i>Verfügbare Flächennutzungstypen</i>	12
2.2.1	Landwirtschaftliche Flächen	12
2.2.2	Forstwirtschaftliche Flächen	12
2.2.3	Flächen für Naturschutz und Landschaftspflege	14
2.2.4	Sonstige Flächen	16
2.3	<i>Flächennutzungstrends und Flächenkonkurrenzen</i>	17
2.3.1	Flächenauswirkungen der EU-Agrarpolitik	18
2.3.2	EU-Erweiterung	19
2.3.3	Flächenverbrauch und Flächenkonkurrenzen	19
2.3.4	Ertragssteigerungen	22
2.3.5	Klimawandel	22
2.3.6	Demographische Entwicklung	23
2.3.7	Ernährungsgewohnheiten und Flächenbedarf	24
2.4	<i>Flächennutzungsprognosen</i>	25
3	Nutzung nachwachsender Rohstoffe	27
3.1	<i>Verwertungsoptionen</i>	27
3.1.1	Wärme	27
3.1.2	Strom	28
3.1.3	Kraftstoffe	28
3.1.4	Stoffliche Nutzung	30
3.2	<i>Energetische Nutzungspotenziale</i>	31
3.3	<i>Technologien zur energetischen Nutzung</i>	32
3.3.1	Anlagen zur Festbrennstoffnutzung	34
3.3.2	Fermentation in Biogasanlagen	37
3.3.3	Anlagen zur Herstellung von Biodiesel	40
3.3.4	Anlagen zur Erzeugung von Bioethanol	42
3.3.5	Anlagen zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen	43

4	Auswirkungen nachwachsender Rohstoffe auf die Bodenqualität	45
4.1	<i>Kategorisierung der Bodenauswirkungen</i>	45
4.1.1	Bodenerosion.....	47
4.1.2	Schadverdichtungen.....	48
4.1.3	Eutrophierung	50
4.1.4	Belastung mit Pflanzenschutzmitteln	50
4.1.5	Einfluss auf die organische Bodensubstanz	51
4.1.6	Beeinträchtigung von Bodenorganismen.....	53
4.2	<i>Energiepflanzen und Bodenauswirkungen (Kulturarten)</i>	54
4.2.1	Einjährige Kulturen	55
4.2.1.1	Raps (Brassica napus L.)	55
4.2.1.2	Mais (Zea mays L.)	56
4.2.1.3	Getreide(-ganzpflanzen) - Weizen, Roggen, Triticale.....	58
4.2.1.4	Sonnenblume (Helianthus annuus L.)	59
4.2.1.5	Zuckerrübe (Beta vulgaris L.)	60
4.2.1.6	Kartoffel (Solanum tuberosum L.).....	62
4.2.1.7	Weitere annuelle Kulturen.....	63
4.2.2	Mehrjährige Kulturen – perennierende Gräser	64
4.2.2.1	Chinaschilf (Miscanthus x giganteus, Miscanthus sinensis)	64
4.2.2.2	Weitere mehrjährige Kulturen	67
4.2.3	Schnellwachsende Baumarten	69
4.3	<i>Entwicklung des Artenspektrums von Energiepflanzen.....</i>	70
4.4	<i>Anbauoptionen.....</i>	73
4.4.1	Zweikulturnutzung.....	74
4.4.2	Kurzumtriebsplantagen.....	76
4.5	<i>Übersichtstabelle über Anlagen, Energiepflanzen und Bodenauswirkungen.....</i>	77
5	Anforderungen und rechtliche Umsetzungsmöglichkeiten.....	80
5.1	<i>Rechtlicher Rahmen.....</i>	80
5.2	<i>Rechtliche Implementation</i>	80
5.2.1	EEG	81
5.2.2	Bundesbodenschutzgesetz	81
5.2.3	Bundesnaturschutzgesetz.....	82
5.2.4	Bundeswaldgesetz	82
5.2.5	Bundesimmissionsschutzgesetz	83
5.2.6	Raum- und Landschaftsplanung	83
5.2.7	Zertifizierung	84
5.2.8	Freiwillige Vereinbarungen.....	84

6	Zusammenfassung und Fazit.....	85
7	Summary.....	91
8	Literaturverzeichnis	93

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Nutzungsmöglichkeiten nachwachsender Rohstoffe	27
Abbildung 2: Typische Einsatzbereiche unterschiedlicher Biomassesortimente	29
Abbildung 3: Schematischer Aufbau typischer Bereitstellungsketten zur End- bzw. Nutzenergiebereitstellung aus Biomasse	33
Abbildung 4: Formen biogener Festbrennstoffe in Deutschland	34
Abbildung 5: Biogaserträge unterschiedlicher Substrate	38
Abbildung 6: Künftige Entwicklung der energetischen Biomassenutzung in Deutschland im Szenario „NACHHALTIG“	72
Abbildung 7: Bodenbeeinträchtigungen in Abhängigkeit von Anbauformen	74
Abbildung 8: Zuordnung des wichtigsten Inputmaterials verschiedener Anlagen, und deren Auswirkungen auf die Bodenqualität	79
Tabelle 1: Nachwachsende Rohstoffe, Anbauflächen in Deutschland (ha) für das Jahr 2004	11
Tabelle 2: Anbauflächenpotentiale für Energiepflanzen auf Acker- und Grünlandflächen nach Jahren	26
Tabelle 3: Ausgewählte einheimische Pflanzen zur stofflichen Verwertung und deren Rohstoffe als Inhaltsstoffe verschiedener Produkte (Anbauvoraussetzungen in Deutschland gegeben)	30
Tabelle 4: Entwicklung von Biodiesel-Absatz und -Produktionskapazität 1998-2004 in Tsd. Tonnen.....	41
Tabelle 5: Beispielhafte Humusbilanz verschiedener Fruchtfolgen.....	53
Tabelle 6: Verhalten von Humusgehalt und Bodenorganismen gegenüber Bewirtschaftungsmaßnahmen von Ackerland.....	54
Tabelle 7: Auswahl möglicher Pflanzen für die Zweikulturnutzung	76

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Die Energieversorgung in Deutschland basiert weitgehend auf der Nutzung von Kernbrennstoffen und fossilen Brennstoffen. Die Nutzung Erneuerbarer Energien hat jedoch in den letzten Jahren vor allem durch die Förderbedingungen des Erneuerbare Energien Gesetzes erheblich an Bedeutung gewonnen. 2004 stieg der Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf 10 %¹. Zu den wichtigsten Gründen ihren Ausbau voranzutreiben, zählte die Verringerung der Abhängigkeit von Ölimporten, das Ziel des Atomausstiegs sowie arbeitsmarktpolitische Argumente.

Vor diesem Hintergrund sollen Erneuerbare Energien bis 2010 einen Anteil von mindestens 12,5 % am Stromverbrauch erzielen². Bis 2020 soll dieser Anteil auf 20 % anwachsen³. 2050 schließlich sollen die Erneuerbaren Energien mindestens 50 % an der Gesamtenergieversorgung ausmachen^{4, 5}.

Auf europäischer Ebene sind zudem die Ziele der Richtlinie 2003/30/EG zur Erhöhung des Anteils von Biokraftstoffen maßgeblich.⁶

Die Nutzung von Bioenergie spielt im Mix der Erneuerbaren Energien bereits jetzt eine besondere Rolle: Mehr als die Hälfte der gesamten Endenergie aus erneuerbaren Energiequellen wurde 2003 durch Biomasse bereitgestellt. Im Gegensatz zu etwa Sonnen- oder Windenergie bietet Bioenergie zudem den Vorteil, dass sie jederzeit gebunden in Biomasse vorliegt und somit einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit leistet. Auch zukünftig birgt der Bereich der Bioenergienutzung große Entwicklungspotentiale: Gemäß einer Studie unter Federführung des Öko-Instituts⁷ können bei konsequenter Nutzung der Potentiale aus Reststoffen und Flächen zum

¹ Der Beitrag der Erneuerbaren Energien zum Primärenergieverbrauch Deutschlands betrug 2003 3,1% (Gesamtprimärenergieverbrauch Deutschlands: 14.334 PJ/a). BMU 2005, BMU 2004a. Neben dem EEG 2004 gehen weitere Förderimpulse u.a. vom „Marktanreizprogramm erneuerbare Energien“ und der Mineralölsteuerbefreiung für biogene Kraftstoffe aus.

² Als Richtziel verankert in der 2001 verabschiedeten „Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Elektrizitätsbinnenmarkt“ (2001/77/EG vom 27.09.2001).

³ vgl. EEG 2004, §1, Abs. 2 festgeschrieben

⁴ vgl. BMU 2004b

⁵ Im Falle eines Regierungswechsels zu einer CDU-geführten Bundesregierung im Herbst 2005, kündigte Kanzlerkandidatin Angela Merkel an, das rot-grüne Regierungsziel eines Anteils von 20 Prozent Strom aus erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2020 nicht mehr zu verfolgen (Merkel 2005). Bei der Förderung nachwachsender Rohstoffe will die Union den Kurs von Rot-Grün wahrscheinlich aber weitgehend fortführen. Die stellvertretende Vorsitzende der CDU/CSU Bundestagsfraktion Gerda Hasselfeld äußerte sich diesbezüglich: "Wir stehen zum Erneuerbare-Energien-Gesetz. Die Förderung von Biomasse steht für uns außer Frage" (Hasselfeld 2005)

⁶ Mit dieser Richtlinie wurden Richtwerte für Mindestanteile an Biokraftstoffen im Kraftstoffmarkt beschlossen. Als Bezugswert gilt ein Anteil von Biokraftstoffen von 2 % aller Otto- und Dieselmotorkraftstoffe, die auf den relevanten Märkten bis zum 31. Dezember 2005 angeboten werden. Bis zum 31. Dezember 2010 soll der Marktanteil der Biokraftstoffe gemäß der Richtwerte auf 5,75 % ansteigen.

⁷ Öko-Institut 2004a

Anbau von Energiepflanzen bis 2030 gut 15% des Stroms, 10% der Wärme und 15% des Treibstoffs für PKW aus Biomasse erzeugt werden ohne auf einen ausgewogenen Naturschutz zu verzichten⁸. Insbesondere durch die Vergütungsregelungen des im EEG 2004 eingeführten Bonus für nachwachsende Rohstoffe (NawaRo-Bonus)⁹ kommt es aktuell zu einer verstärkten Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen.

Eine Ausweitung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe führt zu einer Steigerung der regionalen Wertschöpfung des ländlichen Raumes sowie zur Sicherung und Schaffung neuer Arbeitsplätze, durch die auch in der Land- und Forstwirtschaft neue Produktions- und Einkommensalternativen erschlossen werden können.

Mit dem zunehmenden Anbau nachwachsender Rohstoffe besteht jedoch auch die Gefahr, dass sich Belastungen wie sie zum Teil bereits durch die konventionelle landwirtschaftliche Produktion bestehen, verstärkt werden. Durch die weitere Intensivierung und Umwidmung von Flächen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe kann es zu einer Verstärkung dieser Belastungen und Risiken kommen, wie etwa dem großflächigen Anbau in Monokulturen und dem Einsatz von Pestiziden.

1.2 Ziele des Gutachtens

Das Umweltbundesamt prüft, ob die oben benannten Ziele zum Ausbau nachwachsender Rohstoffe nachhaltig zu erreichen sind und wird dazu ein Positionspapier erarbeiten. Das vorliegende Gutachten dient der Unterstützung des UBA bei der Erstellung eines solchen Papiers bezogen auf den Teilbereich Boden. Ziel ist es, Auswirkungen des verstärkten Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf die Bodenqualität zu ermitteln¹⁰. Dazu wurden bestehende Forschungsergebnisse zusammengestellt und erste Vorstellungen für Anforderungen des vorsorgenden Bodenschutzes beim Anbau nachwachsender Rohstoffe formuliert.

Das Gutachten dient zudem der inhaltlichen Vorbereitung eines Expertenworkshops im Oktober 2005. Ziel des Workshops ist es, die Inhalte des Gutachtens zu vertiefen und zu diskutieren. Darauf aufbauend sollen Empfehlungen zum bodenschutzverträglichen Anbau von nachwachsenden Rohstoffen abgeleitet werden.

⁸ Andere Prognosen beziffern den Beitrag zur Stromversorgung bis 2030 auf rund 16 %, 10 % der Wärme und 12 % des Kraftstoffs für PKW (DBV et al 2005).

⁹ NawaRo-Bonus gemäß EEG 2004, §8, Abs. 2. Die Sondervergütung von 2,5 bis 6 Cent/kWh beim ausschließlichen Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen gilt für die Stromerzeugung „aus Pflanzen oder Pflanzenbestandteilen, die in landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben oder im Rahmen der Landschaftspflege anfallen und die keiner weiteren als der zur Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden“. Siehe dazu auch die „Beispielhafte Liste von Stoffen, die zum Bezug des NawaRo-Bonus berechtigen“ des Fachverband Biogas e.V., online unter <http://www.biogas.org/>

¹⁰ Eine Gesamtökobilanz der Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Bezug auf das Schutzgut Boden kann an dieser Stelle nicht erfolgen. Vielmehr wird sich auf den Aspekt des Anbaus konzentriert. Ebenfalls wird auf die Verwertbarkeit von Reststoffen aus Bioenergieanlagen sowie deren Bodenauswirkungen eingegangen.

1.3 Grenzen der Untersuchung

Nachwachsende Rohstoffe sind land- und forstwirtschaftlich erzeugte Produkte, die einer Verwendung im Nichtnahrungsbereich zugeführt werden¹¹. Der Untersuchungsbereich grenzt sich damit von der Biomasse ab, welche die gesamte durch Pflanzen, Tiere und Menschen anfallende oder erzeugte organische Substanz umschreibt¹². Organische Nebenprodukte (z.B. Gülle, Industrieholz) und organische Abfälle (Klärschlamm, Schlachthofabfälle etc.) werden somit nicht untersucht.

Auch die Betrachtung von Abfällen aus der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung soll nicht Gegenstand dieser Analyse sein¹³. Eine eingeschränkte Betrachtung von Ernte- und Landschaftspflegerückständen erfolgt in Kapitel 2.2.3 und 4.5. Das Gutachten konzentriert sich auf die energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen¹⁴, da in diesem Bereich – bedingt durch die oben genannten energiepolitischen Zielstellungen und Förderungen - weiterhin große Wachstumspotentiale bestehen. Auf die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe wird in Kapitel 3.1.4 näher eingegangen.

1.4 Gliederung

Das vorliegende Gutachten untergliedert sich in vier inhaltliche Teile. Zunächst wird im Rahmen des Kapitels „Flächenpotenziale zum Anbau nachwachsender Rohstoffe“ (Kapitel 2) untersucht, welche und in welchem Umfang Flächen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe zur Verfügung stehen sowie mögliche Flächennutzungskonkurrenzen erläutert.

Im 3. Kapitel wird auf die Nutzungsoptionen nachwachsender Rohstoffe eingegangen, Technologien zur energetischen Nutzung vorgestellt, sowie das energetische Potential nachwachsender Rohstoffe ermittelt. Dabei werden nur diejenigen Technologien betrachtet, die derzeit und mittelfristig die größten Nutzungspotentiale aufweisen. Auf diesem Weg und basierend auf der aktuellen Diskussion über das Spektrum nutzbarer Energiepflanzen wird die Nachfrage an bestimmten Kulturarten ermittelt. Die so identifizierten wesentlichen Energiepflanzen werden im folgenden Schritt hinsichtlich der Bodenauswirkungen ihres Anbaus untersucht.

¹¹ Definition der Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (FNR)

¹² Definition des Centrale- Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk (C.A.R.M.E.N.)

¹³ Auch die Sondervergütung für die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen (der sog. NawaRo-Bonus) gemäß EEG 2004, §8, Abs. 2 gilt für die Stromerzeugung „aus Pflanzen oder Pflanzenbestandteilen, die in landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben oder im Rahmen der Landschaftspflege anfallen und die keiner weiteren als der zur Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden“. Siehe dazu auch die „Beispielhafte Liste von Stoffen, die zum Bezug des NawaRo-Bonus berechtigen“ des Fachverband Biogas e.V., online unter <http://www.biogas.org/> .

¹⁴ Die Begriffe „Energiepflanzen“ und „Nachwachsende Rohstoffe“ (zur energetischen Nutzung) werden im Folgenden daher zumeist synonym verwendet.

Das 4. Kapitel „Auswirkungen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf die Bodenqualität“ bildet den Schwerpunkt der Untersuchung. Hier wird die im vorangegangenen Kapitel ermittelte Auswahl der für die kurz- und mittelfristige energetische Nutzung aktuell am meisten diskutierten Energiepflanzen bezüglich ihrer Bodenauswirkungen untersucht. Im Mittelpunkt stehen dabei Belastungen durch Bodenerosion, Schadverdichtungen von Böden, Eutrophierung von Biotopen und Belastung mit Pflanzenschutzmittelwirkstoffen (PSM) sowie der Einfluss auf den Gehalt an organischer Bodensubstanz. Dabei werden auch verschiedene Anbauformen berücksichtigt. Zudem wird die Verwertbarkeit der Abfälle aus Bioenergieanlagen untersucht. Eine Übersicht, die Bioenergieanlagen, Kulturpflanzen und Bodenauswirkungen zueinander in Verbindung stellt, findet sich in Kapitel 4.5.

Abschließend werden rechtliche Integrationsmöglichkeiten des vorsorgenden Bodenschutzes beim Anbau nachwachsender Rohstoffe skizziert (Kapitel 5) sowie eine Zusammenfassung der Ergebnisse gegeben (Kapitel 6 und 7).

2 Flächenpotenziale zum Anbau nachwachsender Rohstoffe

Ob die Nutzung nachwachsender Rohstoffe weiter ausgeweitet werden kann, hängt neben anderen Faktoren¹⁵ wesentlich mit der verfügbaren Fläche für deren Anbau zusammen. Nachfolgend soll zunächst der aktuelle Umfang der Flächennutzungen für nachwachsende Rohstoffe dargestellt werden. Anschließend werden die für einen Anbau verfügbaren Flächennutzungstypen analysiert sowie Flächennutzungstrends aufgezeigt. Darauf aufbauend wird das Flächennutzungspotenzial erörtert.

2.1 Aktuelle Flächennutzung

Die heutige Anbaufläche für Nachwachsende Rohstoffe in Deutschland erfolgt auf (ehemaligen) Acker- und Grünlandflächen¹⁶ und beträgt rund 1 Mio. ha (siehe Tabelle 1). Dies entspricht ca. 6% der Ackerflächen Deutschlands¹⁷. Der Großteil der Flächen wurde dabei für die Herstellung von Rapsöl zur Weiterverarbeitung zu Biodiesel genutzt.

Rohstoff	Basisfläche	Stilllegungsfläche
Stärke	125.000	
Zucker	7.000	
Rapsöl	650.000	209.907
Sonnenblumenöl	10.000	747
Leinöl	3.000	96
Faserpflanzen	1.500	
Heilstoffe	4.000	465
Sonstiges		3.902
Energiepflanzen	27.000	
Summe	827.500	215.117
Anbau insgesamt	1.042.617	

Tabelle 1: Nachwachsende Rohstoffe, Anbauflächen in Deutschland (ha) für das Jahr 2004¹⁸

¹⁵ Technische, wirtschaftliche, politische, standörtliche, pflanzliche etc. (vgl. ILN 2005)

¹⁶ IFEU, IUS 2004

¹⁷ Die landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) betrug 2004 in Deutschland 17,020 Millionen ha. (BMVEL 2005b)

¹⁸ vgl. Bundesregierung 2005

2.2 Verfügbare Flächennutzungstypen

2.2.1 Landwirtschaftliche Flächen

Bei der Produktion von nachwachsenden Rohstoffen in der Landwirtschaft gibt es derzeit zwei übergeordnete Tendenzen: Einerseits die Maximierung von Biomasserträgen pro Flächeneinheit auf produktiven Standorten, andererseits die Minimierung von Arbeits- und Stoffeinsatz bei der Bestellung von Kulturen auf Standorten mit geringem Ertragspotential. Aufgrund der geringeren Qualitätsanforderungen im Vergleich zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion, könnte der Anbau von Energiepflanzen insbesondere an diesen Standorten an Bedeutung gewinnen¹⁹. Neben den Ertragszielen sind bei den extensiven Anbauvarianten Synergieeffekte im Bereich des Umwelt und Naturschutzes erwünscht. In Systemen mit bislang niedrigem Trophie-niveau (Magerstandorte) könnte der Anbau von Energiepflanzen jedoch auch zu erheblichen negativen Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Artengemeinschaften und die Artendichte führen, wenn damit eine erhöhte Nährstoffzufuhr verbunden ist.²⁰ Ein Umbruch von wertvollen Grünlandflächen für den Anbau von Energiepflanzen sollte aus Naturschutzsicht ausgeschlossen werden²¹.

Zudem ist der Anbau von Energiepflanzen auf landwirtschaftlichen Flächen zugelassen, die im Rahmen des Eu-Flächenstilllegungsprogramms aus der Nahrungsmittelproduktion genommen wurden.²²

Beim Anbau von Energiepflanzen auf nicht stillgelegten Flächen wird den Erzeugern eine Energiepflanzenprämie in Höhe von 45 EUR/ha gewährt, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind²³. 2004 wurde die Energiepflanzenprämie für 112.702 ha in Anspruch genommen. Davon waren 81.434 ha Raps zur Biodieselherstellung. Der Rest von 31.268 ha wird u. a. zur Beschickung von Biogasanlagen genutzt²⁴.

2.2.2 Forstwirtschaftliche Flächen

Mit einer Fläche von 10.7 Mio. ha sind 31% der Fläche Deutschlands bewaldet²⁵. Davon sind 56% mit Nadelwald, 25% mit Laubwald und 18% mit Mischwald

¹⁹ ILN 2005

²⁰ Lübbecke et al 2005

²¹ Ökoinstitut 2004b, UBA 1991

²² vgl. FNR 2000a

²³ Mit der EU-VO 237/2003 hat die EU-Kommission die Durchführungsbestimmungen für die Beihilfe für Energiepflanzen veröffentlicht (EU-Amtsblatt L 339 vom 24.12.2004). Die Durchführungsbestimmungen lehnen sich sehr stark an die geltenden Bestimmungen für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf stillgelegten Flächen an (EU-VO 2461/99). Die wesentlichen Unterschiede sind: Alle Kulturpflanzen, ausgenommen Zuckerrüben, können angebaut werden, wenn ihr hauptsächlicher Verwendungszweck die energetische Nutzung ist.

²⁴ Bundesregierung 2005

²⁵ IE 2004b

bestanden.²⁶ Der jährliche Zuwachs bzw. das theoretische Rohholzpotenzial beträgt 45 Mio. t atro²⁷. Vom jährlichen Zuwachs abgeschöpft werden etwa 55 %. Entsprechend groß ist der Anteil des ungenutzten Zuwachses am technischen Rohholzpotenzial.²⁸ Auch aus diesem Grund wird die Ausweitung der energetischen Nutzung von Waldholz diskutiert.

Dabei steht momentan aus wirtschaftlichen Gründen das bei der Durchforstung anfallende Schwachholz sowie das Waldrestholz im Mittelpunkt. Eine Entnahme dieses Holzes ist naturschutzfachlich nicht unproblematisch. Es müssen mindestens die Vorgaben der guten fachlichen Praxis eingehalten werden. Die Entnahme muss standortangemessen durchgeführt werden, um eine Auszehrung des Bodens durch Nährstoffentzug²⁹, Bodenversauerung etc. zu vermeiden.³⁰ Im Sinne einer naturschutzverträglichen Nutzung sind ggf. lokal angepasste maximale Entnahmemengen festzulegen und Schutzgebietsverordnungen an den neuen Nutzungsdruck anzupassen.³¹

Das höherwertige Stammholz wird derzeit generell einer stofflichen Nutzung zugeführt. Ein Wettbewerb zwischen stofflicher und energetischer Nutzung ist für das Stammholz mittel- bis langfristig auch nicht zu erwarten³². Allerdings ist nicht auszuschließen, dass bei einer entsprechenden regionalen Nachfrage ein Trend zur großflächigen und effizienten Neuanlage bzw. -nutzung von Kurzumtriebsplantagen einsetzt.³³ Gemäß einer Studie des ILN (2005) ist jedoch kurz- bis mittelfristig nicht mit einer gravierenden Veränderung durch Erstaufforstungen, Bestandsbegrünung und Waldumbau für die Strom- und Wärmeproduktion zu rechnen.

Als bisher wenig genutzte Alternative zu Kurzumtriebsplantagen mit schnellwüchsigen Hölzern wird von Naturschutzseite oft das System der traditionellen Niederwald-, Mittelwaldnutzung³⁴ diskutiert und angestrebt³⁵. Hier sei ein größeres Flächenpotenzial vorhanden. Mit einer zunehmenden Nachfrage nach Holzhackschnitzeln für die Wärme und Stromproduktion könnten sich hier für die Pflege der verbliebenen Nieder- und

²⁶ Temperate and Boreal Forest (TBFRA), zitiert in IE 2004b

²⁷ Abkürzung für "absolut trocken"

²⁸ Das technische Rohstoffpotential aus Zuwachs beträgt 17.412 Mio. t atro. Quelle: European Forest Sector Outlook Studies (EFSOS), zitiert in IE 2004b. Alle Werte beziehen sich auf das Jahr 2001. Zitiert in: IE 2004b

²⁹ Zur Frage, welche Nährstoffmengen bei der Entnahme von Waldenergieholz tatsächlich dem Kreislauf entzogen werden und unter welchen Standortbedingungen die zu kritischen Beeinträchtigungen der Nährstoffbilanz führt, besteht weiterer Forschungsbedarf (ILN 2005).

³⁰ Ammermann 2004

³¹ Vogtmann 2004

³² vgl. Marutsky 2003, zitiert in ILN 2005

³³ ILN 2005

³⁴ Die Gehölzbestände werden dabei periodisch auf den Stock gesetzt und regenerieren sich durch Ausschläge an den nach dem Hieb verbliebenen vegetativen Gehölzteilen.

³⁵ insbesondere auf Grund der besonderen Habitatvielfalt und des daraus resultierenden Artenreichtums, Vgl. u.a. ILN 2005, Lübbecke et al 2005, IFEU, IUS 2004

Mittelwälder³⁶ neue Perspektiven ergeben.³⁷ Nachteile liegen jedoch insbesondere in Steillagen in längeren Umtriebszyklen sowie in der Gefahr der Bodenerosion.³⁸

In jedem Fall kann der Anbau bzw. die Nutzung von Energieholz auch mit Auswirkungen auf den Boden verbunden sein. Im Gegensatz zur Landwirtschaft³⁹ legt das BNatSchG für die Forstwirtschaft aber bislang Ziele⁴⁰, nicht aber die gute fachliche Praxis als Maßstab für die naturschutzgemäße forstliche Nutzung fest. Angesichts der geplanten Novellierung des BWaldG beschäftigte sich das Freiburger Institut für Forstpolitik im Auftrag des BfN mit der Frage, welche Kriterien die gute fachliche Praxis in der Forstwirtschaft beschreiben könnten. Auf der Grundlage aktueller Forschungsergebnisse sowie Literaturlauswertungen erarbeiteten Georg Winkel und Prof. Dr. Karl-Reinhard Volz⁴¹ eine 17-Punkte-Liste, die als „Mindestschwelle naturschutzfachlicher Anforderungen an das Handeln der Forstwirtschaft“ und somit aus Sicht dieser Autoren als Grenze der Sozialpflichtigkeit des Eigentums nach Artikel 14 Absatz 2 GG betrachtet werden können⁴². Zu den bodenrelevanten und für den Anbau nachwachsender Rohstoffe relevanten Kriterien zählen u.a.:

- Befahren des Waldbodens: Die Befahrung der Waldböden sollte sich auf wiederauffindbare (bzw. dokumentierte) Erschließungslinien beschränken.
- Bodenbearbeitung, Walderschließung: Schonung des Waldbodens, Beschränkung der Bodenbearbeitung auf ein absolut notwendiges Maß.
- Düngung des Waldes: Forstliche Düngung orientiert sich am Prinzip der Standortlichkeit. Keine Verwendung von stickstoffhaltigen Düngern. Ausnahmen (beispielsweise in Waldschadensgebieten) bedürfen einer Genehmigung.
- Kahlhiebverbot: auf allen Flächen größer als 0,5 ha, wenn infolge dieser Nutzung eine erhebliche Beeinträchtigung des Bodens und der Bodenfruchtbarkeit zu befürchten ist

2.2.3 Flächen für Naturschutz und Landschaftspflege

Bei der Park-, Landschafts- und Naturschutzpflege fallen erhebliche Reststoffmengen an. Überwiegend handelt es sich hierbei um Grasschnitt aus der extensiven Grünlandpflege, Strauchschnitt aus der Gehölz- und Offenlandpflege und Gehölz-

³⁶ ca. 1% des Wirtschaftswaldes (BMELF 1994)

³⁷ ILN 2005

³⁸ vgl. Lübbecke et al 2005

³⁹ Die Konkretisierung des Begriffs der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft wurde 2002 in die Neufassung des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) aufgenommen.

⁴⁰ § 5 Abs. 5 BNatSchG

⁴¹ Winkel, Volz 2003

⁴² vgl. Schulte, Krüger 2005

schnitt⁴³. Die verfügbaren Mengen lassen sich aufgrund der Vielfältigkeit der Schutzräume und Pflegeaktivitäten und der außerordentlich lückenhaften Datenlage mit dem gegenwärtigen Kenntnisstand nicht zufriedenstellend darstellen⁴⁴. Schätzungen von Kaltschmitt (2004) zu Folge umfassen Landschaftspflegeflächen ca. 400.000 ha. Weitere 119.000 ha sind öffentliche Grünflächen und Sportanlagen. Schnittgut aus Straßenrandpflege fällt von ca. 231.000 km an. Von den gesamten Abfällen sind ca. ein bis zwei Drittel energetisch nutzbar, bei Landschaftspflegegut etwa ein Viertel bis die Hälfte.⁴⁵

Die energetische Nutzung des Schnittguts wird dabei aus Naturschutzsicht positiv bewertet⁴⁶. Auch bei Flächen artenreichen Grünlands, das zur Produktion klassischer landwirtschaftlicher Güter (heute) nicht benötigt wird, könnte die Abfuhr und energetische Verwertung des Aufwuchses und der damit verbundene Nährstoffentzug (Aushagerung) die Landschaftspflege unterstützen und positiv auf den Artenreichtum wirken.⁴⁷ In Schutzgebieten ist eine Bewirtschaftung nur im Sinne der Schutzgebietsverordnung möglich⁴⁸.

Der Pflegeschnitt kann jedoch aus technischen und logistischen Gründen teilweise nicht genutzt werden. Hierzu zählt insbesondere die Nutzung von „technisch problematischem“ Pflegeschnitt, z.B. Schnittgut von Sträuchern oder seggenreichem Grünschnitt, deren energetische Nutzung bisher vor Problemen steht⁴⁹. Zudem gilt das Material als zu feucht und bei einem geringen Aufkommen lediglich saisonal nutzbar⁵⁰. Insgesamt zeigen diese Biomassen zudem vergleichsweise hohe Bereitstellungskosten, so dass ihre Nutzung nur bei gezielten Maßnahmen realisierbar ist und damit unter den gegenwärtigen Randbedingungen in der Regel keine signifikante Relevanz aufweist.⁵¹

Chancen für eine kostendeckende Bewirtschaftung könnten sich bei der Pflege von Niedermoorstandorten ergeben. Diese sind insbesondere seit dem letzten Jahrhundert größtenteils durch Kultivierung in ihrer Funktion zerstört oder geschädigt. Um eine nachhaltige und verträgliche Nutzung von durch Kultivierung degradierten Niedermoorstandorten zu gewährleisten, müssen zukünftige Nutzungs-

⁴³ IFEU, IUS 2004. Exemplarisch sei hier Baden-Württemberg genannt. Hier fallen jährlich ca. 900.000 t Grüngut von Naturschutz- und Biotopflächen und 300.000 t kommunale Grünabfälle an (Lemmer, A., mdl. 2003, zitiert in: ILN 2005)

⁴⁴ IE 2004a

⁴⁵ Kaltschmitt 2004

⁴⁶ Da der Landschaftspflegeschnitt unabhängig von seiner späteren Verwertung gemäß den Vorgaben von Naturschutz und Landschaftspflege anfällt, gehen von der Bereitstellung des Landschaftspflegeschnitts zur energetischen Nutzung keine Wirkfaktoren aus. Denkbar ist lediglich eine aus der verlängerten Lagerung auf der Fläche (etwa in Abhängigkeit von der Absatzsituation) resultierende Erhöhung des Nährstoffeintrags durch Auswaschung (IFEU, IUS 2004).

⁴⁷ Lübbecke et al 2005

⁴⁸ vgl. Ammermann 2004

⁴⁹ IFEU, IUS 2004

⁵⁰ vgl. ILN 2005

⁵¹ IE 2004a, ILN 2005

formen u.a. die Degradierung und den Torfverbrauch zum Schutz des Bodens beendigen. Der Anbau von torfbildenden Pflanzen wie Schilf, Seggen, Rohrkolben oder Erlen zur energetischen Nutzung auf wiedervernässten Niedermoorstandorten bietet nach Ansicht von Wichtmann und Koppisch (1998)⁵² u.U. die Chance zur standorterhaltenden und kostendeckenden Bewirtschaftung. Besonders mit Schilfbeständen (*Phragmites australis*) können im Vergleich zu andern Sumpfpflanzenarten die größten Biomasseerträge erzielt werden. Zur Erprobung von Anbaualternativen wurde im Rahmen eines von der DBU von 1995-1998 geförderten Verbundprojektes ein bisher als intensives Grasland genutzter, degradierter Niedermoorstandort wiedervernässt und Schilf als standorttypische Vegetationsform angepflanzt. Der Erntevorgang kann allerdings Bestand und Boden schädigen. Wichtmann (2003) schätzt das Flächenpotential zum Anbau energetisch nutzbarer Biomasse auf wiedervernässten Niedermoorstandorten in Norddeutschland auf fast 210.000 ha.⁵³

Auch das Holz aus der Pflege von historischen Kulturelementen, wie der „Wallhecken“ - in Schleswig-Holstein auch „Knicks“⁵⁴ genannt - kann energetisch genutzt werden und somit zur Kostendeckung der Pflege beitragen. Allein in Schleswig-Holstein fällt Knickholz aus rund 46.000 Kilometern Hecken an⁵⁵.

2.2.4 Sonstige Flächen

Theoretisch können neben land- und forstwirtschaftlichen Flächen sowie Naturschutzflächen auch anderen Flächen wie Brachen⁵⁶, Altlastenflächen, ehemaligen Tagebauflächen und Deponien für den Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt werden. Dabei können nachwachsende Rohstoffe auch der Phytoextraktion kontaminierter Böden dienen⁵⁷.

Für Braunkohletagebaufolgeflächen gibt es bereits Ansätze für eine Nutzung von Energiepflanzen.⁵⁸ Bereits seit 1990 wurden zahlreiche Flächen in eine land- und forstwirtschaftliche Nutzung überführt, auf denen auch der Anbau nachwachsender Rohstoffe möglich ist.

⁵² zitiert in ILN 2005

⁵³ zitiert in ILN 2005

⁵⁴ ein- oder mehrreihige Hecken, die i.d.R. auf Erdwällen, zum Teil aber auch auf ebener Erde.

⁵⁵ vgl. ILN 2005

⁵⁶ Flächen ehemaliger Industrie-, Gewerbe-, Wohn- oder Verkehrsnutzung sowie ehemalige militärische Übungsplätze und Tagebauflächen

⁵⁷ Hier sei auf das Projekt „Erneuerbare Energien durch Biomasse aus der Phytoextraktion kontaminierter Böden“ am Clausthaler Umwelttechnik-Institut verwiesen (Laufzeit von 1.10.2003 bis 30.9.2005).

⁵⁸ vgl. Arbeitsgemeinschaft Büro für Gartenkunst und Landschaftsarchitektur et al 2001. Ein Beispiel für die Nutzung von ehemaligen Tagebauflächen für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen stellt z.B. auch die „Energiewirtschaft Welzow“ dar. Dieses Projekt ist Teil der IBA „Fürst-Pückler-Land“ in der Lausitz statt. (online: <http://www.iba-see.de/web.NET/MjU=9/1/24%20Projekte.html>, zuletzt aufgerufen am 22. Februar 2006)

Vor dem Hintergrund eines täglich zunehmenden Flächenverbrauchs in Deutschland von ca. 120 ha gewinnt auch das Flächenrecycling von innerörtlichen Brachen an Relevanz⁵⁹. Diese umfassten im Jahre 2000 ca. 190.000 ha⁶⁰. Jedoch bestehen derzeit nahezu keine Erfahrungen zum Anbau von Energiepflanzen auf Brachen. Problematisch ist bei diesen Flächen vor allem, dass eine herkömmliche landwirtschaftliche Bodenbearbeitung dieser Standorte i.d.R. nicht möglich ist. Dabei sind u.a. Bodenkontaminationen, Bodenverdichtungen sowie Durchmischung der Böden mit technogenen Substraten sowie die Zersplitterung und die Kleinflächigkeit vieler Brachflächen ein Problem für einen rentablen Energiepflanzenanbau. Aufgrund dieser Standortbedingungen stellen schnellwachsende Baumarten im Vergleich zu annuellen Kulturen das größere Potenzial dar. Zusätzlich wird das Recycling dieser Flächen auch durch fehlende Rechts- und Planungssicherheit und einen hohen Zeit- und Verwaltungsaufwand behindert.⁶¹

Ebenfalls wenige Erfahrungen gibt es beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf Deponien. Für den Anbau der Energiepflanzen Miscanthus und Switchgrass (*Panicum virgatum*) gibt es jedoch eine bundesweit erste Versuchsfläche auf der Deponie Pritzwalk Sommersberg. Der Anbau erfolgt seit 3 Jahren und verfolgt auch das Ziel der Bodensanierung. Das Projekt ist eine Kooperation des Landkreis Prignitz und der Universität Bonn, dort unter Leitung von Dr. Pude. Sollte sich der Anbau dieser Pflanzen deponietechnisch bewähren, ist eine Ausweitung des Konzeptes auf die Deponie Wittenberge geplant. Gespräche mit den örtlichen Bauern wurden diesbezüglich schon geführt.⁶² Zudem sei auf das 2004 durchgeführte Projekt der TU Braunschweig verwiesen, die im Rahmen des Projektes „Nachnutzung von Deponien für den Naturschutz“ auch Abschätzungen der Potenziale für die Produktion nachwachsender Rohstoffe vorgenommen haben.

2.3 Flächennutzungstrends und Flächenkonkurrenzen

Neben einem Ausbau nachwachsender Rohstoffe gibt es weitere Flächennutzungsansprüche, zu dem ein Energiepflanzenanbau z.T. in Konkurrenz steht oder die dessen Anbau in anderweitiger Hinsicht beeinflussen. Nachfolgend sollen die wichtigsten Einflussfaktoren erläutert werden. Neben der Energie-, Klima- und Wirtschaftspolitik spielt hier insbesondere die EU-Agrarpolitik eine große Rolle.

⁵⁹ Unter Umständen kann der Anbau nachwachsender Rohstoffe dabei auch zur Sanierung (Phytoremediation) der oft mit Schadstoffen belasteten Böden beitragen.

⁶⁰ UBA 2003

⁶¹ Schrenk 2000

⁶² Telefonat am 25.07.2005 mit Manfred Lokatis, Leiter des Sachbereich Abfallwirtschaft/ÖPNV Landkreis Prignitz.

2.3.1 Flächenauswirkungen der EU-Agrarpolitik

Die Entwicklung der in Deutschland für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung stehenden Flächen, muss vor dem Hintergrund der EU-agrarpolitischen Entwicklungen gesehen werden. Welche genaueren Auswirkungen die Agrarreform auf die Verfügbarkeit von Flächen haben wird, kann nach heutigem Kenntnisstand noch nicht eindeutig beantwortet werden.⁶³ Jedoch beeinflussen die Ausgestaltung des Förderinstrumentariums und die Festlegungen zu den jeweils aktuellen Förderprämien die Entscheidungen der Landwirte für oder gegen den Anbau nachwachsender Rohstoffe nicht unerheblich.⁶⁴ Hierbei sind insbesondere folgende Einflüsse von Relevanz⁶⁵:

- **Flächenstilllegungen:** Der Stilllegungssatz der im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik stillgelegten Flächen beträgt generell 10 % der sog. Marktordnungsfrüchte (Getreide, Öl- und Eiweißpflanzen).⁶⁶ Auf Stilllegungsflächen dürfen nachwachsende Rohstoffe angebaut werden, sofern die Durchführungsbestimmungen der EG-Verordnung Nr. 1973/2004 und der nationalen InVeKoS-Verordnung eingehalten werden. Die sog. konjunkturelle Flächenstilllegung umfasst in Deutschland derzeit fast 1,2 Mio. ha. Davon entfallen rund 850.000 ha auf obligatorische Stilllegung und rund 330.000 ha auf freiwillige Stilllegung. Auf beiden Flächenkategorien können nachwachsende Rohstoffe angebaut werden. In Deutschland werden derzeit rund 350.000 ha der Stilllegungsfläche durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt.⁶⁷
- **Energiepflanzenprämie:** Für den Energiepflanzenanbau gibt es eine zusätzliche gekoppelte Flächenprämie (CO₂-Kredit) in Höhe von 45 €/ha, von der allerdings keine nennenswerte Angebotswirkung zu erwarten ist⁶⁸.
- **Zuckerrübenanbauflächen:** Die europäische Zuckermarktordnung gilt noch bis zum Jahr 2006. Danach ist eine grundlegende Reform von der EU-Kommission vorgeschlagen worden, die im Zeitraum 2006 - 2012 umgesetzt werden soll. Bei einer vollständigen Liberalisierung des Zuckermarktes würde die Zuckerproduktion aufgrund deutlich niedrigerer Preise und hoher Importe aus Übersee stark sinken und damit auch die erforderliche Anbaufläche zurückgehen. In

⁶³ Lübbecke et al 2005

⁶⁴ vgl. ILN 2005.

⁶⁵ Die nachfolgende Auflistung unterliegt keiner Gewichtung.

⁶⁶ IE 2004a

⁶⁷ IE 2004a

⁶⁸ Vgl. Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 des Rates vom 29. September 2003 mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe, Artikel 88 und Verordnung (EG) Nr. 1973/2004 der Kommission vom 29. Oktober 2004 mit Durchführungs vorschritten zu der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 des Rates hinsichtlich der Stützungsregelungen nach Titel IV und IVa der Verordnung und der Verwendung von Stilllegungsflächen für die Erzeugung von Rohstoffen. Der Anbau und die Nutzung nachwachsender Rohstoffe ist durch die VO (EG) 2461/1999 – geändert durch VO (EG) 827/2000 und VO (EG) 2555/2000 - geregelt. Der Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden ist erlaubt.

Deutschland würden dann von der derzeitigen Rübenanbaufläche insgesamt etwa 300.000 ha für Biomasseproduktion oder Flächenstilllegung freigesetzt⁶⁹.

- **Entkopplung der Zahlungen:** Die im Zuge der GAP-Reform 2003 beschlossene schrittweise Entkopplung der produktionsbezogenen Zahlungen führt dazu, dass ab dem Jahr 2013 - von wenigen Ausnahmen abgesehen - eine Flächenprämie gezahlt wird. Diese Zahlung ist unabhängig davon, ob auf den Flächen produziert wird oder eine Flächenpflege durchgeführt wird. In Deutschland wird die Einkommenszahlung nach der Entkopplung im Durchschnitt des Bundesgebietes 328 €/ha landwirtschaftlich genutzte Fläche betragen. Sie schwankt allerdings von Bundesland zu Bundesland zwischen 265 €/ha - 360 €/ha. Auch durch die Entkopplung der produktbezogenen Prämien der Milch- und Rindfleischproduktion ab 2009 ergeben sich hier Flächenpotentiale. Diese werden auf 1- 1,5 Mio. ha geschätzt⁷⁰.

2.3.2 EU-Erweiterung

Durch die Erweiterung der EU um 10 neue Mitgliedsstaaten wächst der Pro-Kopf-Anteil der Ackerfläche⁷¹. Mittelfristig könnten hier landwirtschaftliche Nutzflächen für die Nahrungsmittelproduktion aufgegeben werden und für den Anbau nachwachsender Rohstoffe zur Verfügung stehen⁷².

2.3.3 Flächenverbrauch und Flächenkonkurrenzen

Da vielfältige Flächenansprüche bestehen, muss die Flächennutzung zum Anbau von Energiepflanzen auf landwirtschaftlichen Flächen mit anderen Flächennutzungsansprüchen wie der Extensivierung der Landwirtschaft (ökologischer Landbau) und der Ausweitung der Landschafts- und Naturschutzflächen abgewogen werden.

- **Nahrungsmittelproduktion:** Da nachwachsende Rohstoffe in erster Linie auf landwirtschaftlichen Flächen angebaut werden, kann es zu einer Konkurrenz um Flächen zur Nahrungsmittelproduktion kommen. Entsprechend der Studie des Ökoinstituts (2004a) stehen jedoch auch bei einer weiterhin vordergründigen Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen zur Nahrungsmittelproduktion langfristig zwischen 2 und 4,4 Mio. ha zum Anbau nachwachsender Rohstoffe zur Verfügung⁷³. Je nach Höhe der angestrebten Selbstversorgungsquote in der Nahrungs- und Futtermittelproduktion sowie den Ernährungsgewohnheiten besteht somit nicht zwangsläufig eine Konkurrenz. Der Selbstversorgungsgrad

⁶⁹ IE 2004a

⁷⁰ IE 2004a

⁷¹ Mit der EU-Erweiterung ist die Einbringung von 65 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche, aber nur gut 100 Mio. zusätzlichen EU-Bürgern verbunden. (Lamp 2004)

⁷² Zu den mgl. Auswirkungen der EU-Erweiterung auf den Anbau nachwachsender Rohstoffe siehe auch IE 2004a, EEA 2004

⁷³ vgl. Kap. 2.4

bei Nahrungsmitteln (ohne Erzeugung von Auslandsfutter) erreichte im Durchschnitt der letzten 10 Jahre etwa 88 %⁷⁴, unterliegt aber je nach Ernteausschlag Schwankungen⁷⁵. Auf die direkte Erzeugung von Nahrungsmitteln entfielen dabei 31 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche. 59 % entfielen auf Futterflächen, das heißt indirekte Flächen zur Nahrungsmittelproduktion⁷⁶. Jedoch kann es im Falle der Ausweitung des ökologischen Landbaus für die Lebensmittelproduktion zu Flächenkonkurrenzen kommen (siehe Unterpunkt „Ernährungsgewohnheiten und Flächenbedarf“).

- **Ökologischer Landbau:** Setzt sich entsprechend den politischen Zielvorstellungen der ökologische Landbau zu größeren Anteilen durch, werden auf Grund geringerer Flächenerträge und extensiven Anbaumethoden für ökologische Produkte mehr Anbauflächen benötigt.⁷⁷ Diese sind stark produktabhängig⁷⁸ und liegen durchschnittlich bei einem etwa 30% höheren Flächenbedarf.⁷⁹ Eine Ausweitung des ökologischen Landbaus ist dabei auch eng mit der Struktur der Nachfrage nach tierischen und pflanzlichen Lebensmitteln verknüpft (siehe Unterpunkt „Ernährungsgewohnheiten und Flächenbedarf“).
- **Naturschutz:** Die Standortwahl für zusätzliche Anbauflächen muss auch mit den Anforderungen des Natur- und Landschaftsschutzes abgewogen werden. Hier werden etwa für den Biotopverbund gemäß §3 Bundesnaturschutzgesetz, nach dem 10% der Landesfläche für die Schaffung eines Biotopverbund bereitgestellt werden sollen bzw. für die Entwicklung des europäischen Schutzgebietsnetzes NATURA 2000, zusätzliche Naturschutzflächen erforderlich. Köppel et al (2004)⁸⁰ bezifferte die Flächenanforderungen des Naturschutzes auf je 7% der Ackerfläche⁸¹ und 7% der Grünlandfläche. Für ca. 5% der Ackerstandorte sind Erosionsschutzmaßnahmen nötig, die eine Bewirtschaftung mit annuellen Kulturen ausschließen. Auf entsprechenden Flächen kann daher zwar Energiepflanzenanbau stattfinden, doch nur der mehrjähriger Pflanzen. Neben der Flächenkonkurrenz besteht von Seiten des Naturschutzes aber auch die Befürchtung, der Anbau nachwachsender Rohstoffe könnte mit ähnlichen Auswirkungen wie die konventionelle Landwirtschaft verbunden sein, die

⁷⁴ Die ernährungswirtschaftlichen Einfuhren betragen innerhalb der letzten 4 Jahre zwischen 41,5 und 44,6 Mrd. Euro. (BMVEL 2005b)

⁷⁵ Selbstversorgungsgrad für Nahrungs- und Futtermittel in Deutschland: 2001/02: 96 %; 2002/03 : 88%; 2003/04 : 82%; für 2004/05 ist wieder ein Anstieg zu erwarten (BMVEL 2005b)

⁷⁶ Die landwirtschaftlich genutzte Fläche betrug 2004 in Deutschland 17,020 Millionen ha . BMVEL 2005b

⁷⁷ Ökoinstitut 2004a

⁷⁸ für eine Übersicht produktbezogener Unterschiede sei u.a. auf Kratochvil 1999 sowie Seemüller 1999 verwiesen

⁷⁹ vgl. Bringezu 2005, Seemüller 1999

⁸⁰ zitiert in Ökoinstitut (2004)

⁸¹ Ackerfläche: Schaffung von ökologischen Dauerbrachen (2%), Strukturelementen (3%) sowie der Umwandlung in Grünland (2%).

vielfach negative Auswirkungen hat. Zudem könnten extensive Anbauformen und ökologisch wertvolle Brachen durch den Anbau von Biomasse verdrängt werden. Allerdings sind beim Anbau nachwachsender Rohstoffe andere Anbauformen und –mixe möglich. Außerdem werden bei der Verwertung von Pflegeschnitt aus Landschafts- und Naturschutz auch Synergien zwischen Naturschutz und Energiepflanzennutzung gesehen⁸².

- **Flächennutzungsansprüche des Siedlungs- und Verkehrswesens/ Kompensationsflächen:** Jahrelang lag der Flächenzuwachs von Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland bei etwa 125 ha pro Tag. 2002 betrug der Flächenzuwachs von Siedlungs- und Verkehrsfläche noch 105 ha pro Tag⁸³. Gemäß der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung soll dieser Zuwachs bis 2020 auf 30 ha pro Tag reduziert werden⁸⁴. In jedem Fall verringert dieser Flächenzuwachs das Potential für den Anbau nachwachsender Rohstoffe. Gemäß der im Bundesbaugesetz und im Bundesnaturschutzgesetz verankerten Eingriffsregelung ist der Verbrauch dieser Flächen zwar ausgleichspflichtig, jedoch nicht im gleichen Flächenumfang. Während Waldflächen nach Bundeswaldgesetz zu 100% kompensationspflichtig sind und damit ihre Fläche konstant bleibt, ist mit einem Rückgang der Acker- und Grünlandflächen zu rechnen. Auch diese müssen gemäß der Verpflichtungen des Bundesnaturschutzgesetzes ausgeglichen werden, jedoch sind die durch Siedlungs- und Verkehrsflächen in Anspruch genommenen Flächen zu etwa ein Drittel ausgleichspflichtig.⁸⁵
- **Globale Flächeninanspruchnahme:** Die Betrachtung der deutschland- und EU-weit zur Verfügung stehenden Flächen zum Anbau nachwachsender Rohstoffe, muss auch in Verbindung mit dem Flächenverbrauch gesehen werden, der mit dem Import von Lebens- und Futtermitteln verbunden ist. In der von Steger (2005) durchgeführten Untersuchung lag dieser sogenannte „Flächenrucksack“ zwischen 1990 und 2000 rund 20% höher als die in der EU15 zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Flächen.⁸⁶ Bringezu (2005) kommt daher zu der Einschätzung, dass die „EU ohne Veränderung der Nachfrage global über ihre Verhältnisse zu leben droht“. Die Nahrungs-, Futtermittel- und Energiepflanzenproduktion muss somit auch vor dem Hintergrund einer weltweit zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Fläche

⁸² vgl. Ammermann 2004, vgl. auch Kap. 2.2.3

⁸³ BBR 2004

⁸⁴ Die Bundesregierung: Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. 17.4.2002

⁸⁵ Köppel et al 2004, zitiert in: Ökoinstitut 2004

⁸⁶ Dabei wurde der Handel mit 47 Agrarrohstoffen und 102 verarbeiteten landwirtschaftlichen Produkten für den Zeitraum 1990–2000 untersucht.

von 5 Mrd. ha⁸⁷ und einer wachsenden Weltbevölkerung gesehen werden⁸⁸. Bis 2025 wird ein Anstieg dieser Flächen um 4 bis 6% prognostiziert⁸⁹.

- **Konkurrenz biogener Energieträger:** Es ist außerdem darauf hinzuweisen, dass auch biogene Energieträger in Konkurrenz zueinander stehen, da sie auf die gleichen Flächenpotenziale zugreifen und zudem auch außerhalb der Energiewirtschaft konkurrierende Nutzungsoptionen bestehen. Dies trifft insbesondere auf die stoffliche Nutzung zu. Um die begrenzten Ressourcen so effizient wie möglich nutzen, ist deshalb eine gesamtsystemare Betrachtungsweise unter Einbeziehung der konkurrierenden Verwendungsmöglichkeiten notwendig. Nur so kann bestimmt werden, an welcher Stelle die größten positiven Effekte zu erzielen sind.⁹⁰

2.3.4 Ertragssteigerungen

Der Flächenbedarf für die meisten Anbaukulturen ist aufgrund von steigenden Erträgen rückläufig. Zahlreiche Studien belegen die zunehmende Produktivität pro Flächeneinheit durch verbesserte Anbaumethoden, Züchtungserfolge (Ausschöpfung des genetischen Potenzials), Precision Farming etc⁹¹. In den zurückliegenden Jahrzehnten konnten die Getreideerträge in Deutschland um durchschnittlich 1-2 % p.a. gesteigert werden. Bei der Fortsetzung der gegenwärtigen Ertragssteigerungen würden so rund 100.000 ha im Jahr für andere Nutzungen frei⁹². Für die Zukunft nehmen Saatzüchter und landwirtschaftliche Verwertungsgesellschaften ähnliche Steigerungsraten an⁹³.

2.3.5 Klimawandel

Über die Auswirkungen der globalen Erwärmung und des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Produktion und die Nahrungssicherheit ist wenig bekannt. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass Temperatur- und Niederschlagsänderungen sowie das häufigere Auftreten extremer Wetterereignisse und Dürren die Nahrungsmittelproduktion weltweit beeinflussen werden⁹⁴.

Die globale Erwärmung beeinflusst sowohl die Eignung von Kulturpflanzen als auch deren Wasserbedarf. Weiter kann sie zum verstärkten Auftreten von Insektenkalla-

⁸⁷ FAO 2001, zitiert in Steger 2005; 70% der landwirtschaftlichen Fläche waren Weideland, 30% Ackerland und Dauerkulturen

⁸⁸ Anstieg auf ca. 8,3 Mrd. Menschen (2000: 6,1 Mrd.)

⁸⁹ Zitiert in Bringezu 2005

⁹⁰ vgl. Kap. 3.2

⁹¹ Diesbezüglich kann auch der Anbau gentechnisch veränderter Arten von Bedeutung sein.

⁹² Sonnleitner 2004

⁹³ Schmitz 2003

⁹⁴ http://www.fao.org/newsroom/common/ecg/102623_en_Climate_Change_Background_EN.pdf

mitäten und Krankheitserregern führen. Die postulierte erhöhte Variabilität des Klimas, verbunden mit extremen Witterungsereignissen, kann sich ebenfalls negativ auf die Nahrungsmittelproduktion auswirken. Der Anstieg des CO₂ in der Atmosphäre erhöht andererseits die Effizienz der Wassernutzung durch die Pflanzen⁹⁵.

Die Auswirkungen des Klimawandels werden dabei regional unterschiedlich sein. Zur Erforschung dieser Auswirkungen wurde von der FAO⁹⁶ und der IIASA⁹⁷ eine Methode zur agrarökologischen Zonierung (AEZ) der Landoberfläche entwickelt, die über eine räumliche Datenbasis eine einheitliche und detaillierte Bewertung und Quantifizierung der Nahrungsmittelproduktion auf regionaler und nationaler Ebene erlaubt, inklusive möglicher Nutzungs- und Klimaeinflüsse⁹⁸. Neben der flächenhaften Berücksichtigung der standörtlichen Faktoren (Klima, Böden, Topographie, natürliche Vegetation etc.) berücksichtigt das Modell 25 mögliche Kulturpflanzen und drei unterschiedliche Nutzungsintensitäten⁹⁹.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich durch den Klimawandel in den entwickelten Ländern ein höheres Potential geeigneter landwirtschaftlicher Flächen ergibt, der zu einem Mehrertrag von ungefähr 200 Mio. t Anbauertrag führt¹⁰⁰. Für die Entwicklungsländer ergibt sich eine gemischte Bilanz. Auch hier sind in einigen Regionen Mehrerträge zu erwarten¹⁰¹. Jedoch verursachen die erwarteten Ertragsrückgänge in 25 bis 45 Ländern große Probleme. Diese Länder weisen bereits heute eine Bevölkerungszahl von 1,3 bis 2,1 Milliarden auf, von denen ein Fünftel unterernährt ist. In diesen Ländern können die erwarteten klimabedingten Defizite von 60 bis 150 Mio. t, die sich zu den bereits vorhandenen 10-12 Mio. t addieren, zu ernsthaften Versorgungslücken führen¹⁰².

2.3.6 Demographische Entwicklung

Durch sinkende Bevölkerungszahlen¹⁰³ in Deutschland und steigende Erträge in der Landwirtschaft sinkt die Inlandsnachfrage nach Flächen für die Erzeugung von Lebensmitteln. Auf europäischer Ebene läuft die Entwicklung parallel. Insofern könnte - je nach der Entwicklung der Agrarmärkte - über einen Teil der Flächen neu verfügt

⁹⁵ Beese 2004

⁹⁶ Food and Agriculture Organization of the United Nations

⁹⁷ International Institute of Applied Systems Analysis

⁹⁸ Fischer et al 2002, FAO 2005

⁹⁹ Fischer et al 2002, zitiert in Beese 2004

¹⁰⁰ Da die eine Hälfte der Länder deutlich profitieren wird und die andere nur geringe Verluste aufweisen wird.

¹⁰¹ Ca. 50 Mio. t

¹⁰² Beese 2004

¹⁰³ Bevölkerungsentwicklung in Deutschland: 2010: 82,2 Mio. Einwohner, 2020: 80,8 Mio. Einwohner, 2030: 77,9 Mio. Einwohner (Enquete 2002, zitiert in Ökoinstitut 2004)

werden.¹⁰⁴ Weltweit ist jedoch mit einem Anstieg der Weltbevölkerung und einem erhöhten landwirtschaftlichen Flächenbedarf zu rechnen¹⁰⁵.

2.3.7 Ernährungsgewohnheiten und Flächenbedarf

Der Umfang der Nutzung landwirtschaftlichen Flächen ist eng mit den Ernährungsgewohnheiten und dem Konsumverhalten der Verbraucher gekoppelt. Da der Großteil der landwirtschaftlichen Fläche sowohl in Deutschland (rund 59 %)¹⁰⁶ als auch EU-weit (73%)¹⁰⁷ für die Produktion tierischer Nahrungsmittel verwendet wird, bestehen bei einer verminderten Nachfrage nach tierischen Produkten relevante Potentiale für den Anbau von Energiepflanzen.

Bringezu (2005) kommt daher zu der Einschätzung, dass die Förderung von nachwachsenden Rohstoffen nur sinnvoll ist, wenn zugleich die Förderung der Tierproduktion vermindert wird.

Scheffer et al (2003) fordern zudem, dass ein umweltfreundlicher und nachhaltiger Anbau nachwachsender Rohstoffe nicht losgelöst von der übrigen Agrarflächennutzung betrachtet werden kann. Um die negativen Umwelt- und Bodeneinflüsse intensiv bewirtschafteter Agrarflächen zu senken, sei demnach auch eine Ausweitung des Ökologischen Landbaus notwendig. Hier stellt sich die Frage, ob nach flächendeckender Umstellung der Landwirtschaft auf Ökologischen Landbau überhaupt noch Flächen für nachwachsende Rohstoffe zur Verfügung stehen würden. Bei der Fortschreitung des derzeitigen Konsumverhaltens würde bei flächendeckendem Ökologischen Landbau die landwirtschaftliche Nutzfläche nicht einmal für die Produktion von Nahrungsmitteln ausreichen. Auch Scheffer et al (2003) kommen zu der Einschätzung, dass nur eine verminderte Nachfrage nach tierischen Produkten relevante Flächenpotentiale für nachwachsende Rohstoffe schaffen könnte¹⁰⁸. Nach Berechnungen würde demnach ein um 60% reduzierter Fleischverbrauch (bei gleichbleibendem Kalorienbedarf von 2.200-2.400 kcal pro Person) 3,7 Mio. ha. der landwirtschaftlichen Nutzfläche auch bei flächendeckendem Ökologischen Landbau nicht mehr für die Nahrungsmittelproduktion benötigt und stünden für die Erzeugung von Energiepflanzen zur Verfügung. Bei einer Reduzierung des Fleischkonsums um 40% stünden immer noch ca. 13% der landwirtschaftlichen Nutzfläche für den Energiepflanzenanbau zur Verfügung.¹⁰⁹

¹⁰⁴ Ökoinstitut 2004

¹⁰⁵ vgl. auch Bringezu 2005

¹⁰⁶ 2004, BMVEL 2005b

¹⁰⁷ im Jahre 2000, Bringezu 2005

¹⁰⁸ vgl. auch Bringezu 2005

¹⁰⁹ Scheffer et al 2003

2.4 Flächennutzungsprognosen

Über das in Deutschland zur Verfügung stehende Flächenpotenzial zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen gibt sehr unterschiedliche Annahmen und Prognosen. Je nach der Interpretation der oben genannten Entwicklungstrends und der Annahme unterschiedlicher politischer Rahmenbedingungen ergeben sich Schätzungen des verfügbaren Flächenpotenzials von 0,8 bis hin zu langfristig über 4 Mio. ha.¹¹⁰

Nachfolgend soll für die Bezifferung des Flächenpotentials für die bioenergetische Nutzung Bezug auf die detaillierten Ergebnisse des Ökoinstituts (2004a) genommen werden.

In der Studie wird davon ausgegangen, dass bei der landwirtschaftlichen Flächennutzung in Deutschland auch in Zukunft die Nahrungsmittelproduktion im Vordergrund stehen wird. Somit kann der Anbau von Energiepflanzen auf den Flächen stattfinden, die aufgrund fehlender Konkurrenzfähigkeit nicht mehr für die Produktion von Nahrungsmitteln genutzt werden. Aus der Differenz zwischen vorhandener landwirtschaftlicher Nutzfläche¹¹¹ und dem Flächenbedarf für „klassische“ landwirtschaftliche Produkte ergibt sich die für den Biomasseanbau verfügbare Fläche. Zusätzlich wird der Verbrauch von Fläche durch andere Nutzungen berücksichtigt (Verkehrs-, Siedlungs- und Gewerbefläche).

Im Rahmen einer komplexen mehrjährigen Datenerhebung, unter Zuhilfenahme des HEKTOR-Modells¹¹², wurde eine umfassende Potenzialermittlung für die verschiedenen Biomassearten durchgeführt.

Als Basis wurde ein energiewirtschaftliches Referenzszenario erstellt, das eine ungestörte Fortschreibung ohne aktive Politik reflektiert. Hierzu kontrastierend wurden drei Szenarien aufgestellt.

1. Das Szenario UMWELT dient als untere Grenze zur Größenordnung der Biomassebeiträge unter den Bedingungen einer massiven Effizienzsteigerung und des Ausbaus der erneuerbaren Energien insgesamt, die bei starken umwelt- und naturschutzfachlichen Restriktionen möglich sind. Sein energiewirtschaftlicher Teil beruht auf der Studie des DLR, IFEU und IE (BMU 2004b).
2. Im Szenario BIOMASSE werden die Obergrenzen der Potentiale genutzt und der maximale technische Fortschritt, sowie maximale Förderung und Investition unterstellt.

¹¹⁰ 2 Mio. ha: vgl. Kaltschmitt, Hartmann 2001, S. 16; Kaltschmitt 2004; der NABU schätzt das Potential verfügbarer Flächen auf 1,5-2 Mio ha. Innerhalb der Studie IE 2004a werden aus der Summe der zukünftig freiwerdenden Flächen aus Stilllegung, Zuckerrübenanbau und Milch- und Rindfleischproduktion ca. 2,4-2,9 Mio. ha für den potentiellen Biomasseanbau ermittelt (IE 2004a, S.50-51), das Ökoinstitut (2004a) ermittelte Werte von 0,8 bis 4,4 Mio. ha.

¹¹¹ Ackerkulturen und Grünland

¹¹² HEKTOR = Hektar Kalkulator. Ein excel-basiertes Datenbank-tool, das Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung, zum Flächenverbrauch, zur Entwicklung des Nahrungsmittelsverbrauchs und zu Entwicklungen von Leistungen und Erträgen in der Landwirtschaft integriert und somit perspektivische Flächenentwicklungstrends erfassen kann.

3. Das NACHHALTIGKEIT Szenario orientiert sich bei den Biomassepotentialen an Biomasse und beim Anbaumix für Energiepflanzen an Umwelt.

Der zeitliche Rahmen erfasst 2000 als das Basisjahr und formuliert die Szenarien bis zu einem Horizont des Jahres 2030. Für das Szenario Umwelt mit strengen Naturschutzaufgaben ergibt sich damit für die Gesamtheit aus Grünland- und Ackerflächen bis 2030 ein Potential von 3 Mio. ha. Im Szenario Biomasse wären dies sogar bis 2030 4,4 Mio. ha.¹¹³ (vgl. Tabelle 2).

	Anbauflächenpotential in Mio. ha	Davon Anbau mehrjähriger Energiepflanzen in Mio. ha
Referenz-2010	2,03	0,28
Referenz-2020	2,48	0,55
Referenz-2030	3,48	0,55
Umwelt-2010	0,82	0,55
Umwelt-2020	1,88	0,55
Umwelt-2030	3,01	0,55
Biomasse-2010	1,97	0,14
Biomasse-2020	3,45	0,22
Biomasse-2030	4,44	0,22

Tabelle 2: Anbauflächenpotentiale für Energiepflanzen auf Acker- und Grünlandflächen nach Jahren¹¹⁴

Auch innerhalb der bereits oben erwähnten Studie des DLR, IFEU und IE¹¹⁵ wurde eine Ermittlung der Potenziale unter bestimmten Voraussetzungen durchgeführt. Bei der Einhaltung naturschützerischer Kriterien stehen dieser Studie zu Folge bis 2010 0,15 Mio. ha, bis 2020 1,1 Mio. ha, bis 2030 2,0 Mio. ha, bis 2040 3,1 Mio. ha und bis 2050 4,2 Mio. ha für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung.¹¹⁶

¹¹³ Ökoinstitut 2004

¹¹⁴ entsprechend der verschiedenen Szenarien des Ökoinstituts (2004a)

¹¹⁵ BMU 2004b

¹¹⁶ BMU 2004b

3 Nutzung nachwachsender Rohstoffe

3.1 Verwertungsoptionen

Die Verwendung nachwachsender Rohstoffe kann sowohl stofflich als auch energetisch erfolgen (vgl. Abbildung 1 und 2). Innerhalb der erneuerbaren Energien basieren 13% des Stroms, 93% der Wärme und 100% der Treibstoffe auf der Energie aus Biomasse. Innerhalb der verschiedenen Biomassefraktionen tragen auch nachwachsende Rohstoffe zu dieser Bilanz bei.

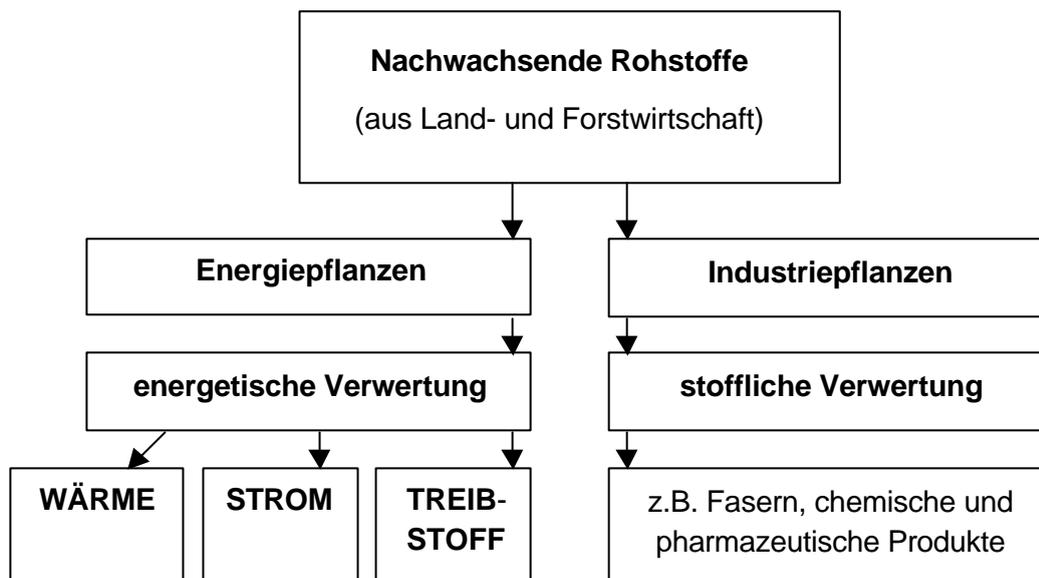


Abbildung 1: Nutzungsmöglichkeiten nachwachsender Rohstoffe¹¹⁷

3.1.1 Wärme

Die Wärmegewinnung aus Bioenergie spielt innerhalb der Gesamtenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien noch immer die größte Rolle¹¹⁸. Der Anteil der Biowärme am Endenergieverbrauch von Wärme betrug 2004 3,9 %. Von den 58 Milliarden Kilowattstunden aus Biowärme stammt der überwiegende Teil aus Festbrennstoffen (53,33 Mrd. kWh), nur ein untergeordneter Teil stammt aus gasförmigen Brennstoffen und biogenen Abfällen.¹¹⁹

¹¹⁷ eigene Darstellung

¹¹⁸ 2003 betrug der Beitrag der Wärmeerzeugung durch Biomasse 49,9%, Biokraftstoffe (Biodiesel) trugen 5,9% bei. 6,2% wurden durch die Verstromung von Biomasse erzielt. (16,3% Windkraft, Solarthermie 2,2%, Wasserkraft 17,9% , Geothermie 1,3, Photovoltaik 0,3 – alle Werte bezogen auf die Gesamtenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien von 113,8TWh/a) (Quelle: BMU 2004a)

¹¹⁹ DBV et al 2005

3.1.2 Strom

Der Anteil der Biomasse am deutschen Stromverbrauch beträgt 1,6 %. Dabei sind vor allem die Verbrennung fester Biomasse, z. B. in Holz(heiz)kraftwerken sowie die Stromerzeugung in Biogasanlagen bedeutend.¹²⁰

Durch die Novellierung des EEG 2004 haben sich die Rahmenbedingungen für die Erzeugung von Bioenergie aus nachwachsenden Rohstoffen erheblich verbessert¹²¹. Die Anlagenbetreiber erhalten demnach neben einer von der Leistungsgröße der Anlage abhängigen Grundvergütung von 8,4 bis 11,5 Cent/kWh (kleine Anlagen bis 150 kW erhalten die höchste Vergütungsstufe) einen zusätzlichen Bonus von 2,5 bis 6 Cent/kWh beim ausschließlichen Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo-Bonus)¹²².

3.1.3 Kraftstoffe

Biologische Treibstoffe können in Form von Biodiesel, Bioethanol, Biogas¹²³., Biomethanol, naturbelassenem Pflanzenöl und synthetischen Biokraftstoffen erzeugt werden.¹²⁴ Der Anteil der Biokraftstoffe am Endenergieverbrauch im Verkehr in 2004 lag bei 1,6 % (10.900 GWh)¹²⁵. Dieser wurde fast ausschließlich durch Biodiesel¹²⁶ abgedeckt.¹²⁷

Mit der Begünstigung biogener Kraftstoffe bei der Mineralölsteuer¹²⁸ werden neben Biodiesel nun aber auch weitere Technologiepfade zur Nutzung von Biomasse im Kraftstoffmarkt wettbewerbsfähig.

Die Europäische Union hat zur Unterstützung der Markteinführung alternativer Kraftstoffe mit der sogenannten EU-Biokraftstoffrichtlinie 2003/30/EG¹²⁹ Zielvorgaben

¹²⁰ DBV et al 2005

¹²¹ EEG 2004, §8, Abs.2

¹²² Stromgewinnung „aus Pflanzen oder Pflanzenbestandteilen, die in landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben oder im Rahmen der Landschaftspflege anfallen und die keiner weiteren als der zur Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden“ (EEG 2004, §8 Abs 2).

¹²³ Bisher wird Biogas nur in wenigen Fällen lokal als Kraftstoff eingesetzt. Zukünftig kann auch Biogas eine CO₂-neutrale Alternative zum Erdgas als Kraftstoff darstellen. Mit einer Einspeisung in das vorhandene Erdgasnetz könnte das Biogas zu Gastankstellen transportiert werden. Biogastankstellen existieren bereits in Schweden und Österreich. Auch in Deutschland ist die erste Biogastankstelle direkt an einer Biogasanlage in Betrieb genommen worden. (DBV et al 2005)

¹²⁴ DBV et al 2005, BBE 2004

¹²⁵ 2003: 0,9 % (6.700 GWh), <http://www.bioenergie.de/home.htm>

¹²⁶ Aufgrund der hohen Kosten und der für viele Anwendungen fehlenden Infrastruktur konnte sich in Deutschland bisher lediglich Biodiesel am Markt behaupten (<http://www.bioenergie.de/home.htm>).

¹²⁷ BBE 2004

¹²⁸ Mineralölsteuergesetz § 2a. Biokraftstoffe sind dadurch in Deutschland zunächst bis zum 31. Dezember 2009 von der Mineralölsteuer befreit.

¹²⁹ Richtlinie zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor

formuliert. Die Richtlinie fordert die Mitgliedstaaten auf, als Richtwert einen Anteil von 2% an alternativen Kraftstoffen am Kraftstoffverbrauch in 2005 vorzusehen. Für das Jahr 2010 wird ein Anteil von 5,75% angestrebt.¹³⁰ Dies entspricht in Deutschland einer Menge von 1,95 Mio. t Bioethanol und 2,05 Mio. t Biodiesel.¹³¹

In den nächsten Jahren weisen Biodiesel und Bioethanol als Beimischung zu herkömmlichen Treibstoffen die höchsten Potenziale unter den erneuerbaren Kraftstoffen auf. Biodiesel auf Basis von Ölsaaten kann konventionellem Diesel mit einem Anteil von bis zu 5 % beigemischt und unter bestimmten Bedingungen in einem höheren Mischungsverhältnis oder sogar als Reinkraftstoff genutzt werden. Bioethanol auf Basis von zuckerhaltigen Pflanzen, Getreide, Stroh oder Holz kann konventionellem Ottokraftstoff ebenfalls mit einem Anteil von bis zu 5 % direkt oder in zu Ethyl-Tertiär-Butylether (ETBE) verarbeiteter Form bis zu 15 % beigemischt werden.¹³²

Für die Zukunft erscheinen synthetische Kraftstoffe (Biomass-to-liquid = BtL) aus Kurzumtriebsplantagen oder Energiegräsern (z.B. Miscanthus) vielversprechend.

		Strom	Wärme	Kraftstoff
Holzartige Biomasse	Waldholz	X	X	X*
	Waldrestholz/Schwachholz	X	X	X*
	Industrierestholz	X	X	X*
	Holzpellets	<i>national</i>	X	X*
	Altholz	X		X*
	Kurzumtriebsholz	X	X	X*
halmgutartige Biomasse	Stroh	X	<i>national</i>	
	Energieganzpflanzen (Getreide)	X	<i>national</i>	
	Miscanthus	X		
Früchte und Saaten	Getreidekörner			X
	Rapssaat / Sonnenblumensaat		<i>national</i>	X
	Zuckerrüben			X
sonstige Biomasse	Industrielle Substrate (Biogas)	X		
	Organische Abfälle	X		
	Klärschlamm	X		
	Maissilage	X		

*künftig

Abbildung 2: Typische Einsatzbereiche unterschiedlicher Biomassesortimente¹³³

¹³⁰ BMVEL 2005a

¹³¹ DBV et al 2005

¹³² vgl. auch BMVEL 2005a

¹³³ IE 2004a

3.1.4 Stoffliche Nutzung

Im stofflichen Bereich werden derzeit in Deutschland ca. 2 Mio. t nachwachsende Rohstoffe genutzt. Das sind ca. 10 Prozent aller nachwachsenden Rohstoffe, wobei mengenmäßig Fette und Öle, Stärke und Cellulose im Vordergrund stehen. Eine weitere deutliche Steigerung erscheint langfristig möglich.¹³⁴ Die flächenmäßige Bedeutung von Industriepflanzen ist derzeit noch gering. 2003 dienten 7.000 ha der Ackerfläche der Gewinnung stofflicher Rohstoffe. Im Gegensatz dazu wurden ca. 830.000 ha Ackerfläche für den Anbau von Energiepflanzen genutzt¹³⁵. Eine Übersicht nachwachsender Rohstoffe und ihrer Nutzung gibt Tabelle 3.

Industriepflanzen	Rohstoffe	Endprodukte
Raps, Rübsen, Senf, Crambe, Leindotter, Sonnenblume, Wolfsmilch	Pflanzenöl	Kosmetika, Schmierstoffe, Hydrauliköle, Schalöle, Motoröle, Getriebeöle, Sägekettenöle, Lösungsmittel, Waschmittel
Öllein	Leinöl	Farben, Lacke, Lasuren, Linoleum
Mais, Weizen, Markerbsen	Stärke	Papier, Pappe, Verpackungen, Textilien
Kartoffeln	Stärke	Folien, Waschmittel
Zuckerrübe, Topinambur, Zichorie, Zuckerhirse	Zucker	Folien, Waschmittel, Papier, Pappe, Arzneien
Arznei- und Gewürzpflanzen	Extrakte	Pharmaka, ätherische Öle, Kosmetika
Flachs (Faserlein)	Fasern	Textilien, Dämmstoffe, Papier, Garn, Formpressteile
Hanf	Fasern Hanföl	Zellstoff, Papier, Textilien, Dämmstoffe, Garn, Hanföl: Kosmetika
Waid, Saflor, Krapp, Wau	Farbstoffe	Farben, Lacke
Holz	Cellulosefasern Holz	Papier, Pappe, Zigarettenfilter, Zellstoff Bauholz, Möbel, Spielwaren

Tabelle 3: Ausgewählte einheimische Pflanzen zur stofflichen Verwertung und deren Rohstoffe als Inhaltsstoffe verschiedener Produkte (Anbauvoraussetzungen in Deutschland gegeben)¹³⁶

¹³⁴ Bundesregierung 2005

¹³⁵ BMVEL 2003

¹³⁶ Quelle: C.A.R.M.E.N. 2005

3.2 Energetische Nutzungspotenziale

Für die Ermittlung der energetischen Potentiale aus dem Energiepflanzenanbau muss zwischen den theoretischen, den technischen¹³⁷, den wirtschaftlichen und den erschließbaren Potenzialen unterschieden werden¹³⁸. Eine Übersicht über die mögliche Primärenergieentwicklung aus Biomasse und Energiepflanzen gibt Abbildung 6. Die energetischen Potenziale sind zudem hinaus stark von den Nutzpflanzen und dem Wirkungsgrad der verschiedenen energetischen Umwandlungsprozesse abhängig. Prognosen müssen insofern immer Annahmen über den Anteil verschiedener Energiepflanzen und deren energetischen Nutzung, aber auch die Verwertung der Abfälle treffen. Ein beispielhaftes Szenario erstellte diesbezüglich Kaltschmitt (2004). Ausgehend von einer Anbaufläche von 2 Mio. ha ermittelte er anhand von Beispielen die unterschiedlichen Energiepotenziale für eine ausschließliche Energiepflanzenverwertung zur Pflanzenöl- und Bioethanologewinnung, zur Festbrennstoffgewinnung sowie zur Biogasgewinnung. Da zukünftig vermutlich von einem Anbau- und Verwendungsmix auszugehen ist, wird zusätzlich auch eine solche Option berechnet. Im Ergebnis hatten dabei Festbrennstoffanlagen den höchsten energetischen Wirkungsgrad (365 PJ/a). Bioethanolanlagen würden unter den genannten Bedingungen¹³⁹ 347 PJ/a erzielen, Pflanzenölanlagen 292 PJ/a sowie Biogasanlagen unter Annahme der Nutzung des Zweikultursystems (vgl. Kapitel 4.4.1) 234 PJ/a.¹⁴⁰ Bei einem Anbaumix aus Raps, Zuckerrüben, Lignocellulose-Pflanzen und Biogassubstraten auf jeweils 500.000 ha ein technisches Energiepotenzial von 310 PJ/a¹⁴¹ erzielbar. Bezogen auf den Gesamtprimärenergieverbrauch Deutschlands von 14.334 PJ/a¹⁴² würde der Energieertrag im Anbaumix einem Anteil von 2,1% am Primärenergieverbrauch entsprechen.

Einen guten Indikator für das energetische Ertragspotential der verschiedenen Energiepflanzen stellt außerdem die Angabe der zu erwartenden Trockenmasseerträge pro Hektar und Jahr dar. Genaue Aussagen können auch hier nicht getroffen werden, weil das Ertragspotential stark vom Erntekonzept und –zeitpunkt sowie den Standortbedingungen abhängt. Eine Spannbreite der zu erwartenden Erträge der jeweiligen Kulturarten wird in Kapitel 4.2 gegeben.

¹³⁷ Hier ist weiterhin die Unterscheidung technischer Primärenergiepotenziale (z.B. die zur Biogasgewinnung verfügbaren Biomassen), technischer Sekundärpotentiale (z.B. Biogas am Ausgang einer Biogasanlage) und technischer Endenergiepotenziale (z.B. elektrische Energie aus Biogasanlagen beim Endverbraucher) relevant. (vgl. Kaltschmitt 2004)

¹³⁸ Hierbei ist insbesondere das technische Potenzial relevant. Es beschreibt den Anteil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen Restriktionen nutzbar ist. Zusätzlich werden strukturelle und ökologische Restriktionen (z.B. Naturschutzgebiete) etc. berücksichtigt (Kaltschmitt 2004).

¹³⁹ Weitere Annahmen zu Nutzpflanzen etc. siehe Kaltschmitt 2004.

¹⁴⁰ Trotz schlechterer energetischer Bilanz ist bzgl. der Erzeugung von Rapsöl/RME von Vorteil, dass er sich als flüssiger Energieträger einsetzen lässt und damit andere Verwertungsmöglichkeiten erschließt. Durch seine gute biologische Abbaubarkeit trägt er etwa beim Einsatz in Schutzgebieten und Wasserschutz zonen zum Bodenschutz bei. (vgl. Flaig et al 1998)

¹⁴¹ Raps 73 PJ/a, Zuckerrüben 87 PJ/a, Lignocellulose-Pflanzen 91 PJ/a und Biogassubstrate 59 PJ/a.

¹⁴² BMU 2004a

3.3 Technologien zur energetischen Nutzung

Für zahlreiche Anwendungen ist es sinnvoll oder sogar notwendig, aus festen Bioenergieträgern flüssige oder gasförmige Sekundärenergieträger herzustellen. Der Umwandlung in End- bzw. Nutzenergie werden deshalb Veredlungsprozesse vorgeschaltet.

Bei den Verfahren zur Umwandlung rezenter organischer Festbrennstoffe in feste, flüssige oder gasförmige Sekundärenergieträger kann zwischen thermochemischen¹⁴³, physikalisch-chemischen¹⁴⁴ und biochemischen Veredlungsverfahren¹⁴⁵ unterschieden werden (Abbildung 3).

Nachfolgend werden diejenigen Anlagentechniken für die weitere Untersuchung betrachtet, die aktuell bzw. kurz- und mittelfristig den größten Teil nachwachsender Rohstoffe energetisch nutzen. Diese sind

- Anlagen zur Festbrennstoffnutzung
- Fermentation von nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen
- Anlagen zur Herstellung von Biodiesel
- Anlagen zur Herstellung von Bioethanol
- Anlagen zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen

Ausgehend von dem aktuellen und geplanten Betrieb der bedeutendsten Anlagentechniken kann auf die Nachfrage nach Energiepflanzen geschlossen werden. Aus Sicht des Bodenschutzes ist zudem die Verwertbarkeit der Abfälle dieser Anlagen von Bedeutung. Für jeden Anlagentyp werden deshalb nachfolgend untersucht:

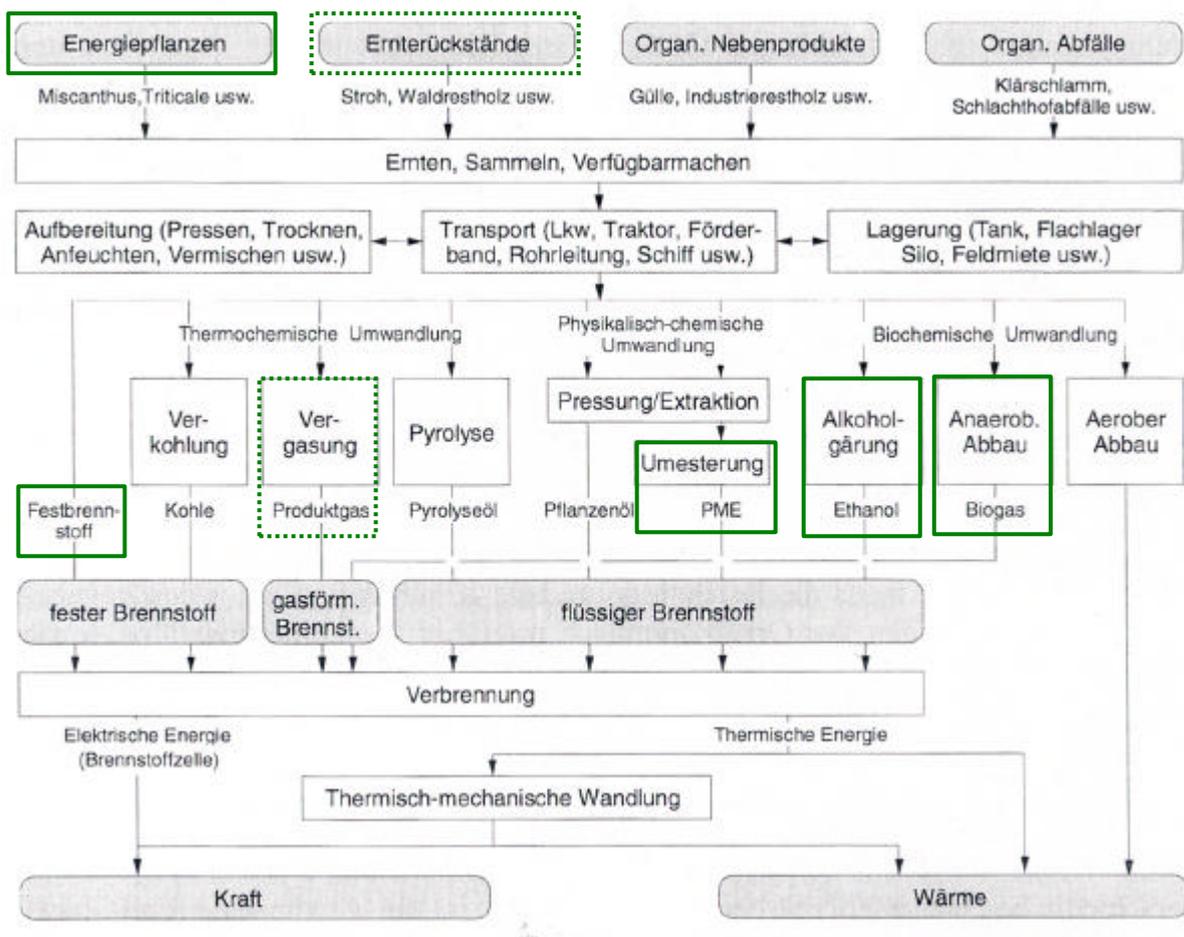
- a) die aktuelle und prognostizierte Nutzung
- b) die wichtigsten NawaRo-Substrate als Inputmaterial¹⁴⁶ und
- c) die Abfallprodukte bzw. Reststoffe der jeweiligen Anlage benannt sowie untersucht welche Verwertungsmöglichkeiten der Abfälle bestehen.

¹⁴³ Bei der thermochemischen Umwandlung werden die organischen Stoffe in erster Linie unter dem Einfluss von Wärme in feste, flüssige und/oder gasförmige Energieträger mit bestimmten Eigenschaften umgewandelt (FNR 2000a).

¹⁴⁴ Nachwachsende Rohstoffe enthalten zum Teil energetisch nutzbare Öle und Fette. Sie werden mit Hilfe von physikalisch-chemischen Verfahren gewonnen. Zusätzlich kann noch eine Umesterung notwendig werden, damit das Endprodukt sich den Eigenschaften konventionellen Dieselmotoren weitgehend annähert und dadurch der Einsatz in vorhandenen Dieselmotoren möglich ist (FNR 2000a).

¹⁴⁵ Bei den biochemischen Veredlungsverfahren erfolgt die Umwandlung der Biomasse in Sekundärenergieträger bzw. in End- oder Nutzenergie mit Hilfe von Mikroorganismen und damit durch eine biologische Umwandlung (FNR 2000a).

¹⁴⁶ vgl. auch Abbildung 8 in Kapitel 4.5



- in dieser Analyse betrachtete Energieträger und Umwandlungsprozesse
- eingeschränkte Untersuchung (Vergasung: Fischer-Tropsch-Synthese)

Abbildung 3: Schematischer Aufbau typischer Bereitstellungsketten zur End- bzw. Nutzenergiebereitstellung aus Biomasse¹⁴⁷

In den folgenden Kapiteln nicht weiter betrachtet werden hingegen die Energiebereitstellung aus¹⁴⁸:

- Pyrolyse
- Verkohlung
- Aerob. Abbau
- Pressung/ Extraktion von Pflanzenöl

¹⁴⁷ Veränderte Abbildung nach Kaltschmitt, Hartmann 2001, hervorgehoben: Betrachtete Teilaspekte innerhalb dieses Gutachtens

¹⁴⁸ Ein Überblick über die Funktionsweise dieser Anlagen, ihre aktuelle Nutzung sowie Nutzungspotentiale gibt die FNR (2000).

3.3.1 Anlagen zur Festbrennstoffnutzung

Bei der Verwertung biogener Festbrennstoffe kann bzgl. der Herkunft des Materials zwischen Rückständen und Energiepflanzen unterschieden werden (siehe Abbildung 4). Des Weiteren soll nur die energetische Verwertung von Energiepflanzen betrachtet werden.

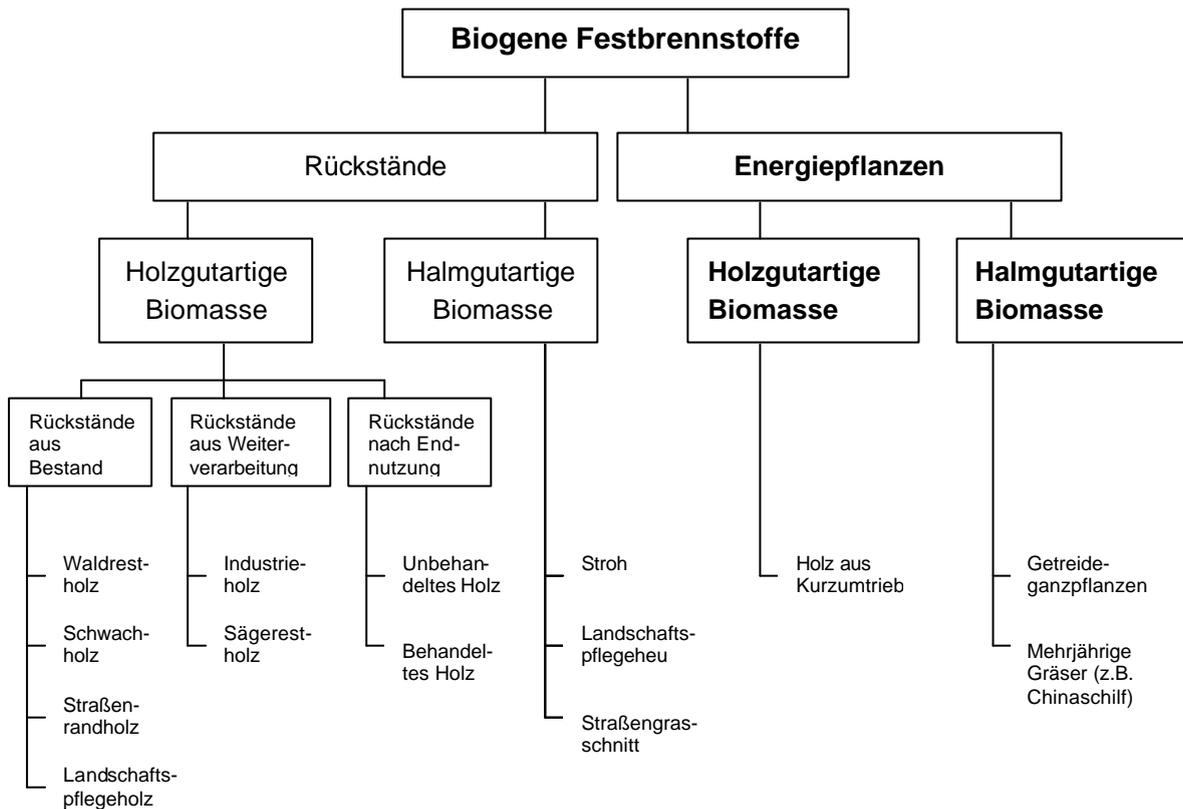


Abbildung 4: Formen biogener Festbrennstoffe in Deutschland¹⁴⁹

- **Nutzung:** Für die Erzeugung von Strom und Wärme durch Verbrennung wird in erster Linie Holz verwendet. Von den 58 Milliarden Kilowattstunden aus Biowärme¹⁵⁰ stammt der überwiegende Teil aus Festbrennstoffen (53,33 Mrd. kWh), vorzugsweise Holz¹⁵¹. Nur ein untergeordneter Teil stammt aus gasförmigen Brennstoffen und biogenen Abfällen.¹⁵² Derzeit gibt es in Deutschland ca. 9 Mio. Kleinfeuerungsanlagen¹⁵³ mit einer gesamten installierten Leistung von 50.000

¹⁴⁹ Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung 1998; zitiert in FNR 2000a, veränderte Darstellung (fett: in diesem Gutachten untersuchte Pfade)

¹⁵⁰ Der Anteil der Biowärme am Endenergieverbrauch von Wärme betrug 2004 3,9 %.

¹⁵¹ Schütte 2004, BMVEL 2005a

¹⁵² (0,97 gasförmige Biobrennstoffe, 3,69 biogener Anteil des Abfalls), BBE 2004, vgl. auch DBV et al. 2005

¹⁵³ 180.000 Zentralheizungen, 576.000 Ofen-Hauptheizungen, 1.801.000 Holz- und Kohleöfen, 4.109.000 Kamin-Kachelöfen, 1.352.000 offene Kamine, 908.000 Beistellherde (BBE 2004)

MW, sowie ca. 1.100 Biomasseheizwerke mit einer Leistung von über 500 kW¹⁵⁴. Zusätzlich gab es im Jahr 2004 28.000 installierte Pelletsanlagen. Bis Ende 2005 wird sich die Anzahl der Pelletsanlagen voraussichtlich auf rund 34.000 erhöhen¹⁵⁵. Bis 2006 besteht ein Marktpotenzial für weitere 50.000 Pelletsanlagen¹⁵⁶.

- **Einsatz nachwachsender Rohstoffe:** Neben Holz können, werden und wird zunehmend auch Getreideganzpflanzen, Miscanthus¹⁵⁷, Energiegetreide (Weizen, Gerste, Roggen)¹⁵⁸, Mais und andere halmgutartige Biomasse als Festbrennstoff eingesetzt werden. In Deutschland steckt die Entwicklung noch in den Anfängen¹⁵⁹, in Dänemark und Österreich gibt es bereits vitale Märkte für die energetische Verwendung¹⁶⁰. Auch der Holzpellet-Einsatz befindet sich trotz hoher Zubauraten noch auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau.¹⁶¹ Außerdem können schnellwachsende Baumarten und Landschaftspflegeheu/-holz genutzt werden. Nach (mechanischer) Entwässerung ist auch Silage (z.B. in Form von Pellets) als Festbrennstoff nutzbar¹⁶².
- **Abfälle/ Reststoffe:** Bei der Verbrennung von Festbrennstoffen entstehen Abgase und Aschen¹⁶³. Während die Emissionen durch eine geeignete Abgasbehandlung minimiert werden können, muss für die festen Rückstände der Verbrennung möglichst ein geeigneter Verwertungsweg, der auch ökonomisch sinnvoll ist, gefunden werden. Ist eine solche Verwertungsoption nicht in Sicht, müssen die Rückstände schadlos beseitigt werden¹⁶⁴. Dies bedeutet in der Praxis, dass im Einzelfall die zu erwartende Aufnahme von Schadstoffen im Boden, im Grundwasser und ggf. in den Pflanzen zu überprüfen ist¹⁶⁵. Die in größeren

¹⁵⁴ BBE 2004

¹⁵⁵ Der Brennstoffbedarf der Ende 2003 knapp 20 000 in Betrieb befindlichen Pelletheizungen liegt damit bei rund 90 000 t/a. Die Pelletproduktionskapazität in Deutschland stieg von 72 000 t/a zu Ende 2002 auf etwa 123 000 t/a zu Ende 2003. (IE 2004a)

¹⁵⁶ BBE 2004

¹⁵⁷ Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft empfahl 2001, aufgrund von Schadstoffausstößen, zunächst vorrangig Ganzpflanzengetreide sowie Miscanthus zur Verbrennung zu nutzen.

¹⁵⁸ Ein großes Potenzial zur Erzeugung von Wärme aus Biomasse liegt in der Nutzung von minderwertigen Getreidepartien in Kleinf Feuerungsanlagen. Getreide ist bislang, aufgrund der Abgaswerte, kein Regelbrennstoff in der 1. Bundesimmissionsschutzverordnung und darf daher (noch) nicht als Brennstoff eingesetzt werden. Die Anlagenentwicklung und -erforschung macht aber gute Fortschritte. (DBV et al 2005). Die Vorteile des Kornes ggü. dem Stroh liegen unter anderem in der hohen Dichte und der Homogenität des Materials.

¹⁵⁹ Dass die Verbrennung halmgutartiger Energiepflanzen bisher noch keine nennenswerten Größenordnungen erreicht hat, ist größtenteils auf die im Gegensatz zu Holz viel ungünstigeren Verbrennungseigenschaften und die damit verbundenen höheren Investitionskosten zurückzuführen. Durch bestimmte Anbauverfahren können diese ungünstigen Eigenschaften zwar verringert werden, allerdings fehlt es hier noch an systematischen Untersuchungen (ILN 2005).

¹⁶⁰ vgl. BMVEL 2005a

¹⁶¹ IE 2004a

¹⁶² FNR 2004, Schütte 2004, Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen 2003

¹⁶³ Kaltschmitt, Hartmann 2001

¹⁶⁴ vgl. § 10 Abs. 1 iVm Abs. 4 KrW-/AbfG

¹⁶⁵ Klinski 2002, zitiert in ILN 2005

Biomassefeuerungen anfallende Asche setzt sich dabei in der Regel aus drei unterschiedlichen Fraktionen zusammen, die in unterschiedlicher Art und Weise für eine Verwertung geeignet sind¹⁶⁶.

- Grob- und Rostasche: Der im Verbrennungsteil der Feuerungsanlage anfallende, überwiegend mineralische Rückstand der eingesetzten Biomasse. Hier sind auch die im Brennstoff enthaltenen Verunreinigungen (z.B. Sand, Erde, Steine) zu finden.
- Zyklonasche: Die Zyklonasche wird im Wendekammer- und Wärmeübertragerbereich der Feuerung sowie in den Fliehkraftabscheidern (Zyklonen) gewonnen. Sie wird aus feinen Partikeln gebildet, die sich in den Abgasen befinden.
- Feinstflugasche: Die in Elektro- oder Gewebefiltern bzw. als Kondensatschlamm in Abgaskondensationsanlagen anfallende Aschefraktion. Bei Feuerungsanlagen ohne eine derartige Abgasreinigung wird die Feinstflugasche als Reststaub in die Atmosphäre abgegeben.

Feinstflugasche weist vor allem hohe Schwermetallwerte auf, was ihre ökonomisch und ökologisch sinnvolle Verwertung erschwert. Im Allgemeinen wird die Feinstflugasche daher deponiert.

Für die beiden übrigen Aschefraktionen, die gemeinsam über 90% der gesamt anfallenden Asche ausmachen, kommen folgende Möglichkeiten in Frage:

- Industrielle Nutzung (z.B. als Zuschlag- oder Rohstoff für Zement; als Chemikalienrohstoff; als Zuschlagstoff in der metallurgischen Industrie)
- Verwertung im Straßenbau
- Verwendung als Sekundärrohstoff mit düngender und bodenverbessernder Wirkung in der Land- und Forstwirtschaft.

Während eine Lieferung von Asche an die Industrie oft an dem massenmäßig geringen Aschenoutput in den Holzfeuerungsanlagen scheitern dürfte, kommt eine Verwendung der verschlackten Rostasche im Straßenbau und ein Einsatz von Rost- und Zyklonasche als Sekundärrohstoff mit düngender und bodenverbessernder Wirkung für land- und forstwirtschaftliche Flächen in Betracht¹⁶⁷. Bei der Verwertung der Aschen in der Bauindustrie / Straßenbau sind die Vorgaben der LAGA¹⁶⁸ Mitteilung Nr. 20 „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen“ zu beachten. Diese Mitteilung kategorisiert die Abfälle qualitativ nach „Einbauklassen“ (Z 0 – Z 2)¹⁶⁹ und setzt bestimmte Schadstoffgrenz-

¹⁶⁶ Kaltschmitt, Hartmann 2001

¹⁶⁷ Kaltschmitt, Hartmann 2001

¹⁶⁸ Länderarbeitsgemeinschaft Abfall.

¹⁶⁹ Z steht für Zuordnungswert.

werte hierfür fest. Die Einbauklassen geben Auskunft darüber, welchen Verwertungswegen die jeweiligen Schlacken zugeführt werden dürfen.¹⁷⁰

Für die Verwendung von Aschen als Sekundärrohstoff mit düngender und bodenverbessernder Wirkung für land- und forstwirtschaftliche Flächen sind die Vorgaben und hier insbesondere die Schadstoffgrenzwerte der Düngemittelverordnung zu beachten.¹⁷¹ Derzeit wird Asche aus Festbrennstoffanlagen entweder deponiert oder (meist) unkontrolliert auf Agrarland oder im Wald ausgebracht.¹⁷²

Wesentliches Kriterium für die Verwertung der Aschen ist ihre konkrete Zusammensetzung. So unterscheidet sich die Asche von Halmgütern hinsichtlich ihrer Zusammensetzung von derjenigen, die bei der Holzverbrennung anfällt. Bezüglich des Schwermetallgehaltes weist sie geringere Belastungen auf¹⁷³.

3.3.2 Fermentation in Biogasanlagen

Biogas ist ein durch den anaeroben, mikrobiellen Abbau von organischen Substanzen entstehendes Gasgemisch, das zu 50 - 70% aus dem hochwertigen Energieträger Methan (CH₄) besteht. Aufgrund des relativ hohen Energiegehaltes lässt sich das Biogas als Energieträger für die Wärme¹⁷⁴- und Stromerzeugung nutzen.¹⁷⁵

Aufgrund der verbesserten rechtlichen Rahmenbedingungen des 2004 novellierten EEG erlebt die Biogasbranche jedoch derzeit einen enormen Aufschwung. Neben der Abnahmegarantie und festgeschriebenen Vergütung für den aus Biomasse erzeugten Strom werden durch die Einführung des NawaRo-Bonus¹⁷⁶ starke Anreize gesetzt.

- **Nutzung:** Anfang 2005 wurden etwa 2.100 landwirtschaftliche Biogasanlagen mit einer installierten Gesamtleistung von 430 MW hauptsächlich von Landwirten betrieben. Bis Ende 2006 könnten es ca. 4.000 Anlagen mit einer Leistung von 600 bis 800 MW sein¹⁷⁷. Im Wesentlichen werden Anlagen in der Leistungsklasse von 300 bis 500 kW gebaut¹⁷⁸, häufig als einzelbetriebliche Anlage. Bei größeren Anlagen über 500 kW schließen sich Landwirte oft zu Betriebsgemeinschaften

¹⁷⁰ Z 0 Uneingeschränkter Einbau; Z 1.1 Eingeschränkter offener Einbau, Z 1.2 Eingeschränkter offener Einbau in hydrogeologisch günstigen Gebieten; Z 2 Eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen.

¹⁷¹ Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln vom 26. November 2003; BGBl. I, S. 2373.

¹⁷² FNR 2000b, zitiert in ILN 2005

¹⁷³ ILN 2005

¹⁷⁴ Die bei der Produktion von Biogas anfallende Wärme wird bisher jedoch noch nicht in nennenswertem Umfang genutzt. (Bensmann 2005)

¹⁷⁵ FNR 2000a

¹⁷⁶ EEG 2004, §8, Abs.2, vgl. auch Kapitel 1.1 Landwirte erhalten beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen zur Stromerzeugung einen Bonus von 6 Cent je Kilowattstunde auf die Grundvergütung

¹⁷⁷ DBV et al 2005, BBE 2004

¹⁷⁸ Günstige Einheiten für einzelbetriebliche Anlagen oder eine Gemeinschaftsanlage von zwei bis vier landwirtschaftlichen Betrieben liegen bei einer elektrischen Leistung von 150 kW bis zu 500 kW, wobei etwa 40 bis 125 ha Energiepflanzen in Ko-Fermentation mit verwertet werden. (IE 2004a)

zusammen¹⁷⁹. Auch MW-Anlagen werden vermehrt gebaut¹⁸⁰. Es überwiegen Anlagen, in denen tierisch basierte Substraten (Gülle, Mist) und nachwachsende Rohstoffe in Form von Energiepflanzen wie Mais und Getreide-Ganzpflanzensilage gemeinsam vergoren werden. Bisher gibt es nur wenige Anlagen¹⁸¹, die als Monosubstratanlagen auf der Basis von Energiepflanzen betrieben werden¹⁸². Abbildung 5 zeigt die Biogaserträge unterschiedlicher Substrate.

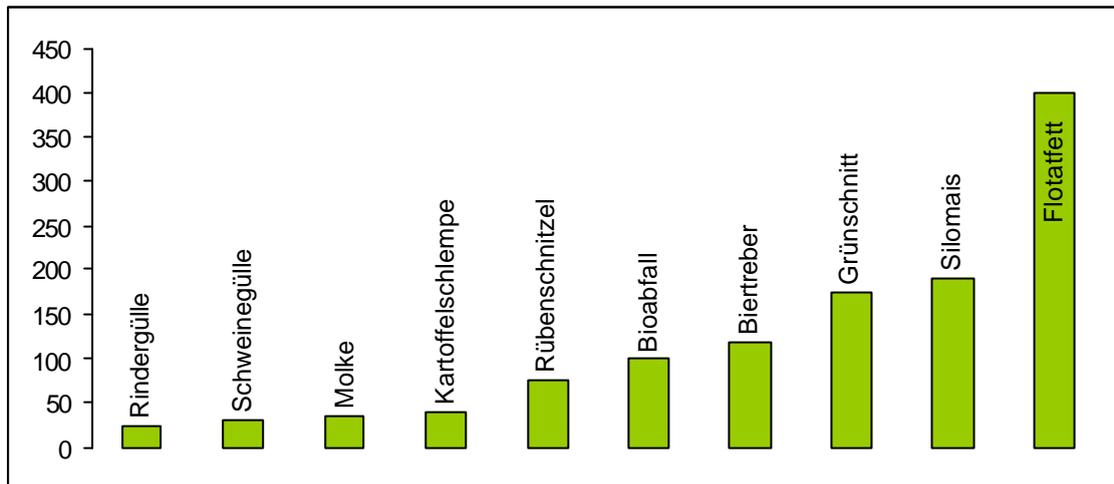


Abbildung 5: Biogaserträge unterschiedlicher Substrate¹⁸³

- **Einsatz nachwachsender Rohstoffe:** Sämtliche Grünpflanzen sind zur Vergärung geeignet, sofern noch keine Verholzung stattgefunden hat. Mit steigendem Verholzungsgrad nimmt die Gasausbeute und Gasbildungsrate ab¹⁸⁴. Eine extensive Bewirtschaftung mit hoher Artenvielfalt ist damit möglich (2 Ernten pro Jahr)¹⁸⁵. Derzeit sind Mais¹⁸⁶ und Grassilage (z.B. Grünschnitt, Weidelgras)¹⁸⁷ die gängigsten Substrate, die in Biogasanlagen verwertet werden¹⁸⁸. Aber auch andere

¹⁷⁹ Bensmann 2005

¹⁸⁰ Bensmann 2005

¹⁸¹ siehe u.a. ILN (2005), S.45-47

¹⁸² Vorteile dieser Anlagen liegen in der hohen spezifischen Gasproduktivität, geringen Geruchsproblemen, der Standortunabhängigkeit und einwandfreier Hygiene. Nachteile stellen das erhöhte Prozessrisiko und der größere verfahrenstechnische Aufwand dar. ILN 2005, Bensmann 2005

¹⁸³ Biogasertrag (m³ Gas/ t Substrat); Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung, FNR; abgebildet in: FNR 2005a, veränderte Darstellung,

¹⁸⁴ Öl- und faserhaltige Pflanzen erfordern für den Abbau längere Verweilzeiten als protein- und kohlenhydrathaltige Energiepflanzen. (Weiland 2004)

¹⁸⁵ Wagner 2004

¹⁸⁶ Als Kosubstrat wird bisher fast ausschließlich Silomais eingesetzt, weil er hohe Erträge erzielt, eine günstige Zusammensetzung der Inhaltsstoffe bietet und gute Silierfähigkeiten besitzt (ILN 2005; Heiermann, Plöchl 2004). Untersuchungen zur energetischen Nutzung in Biogasanlagen gab es bisher vor allem zu Mais und Gras (ILN 2005).

¹⁸⁷ In der Regel fällt das verwendete Gras im Betrieb als Nebenprodukt an und wird nicht explizit zur Vergärung angebaut

¹⁸⁸ Schütte 2004, Bensmann 2005, FNR 2005a, ILN 2005

Futterpflanzen wie Futterrüben, Getreide (Getreideganzpflanzensilage und Getreidekorn) und Zwischenfrüchte wie Senf, Raps und Winterroggen eignen sich gut. Marktfrüchte wie Kartoffeln, Zuckerrüben oder Gemüse werden bislang noch wenig eingesetzt.

Weitere aussichtsreiche Kulturen für die Biogaserzeugung sind¹⁸⁹: Weyrichknöterich, Durchwachsene Silphie, Sudangras, Zuckerhirse, Topinambur (Kraut und Silage), Luzernegrass, Gerstgras, Ölrettich, Klee gras, Lupine, Erbsen/Bohnen, Sonnenblumen, Kürbis und Hanf. Energiepflanzen mit hoher Schwefel Aufnahme (z.B. Raps) sind wegen der hohen H₂S-Gehalte im Biogas für die Biogaserzeugung weniger geeignet¹⁹⁰. Die Vergärungseigenschaften der Energiepflanzen variieren je nach Sorte, Standort, Bodentyp und –art sowie Erntezeitpunkt¹⁹¹. Bei Monovergärung ist auf ein ausgeglichenes Nährstoffverhältnis zu achten.¹⁹²

- **Abfälle/ Reststoffe:** Das vergorene Material wird in der Regel durch Ausbringen auf landwirtschaftliche Flächen als Düngematerial in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt. Um Methanemissionen bei einer Zwischenlagerung zu vermeiden, kann das vergorene Material einer Nachkompostierung (aerobe Nachbehandlung) zugeführt werden. Diese Nachbehandlung ist auch aufgrund der hierdurch bewirkten Qualitätssteigerung des Düngemittels vorteilhaft.¹⁹³

Die Vergärung reduziert die Geruchsentwicklung bei der Lagerung und Ausbreitung von Gülle, weil im Verlauf des Gärungsprozesses die Geruchsstoffe abgebaut und neutralisiert werden. Die Qualität der Wirtschaftsdünger wird verbessert, weil Krankheitserreger und Unkrautsamen zum Teil abgetötet und Nährstoffe besser pflanzenverfügbar werden, sodass deren gezieltere Anwendung als Ersatz für Mineraldünger ermöglicht wird.¹⁹⁴

Für Ökolandbau-Betriebe ergibt sich hier der Vorteil, die Abfälle aus Monovergärungen¹⁹⁵, z.B. aus Mais und Klee gras aus der Biogasherstellung als flüssigen Bio-Wirtschaftsdünger einzusetzen. Bislang wurde Klee gras in Ökolandbaubetrieben mit geringem Anteil an Viehhaltung zumeist als Stickstoffdünger untergepflügt, weil herkömmliche mineralische Dünger nicht eingesetzt werden dürfen. Dies bringt jedoch Emissionen von Ammoniak, sowie von klimarelevanten

¹⁸⁹ Vetter 2004, ILN 2005

¹⁹⁰ Weiland 2004

¹⁹¹ Weiland 2004

¹⁹² Weiland 2004

¹⁹³ Kaltschmitt, Hartmann 2001

¹⁹⁴ FNR 2005a

¹⁹⁵ Wegen der geringeren Zahl von Tieren pro Hektar im Ökolandbau und dem damit fehlenden Flüssigmist als klassischem Grundstoff bietet sich die Monovergärung für Biobetriebe besonders an. Mit der Unterstützung des BMU wird derzeit eine solche Anlage zur Biogaserzeugung aus Klee gras und Maispflanzen in einem Biolandbetrieb in Luckau (Wendland) errichtet. Diese erzeugt zugleich Bio-Dünger. (PM 164/04 BMU)

Gasen wie Methan und Lachgas mit sich und führt zugleich zu Stickstoff- und damit Ertragsverlusten. Dies kann somit vermieden werden.¹⁹⁶

Der Düngerwert der jeweiligen Substrate ist außerdem ein nicht zu vernachlässigender Faktor bei der Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage.¹⁹⁷

Der Gärrest ist in der Regel flüssiger als unvergorenes Material. Sofern für den jeweiligen Verwertungsweg ein bestimmter Trockenmassegehalt (etwa 50 %) gefordert wird, muss nach der Vergärung eine Fest-/Flüssig-Trennung stattfinden. Hierbei entsteht als weiterer Rückstand Presswasser. Dieses kann zur Rückimpfung verwendet werden. Bei der Flüssigvergärung fester Abfälle kann Presswasser zum Anmischen der Ausgangsstoffe eingesetzt werden. Ein weiterer Anteil wird insbesondere bei kombinierten Gär- und Kompostierverfahren zur Mietenbewässerung und ggf. zur Nährstoffversorgung holzreicher Kompostmieten eingesetzt.¹⁹⁸

Das Presswasser, das nicht wieder in den Prozess rückgeführt werden kann, kann – sofern es nicht zu stark etwa mit Schwermetallen belastet ist – aufgrund seines hohen Nährstoffgehalts in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Im Falle, dass eine Verwertung nicht möglich ist, muss das Prozesswasser vor einer Einleitung in den Vorfluter entsprechend aufbereitet werden.¹⁹⁹

3.3.3 Anlagen zur Herstellung von Biodiesel

Die bioenergetische Kraftstoffnutzung wird in Deutschland fast ausschließlich durch Biodiesel abgedeckt²⁰⁰. In den letzten Jahren hat der Biodiesel-Absatz kontinuierlich zugenommen (siehe Tabelle 4). Biodiesel wird in erster Linie aus Raps, d.h. Rapsöl gewonnen, das nach Umesterung Rapsmethylester (RME) ergibt. Biodiesel lässt sich als Kraftstoff in modernen hierfür freigegebenen Dieselmotoren problemlos einsetzen und ist auch mit Dieselkraftstoff in jedem beliebigen Verhältnis mischbar.²⁰¹

¹⁹⁶ BMU 2004c

¹⁹⁷ ILN 2005

¹⁹⁸ Kaltschmitt, Hartmann 2001

¹⁹⁹ Kaltschmitt, Hartmann 2001

²⁰⁰ Über drei Millionen Pkw in Deutschland sind derzeit für Biodiesel freigegeben. Biodiesel wird bundesweit mittlerweile an zirka 1.900 Tankstellen (von insgesamt 15.800) angeboten (DBV et al 2005)

²⁰¹ DBV et al 2005

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Kapazität	100	175	249	558	953	1.108	1.200
Absatz	65	130	340	450	550	810	1.180

Tabelle 4: Entwicklung von Biodiesel-Absatz und -Produktionskapazität 1998-2004 in Tsd. Tonnen²⁰²

- **Nutzung:** Biodiesel wird in erster Linie aus Rapsöl gewonnen. Derzeit wird in Deutschland auf rund 1 Mio. ha Raps angebaut. Das Produktionspotential bei Biodiesel ist mit rund 1,3 Mio. Tonnen nahezu ausgeschöpft²⁰³. Eine Steigerung bis auf 1,6 Mio. t ist noch möglich.²⁰⁴
- **Einsatz nachwachsender Rohstoffe:** In Deutschland wird vorrangig Raps verwendet, in Ergänzung dazu Sonnenblumen²⁰⁵. Auch die Nutzung von Öllein ist möglich²⁰⁶.
- **Abfälle/ Reststoffe:** Bei einem durchschnittlichen Ertrag von 3,5 t/ha steht eine Produktion von rund 2,5 Mio. t Rapssaat für die Biodieselgewinnung zur Verfügung. Bei einer Ölausbeute von knapp 40 % werden etwa 1 Mio. t Rapsöl gewonnen, das nach erfolgter Umesterung etwa 1 Mio. t Biodiesel ergibt. Daneben fallen folgende Abfälle an:
 - Presskuchen / Extraktionsschrot: Der feste Rückstand aus der Ölgewinnung (d.h. Presskuchen bei Pressverfahren und Extraktionsschrot bei Lösemittlextraktion) kann als Futtermittel, organischer Dünger, Brennstoff oder Rohstoff bei der Biogasproduktion verwendet werden. Aus wirtschaftlichen Gründen wurde bisher ausschließlich die Verwertung als Futtermittel realisiert. Die Rückstände sind reich an Proteinen und stellen somit wertvolle Eiweißfuttermittel dar, die in Kombination mit Ergänzungstoffen zu tierartspezifisch optimierten Futterrationen zusammengestellt werden können.
 - Glycerin: Bei der Umesterung entsteht Glycerin, das nach einer entsprechenden Aufbereitung getrennt, von den übrigen Produkten vermarktet werden kann. Glycerin ist in der Nahrungsmittel-, Chemie-, Pharma- und Kosmetikindustrie vielfältig einsetzbar.
 - Sonstige Kuppelprodukte: Weitere Kuppelprodukte fallen bei der Raffination und bei der Aufarbeitung von Rohglycerin an. Die anfallenden Mengen sind

²⁰² BBE 2005

²⁰³ Übersichtskarte der bestehenden und geplanten Anlagen und derer Produktionspotentiale
<http://www.fnr-server.de/cms35/index.php?id=617&GID=0&OID=0&KID=7>

²⁰⁴ Lübbecke et al 2005

²⁰⁵ IE 2004a

²⁰⁶ Schütte 2004

aber im Vergleich zu den anderen Kuppelprodukten gering; sie werden zudem gegenwärtig sehr unterschiedlich verwendet. Sie können ebenfalls dem Schrot zugegeben oder aber getrennt vermarktet werden²⁰⁷.

3.3.4 Anlagen zur Erzeugung von Bioethanol

Ethanol eignet sich als Treibstoff oder Treibstoffzusatz. Er kann Alkohol aus zucker-, stärke- oder zellulosehaltigen organischen Stoffen mit Hilfe von Hefen oder Bakterien produzieren. Anschließend kann durch Destillation bzw. Rektifikation nahezu Alkohol in Reinform gewonnen werden.

- **Nutzung:** Bisher wird in Deutschland kein Bioethanol als Kraftstoff verwendet²⁰⁸. Das liegt zum einen daran, dass es, als Reinkraftstoff verwendet, einen speziellen Motor benötigen würde. Zum anderen liegt es daran, dass Bioethanol als Beimischung zu herkömmlichem Kraftstoff bisher nicht mineralölsteuerbefreit war. Das zukünftige Absatzpotenzial für Biokraftstoffe in Deutschland ist durch die Richtlinie zur Förderung von Biokraftstoffen jedoch sehr hoch²⁰⁹. Der Bundesverband Bioenergie geht von einer Steigerung der Bioethanolproduktion auf 500.000 Tonnen aus (Bioethanolproduktion 2004: 34.000 t).²¹⁰
- **Einsatz nachwachsender Rohstoffe:** Bioethanol kann aus zucker- und stärkehaltigen Fruchtarten wie Zuckerrüben, Getreide (Roggen, Triticale, Weizen, Gerste, Hafer), Kartoffeln, Topinambur, Mais sowie potentiell aus Cellulose und Hemicellulose (Holz, Stroh)²¹¹ gewonnen werden.²¹²
- **Abfälle/ Reststoffe:** Neben der Alkoholproduktion fällt Schlempe an. Die nährstoffhaltigen Schlempen werden in der Regel als Futter- oder Düngemittel verwendet. Gegebenenfalls kann die Schlempe vor einer Verfütterung auch getrocknet werden, was sich allerdings nur bei einer großen Kapazität der Bioethanolanlagen und einem dementsprechend großen Output an Schlempen

²⁰⁷ Kaltschmitt, Hartmann 2001

²⁰⁸ In den USA hingegen wird Ethanol durch die Beimischung zu herkömmlichen Treibstoffen bereits umfangreich genutzt. Bei 1000 Liter Bioethanolproduktion je Hektar wurden damit in den USA 2002 bereits 6,7 Millionen Hektar Nicht-Nahrungsmittelzwecken zugeführt.(BBJ 2002)

²⁰⁹ IE 2004a

²¹⁰ BBE 2004 und DBV et al 2005. Laut einer Studie des Institut für Energetik und Umwelt sind die Investoren in Deutschland jedoch trotz der 100 %-igen Befreiung von der Mineralölsteuer sehr zurückhaltend, weil sie befürchten, dass sie substanzielle Marktanteile durch importiertes Bioethanol aus Brasilien und Nordamerika verlieren und neu errichtete Anlagen sich im angestrebten Zeitraum nicht amortisieren können (IE 2004a). Eine Übersicht der sich im Bau und in Planung befindlichen Bioethanolanlagen in Deutschland findet sich online unter <http://www.fnr-server.de/cms35/index.php?id=617&GID=0&OID=0&KID=16>, zuletzt aufgerufen am 07.07.2005

²¹¹ Werden zellulosehaltige Ausgangsmaterialien eingesetzt, ist zunächst eine Verzuckerung notwendig. Dies wurde zwar gelegentlich realisiert, kann aber aufgrund des hohen technischen Aufwandes (z. B. Säureinsatz) nicht als großtechnisch verfügbar angesehen werden (FNR 2000a). Solche Verfahren kommen deshalb nur dort zum Einsatz, wo die verwendeten Rohstoffe als Abfälle anfallen (Kaltschmitt, Hartmann 2001)

²¹² vgl. Kaltschmitt, Hartmann 2001, DBV et al 2005, Schmitz 2003, Schütte 2004, Greef 2004, IE 2004a

lohnt. Eine weitere Einsatzmöglichkeit besteht in der Energieherstellung aus Schlempe durch Vergärung.

3.3.5 Anlagen zur Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen

Im Laufe des nächsten Jahrzehnts können synthetische Biokraftstoffe, so genannte Biomass-to-liquid (BTL)-Kraftstoffe, zunehmende Bedeutung erlangen. BTL wird unter anderem deshalb mit großem Interesse diskutiert, weil hier eine erhebliche Bandbreite an Biomassequellen die Rohstoffbasis bilden kann. Im Gegensatz zum Biodiesel kann durch die Nutzung von Ganzpflanzen und Holz auch ein höherer Energieertrag pro Fläche erzielt werden²¹³. Technisch haben BTL-Kraftstoffe den Vorteil, sich speziell an die Anforderungen der Motoren anpassen zu lassen²¹⁴.

Die BTL-Kraftstoffe werden in zwei Schritten hergestellt. Im Ersten wird die Biomasse (aus Land- und Forstwirtschaft sowie Rest- und Abfallstoffe) vergast. Anschließend wird aus dem Synthesegas ein synthetischer Kraftstoff gewonnen.

- **Nutzung:** Gegenwärtig besteht noch hoher technologischer Entwicklungsbedarf bei den BtL-Verfahren²¹⁵. Erste Ergebnisse liegen aus Unternehmen CHOREN in Sachsen vor, das in einer Gemeinschaftsinitiative von DaimlerChrysler und Volkswagen unterstützt wird²¹⁶. Hier wird aus Ganzpflanzen und organischen Abfällen über das Fischer-Tropsch-Syntheseverfahren ein synthetischer Biokraftstoff, genannt SunFuel[®], hergestellt. Erste Testfahrten mit Sunfuel werden bereits durchgeführt.²¹⁷ Größere Anlagen zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen sind möglicherweise in acht bis zehn Jahren zu erwarten²¹⁸. Dabei sind nach gegenwärtigem Kenntnisstand große Anlagen mit einem Holzbedarf von ca. 900 000 t/a (500 MW-Klasse) am ehesten ökonomisch tragfähig²¹⁹.

²¹³ Das Potenzial ist deutlich größer als beispielsweise das von Ethanol oder Biodiesel. Nach Angaben der Firma Ludwig Bölkow Systemtechnik (LBST) wird im Vergleich zu Biodiesel etwa der dreifache Ertrag an Kraftstoff pro Hektar Agrarfläche (Energieäquivalent) erzielt. Der Grund hierfür ist, dass bei Biodiesel nur das Öl der Frucht und nicht die ganze Pflanze genutzt wird. Zusätzlich können auch Bioreststoffe genutzt werden, die nach Berechnungen des Instituts für Energie und Umwelt in Leipzig das Potenzial von BtL-Kraftstoffen (in diesem Fall SunFuel[®]) gegenüber Biodiesel auf das bis zu Siebenfache multiplizieren. (Volkswagen AG 2005)

²¹⁴ DBV et al 2005

²¹⁵ DBV et al 2005, Lübbecke et al 2005, IE 2004a

²¹⁶ Ab 2008 soll außerdem in einer Anlage in Lubmin (Mecklenburg Vorpommern) mit der Produktion von 225 Millionen Liter Kraftstoff aus Holzabfällen, Stroh und Mais begonnen werden. (In: „Lausitzer Rundschau online“, 23.10.2004: Sachsen bringen neue Raffinerie nach Lubmin und „Die Zeit“: Revolution im Tank, 08.07.2004 Nr.29, online unter <http://www.choren.de/cgi-bin/spiegel.cgi?i=3&sprache=1>)

²¹⁷ DBV et al 2005; BMVEL 2005a

²¹⁸ IE 2004a; vgl. auch BMVEL 2005a

²¹⁹ Vogel, Kaltschmitt 2004, zitiert in IE 2004a

-
- **Einsatz nachwachsender Rohstoffe:** Als vielversprechend wird in erster Linie der Einsatz von holzartigen Biomassen und Ganzpflanzen (z.B. Stroh, Mais und andere) eingeschätzt.²²⁰
 - **Abfälle/ Reststoffe:** Als wesentlicher Abfall des Verfahrens fällt Schlacke an, die bereits eluierfest ist und als Baustoff verwendet werden kann. Es ist hierbei also keine Schlackenaufbereitung mehr notwendig. Als Zwischenprodukt fällt Wachs an, das für die Kraftstoffherstellung genutzt und insoweit verwertet werden kann.²²¹

²²⁰ IE 2004a, Schütte 2004

²²¹ Informationszentrum des Unternehmen Choren, Telefonat vom 28.05.2005

4 Auswirkungen nachwachsender Rohstoffe auf die Bodenqualität

Ziel des folgenden Kapitels ist es, die Bodenauswirkungen eines verstärkten Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen zur energetischen Nutzung zu untersuchen. Dabei wird sowohl der Anbau einjähriger, wie auch mehrjähriger Energiepflanzen betrachtet.

Die Untersuchung der Energiepflanzen und Bodenauswirkungen des Anbaus im Kapitel 4.2 konzentriert sich auf die aktuell und mittelfristig am stärksten genutzten Pflanzen.

4.1 Kategorisierung der Bodenauswirkungen

Der Ausbau von nachwachsenden Rohstoffen zur Energiebereitstellung birgt neben zahlreichen positiven Potentialen auch Risiken. Dazu zählt auch die Gefahr der Beeinträchtigung der Schutzgutes Boden. Da bereits die konventionelle landwirtschaftliche Produktion teilweise mit schädlichen Auswirkungen auf den Boden verbunden ist, muss untersucht werden, inwieweit der Anbau nachwachsender Rohstoffe zu Beeinträchtigungen des Bodens führt. Als wesentlich bodenschutzbezogene Auswirkungen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe wurden dabei identifiziert²²²:

- **Bodenerosion,**
- **Schadverdichtungen von Böden,**
- **Eutrophierung von Biotopen und**
- **Belastung mit Pflanzenschutzmittelwirkstoffen (PSM)**
- **Einfluss auf den Gehalt an organischer Bodensubstanz**

Diese werden im Folgenden erläutert. Im Rahmen der Kapitel 4.2 und 4.5 werden diese für die verschiedenen Kulturarten konkretisiert. Zudem soll nachfolgend auch auf den Einfluss des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf Bodenorganismen eingegangen werden. Jedoch können diese nicht für die einzelnen Kulturarten konkretisiert werden.

Bei der Bewertung der bodenrelevanten Auswirkungen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe muss beachtet werden, dass diese im konkreten Fall differenziert standortabhängig, nach Bodentyp und -art, Anbauform; Fruchtfolgeketten und im Vergleich zu einem bestimmten Referenzsystem bewertet werden müssen.

1. **Referenzsystem:** Die Bewertung der bodenrelevanten Auswirkungen hängt davon ab, mit welchen Alternativnutzungen sie verglichen werden²²³. Hierbei kommen auf

²²² Diese wurden auch als die wesentlichen boden- und naturschutzrelevanten Wirkfaktoren bei der Bereitstellung von Anbaubiomasse im Rahmen des Projektes „Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien“ (IFEU, IUS 2004) ermittelt.

²²³ vgl. Kaltschmitt, Reinhardt 1997; IFEU, IUS 2004

insbesondere die konventionelle landwirtschaftliche Nutzung, Dauerbrache, Rotationsbrache, forstliche Nutzung und Naturschutzflächen in Betracht. In der vorliegenden Analyse wurden, in Anlehnung an die Studie von IFEU und IUS 2004²²⁴, ausschließlich die vom Anbau auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche ausgehenden Wirkfaktoren berücksichtigt, weil der Energiepflanzenanbau nach derzeitigem Stand überwiegend auf landwirtschaftlichen Flächen, die der konjunkturellen Stilllegung unterliegen, erfolgt.²²⁵ Für die einjährigen Energiepflanzen wurde dabei das Referenzsystem „begrünte einjährige Rotationsbrache“ herangezogen. Für Miscanthus und schnellwachsende Baumarten (Pappel, Weide) wurde ein Anbau auf Acker- und Grünlandflächen angenommen und das Referenzsystem „Begrünte Dauerbrache“ gewählt.²²⁶ Die Betrachtung anderer potentieller Flächen für den Anbau von Energiepflanzen erfolgt in Kapitel 2.2.

2. **Bodentyp/ Bodenart und Empfindlichkeit ggü. Wirkfaktoren:** Die konkrete Gefährdung der Böden hängt auch von deren Empfindlichkeit gegenüber den verschiedenen Wirkfaktoren ab. Aufgrund der Vielfalt der möglicher Standorte können pauschale Aussagen dazu nicht getroffen werden, vielmehr muss eine Bewertung aufgrund der standörtlichen Gegebenheiten im Einzelfall getroffen werden. Eine differenzierte Beurteilung ist somit innerhalb dieses Gutachtens nicht möglich.²²⁷ Jedoch werden im Rahmen der Analyse der einzelnen Kulturarten (Kapitel 4.2) Angaben zu deren standörtlichen Anforderungen gegeben.
3. **Anbauform, Fruchtfolge:** Zudem gilt, dass die genannten Bodengefährdungen im Einzelfall stark von der Anbauform, der Bewirtschaftungsform und der Wahl der Fruchtfolgen²²⁸ abhängen²²⁹. Durch standortangepasste Bewirtschaftung können insbesondere die Faktoren Bodenerosion und Schadverdichtung, bezüglich derer wesentliche Unterschiede bezüglich bei den einzelnen Kulturarten auftreten, minimiert werden. Ausführungen zu verschiedenen Anbauoptionen finden sich in Kapitel 4.4.

Eine differenzierte standortabhängige Analyse kann innerhalb dieses Gutachtens nicht durchgeführt werden. Dies bedeutet, dass ausschließlich Risiken einer Beeinträchtigung des Schutzgutes Boden dargestellt werden können.

²²⁴ Die Bewertung der Bodenauswirkungen der einzelnen Kulturarten basiert aber auch auf anderen Quellen, siehe Kapitel 4.2 und 4.5

²²⁵ IFEU; IUS 2004

²²⁶ vgl. IFEU, IUS 2004

²²⁷ vgl. Choudhury et al 2001

²²⁸ Zwischen den Kulturen bestehen komplexe Wechselwirkungen, etwa bzgl. der Stickstoffbevorratung, Vor- und Nachbehandlung des Standortes durch Pestizide, unterschiedliche Bodenbearbeitung etc. Oftmals spielt auch der Aufwuchs der Vorkultur eine Rolle, für dessen Bekämpfung nur bestimmte Kulturarten geeignet sind (z.B. Klee, Gelbsenf, Sommergetreide nach Topinambur; Futtergräser mit mehrmaligem Schröpfschnitt; Sommerraps oder Sommerweizen nach Miscanthus etc) (Kaltschmitt, Hartmann 2001)

²²⁹ IFEU; IUS 2004

4.1.1 Bodenerosion

- **Ursachen:** Die Erosion von Böden durch Wind und Wasser ist abhängig von der Bodenbedeckung und damit von der Fruchtfolge und den spezifischen Eigenschaften der Kulturpflanzen sowie von der Bodenbearbeitung. Landwirtschaftliche Wirkfaktoren, die Bodenerosion fördern sind:
- Bodenbedeckung, Topographie, Fruchtfolge sowie die kulturspezifischen Eigenschaften der angebauten Kulturen, wobei lange Phasen mit fehlender oder geringer Bedeckung erosionsfördernd sind²³⁰.
 - Die Bodenbearbeitung durch Herstellung eines fein krümeligen Saatbettes, das in der Folge zu Verschlammung und Oberflächenverkrustung führt, sowie Bodenverdichtung, die zu einer Erhöhung des Oberflächenabflusses führt.
 - Die Ausbildung von Abflussrinnen in Fahrspuren durch die Bodenverdichtung aufgrund des Landmaschineneinsatzes.
 - Ein hohes Risiko besteht unter Reihenkulturen, z.B. Kartoffel und Zuckerrübe. Ursachen sind u.a. die hohen Pflanzabstände, die langsame Entwicklung bis zum Reihenschluss, die Bestellung im Frühjahr sowie die Herstellung eines fein krümeligen, zu Verschlammung und nachfolgender Oberflächenverkrustung neigenden Saatbettes.²³¹
- **Bodenauswirkungen:** Die Bodenerosion beschreibt die Verlagerung, d.h. den Abtrag und die Akkumulation von Boden durch Wasser, Wind sowie Temperatureinfluss.²³² Empfindlich gegenüber der Erosion durch Wasser sind insbesondere sandige Lehme und lehmige Sande in Bereichen mit Hangneigungen >4%. Die Wassererosion tritt vor allem bei Starkregenereignissen und bei geringer Bodenbedeckung (<50%) auf. Gegenüber der Windeerosion sind besonders Feinstände und Anmoore in trockenem Zustand empfindlich. Voraussetzung für das Auftreten der Windeerosion sind eine offene gegen Windeinfluss ungeschützte Landschaft und eine geringe Bodenbedeckung (<20%)²³³. Während bundesweite Durchschnittswerte für den Bodenabtrag durch Erosion nicht vorhanden sind, existieren Schätzungen und Datenerhebungen für einzelne Regionen. Nach dem Atlas der Erosionsgefährdung wird der Bodenabtrag von Ackerflächen durch Wassererosion etwa in Bayern im Mittel auf jährlich 8 Tonnen pro Hektar geschätzt. Bei Mais- und Zuckerrüben-Fruchtfolgen kann der Abtrag ein Vielfaches davon erreichen.²³⁴

²³⁰ Richter 1998, ZALF o.J., zitiert in IFEU, IUS 2004, ILN 2005

²³¹ IFEU, IUS 2004

²³² IFEU, IUS 2004

²³³ IFEU, IUS 2004

²³⁴ SRU 2000, zitiert in Choudhury et al 2001

➤ **Vermeidungs-/ Minderungsmaßnahmen:** Die Minderung der Bodenerosion ist durch verschiedene Maßnahmen der Fruchtfolgegestaltung und technische Maßnahmen zu erreichen, u.a.: ²³⁵

- Die Berücksichtigung von Zwischenfrüchten, Mulch-, Unter- bzw. Stoppelsaat in der Fruchtfolge, z.B. mit Senf oder Pamelia sowie die Rotationsbrache
- Minimierung und Optimierung des Landmaschineneinsatzes
- Einbringung von Strukturelementen in die Agrarlandschaft inkl. Der gezielten Anlage von Hecken zur Verminderung der Windgeschwindigkeit
- Isohypsenparallele Bearbeitung²³⁶

In einzelnen Regionen Deutschlands konnte mit optimierten Anbaumethoden eine Reduktion der Bodenerosion um 90% erreicht werden²³⁷.

4.1.2 Schadverdichtungen

- **Ursachen:** Der Begriff der Bodenverdichtung, der die Normalverdichtung des Bodens beschreibt, wird allgemein von dem Begriff der Bodenschadverdichtung unterschieden. ‚Bodenschadverdichtung‘ bedeutet eine anthropogen verursachte Verdichtung des Bodens über die Normalverdichtung hinaus, verbunden mit einer Beeinträchtigung wichtiger Bodenfunktionen. Betroffen sind neben Siedlungsflächen, vor allem intensiv genutzte land- und forstwirtschaftliche Flächen.²³⁸ Schadverdichtungen sind abhängig von den Bodeneigenschaften, der Art der Landmaschinen, einschließlich Bereifung und Reifendruck sowie Häufigkeit und Zeitpunkt der Durchfahrten. Hauptursachen für Schadverdichtungen sind das Befahren der Böden mit schweren Landmaschinen sowie die Bodenbearbeitung mit dem Pflug.²³⁹ Die Verdichtungsneigung eines Bodens nimmt mit steigendem Ton- und Wassergehalt zu.
- **Bodenauswirkungen:** Schadverdichtungen von Böden sind mit negativen Auswirkungen auf alle Bodenfunktionen, insbesondere auf die Ertragsfunktion bezüglich Pflanzenwachstum, Filterfunktion, Pufferfunktion und Lebensraumfunktion verbunden²⁴⁰. Im Genauerem sind diese:

²³⁵ IFEU, IUS 2004

²³⁶ Groeblichhoff, Zerhusen-Blecher 1996

²³⁷ Groeblichhoff, Zerhusen-Blecher 1996

²³⁸ Bork et al 1999, zitiert in Choudhury et al 2001. Eine Studie der Bayrischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau untersuchte Ende der 90er Jahre beispielhaft den Befahrungsgrad des Bodens beim Winterweizenanbau. Danach blieb weniger als 1/3 der Fläche unbefahren, während die anderen 2/3 drei bis maximal 24 Mal überfahren wurden (Horn 1999, zitiert in Choudhury et al 2001).

²³⁹ ILN 2005

²⁴⁰ IfuL, IFEU 2002a

- Erhöhung der Lagerungsdichte des Bodens,
- Abnahme der für die Bodenfauna wesentlichen Grobporen, bei gleichzeitiger Erhöhung des Anteils von Fein- und Mittelporen. Zudem wird das Volumen der Poren verkleinert und Leitporen durch Scherung unterbrochen.²⁴¹
- Veränderung des in natürlichen Böden überwiegend vertikal ausgerichteten Porensystems hin zu einem zunehmend horizontal ausgerichtetem Porensystem (Plattengefüge).

In der Folge der genannten Primärwirkungen auf das Bodengefüge treten, abhängig von der Schwere der Schadverdichtung, u.a. folgende Wirkungen auf die Bodenfunktionen auf:

- Beeinträchtigung der Pufferfunktion des Bodens im Wasserhaushalt durch Erhöhung des horizontalen Abflusses und in der Folge Erhöhung der Bodenerosion.
- Verschlechterung der Lebensbedingungen für Bodenorganismen und damit deren Leistung im Bezug auf die Aufrechterhaltung der Nährstoffkreisläufe. Damit werden auch die chemischen Bodeneigenschaften verändert.²⁴²
- Beeinträchtigung der Funktion des Bodens als Standort für Pflanzen bei starker Schadverdichtung durch Reduktion der Durchwurzelbarkeit des Bodens.²⁴³
- Herabsetzung der Wasseraufnahme- und -rückhaltefähigkeit sowie der Wasser-, Gas- und Temperaturleitfähigkeit des Bodens. Daraus resultiert ein erhöhter Oberflächenabfluss, Überschwemmungsgefahr sowie Wassererosion.²⁴⁴
- Beeinträchtigung der Ertragsfunktion des Bodens durch die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit²⁴⁵.

Während Verdichtungen des Oberbodens i.d.R. reversibel sind, sind bei starker Schadverdichtung auftretende Beeinträchtigungen der Krumbasis bzw. des Unterbodens in der Regel dauerhaft oder nur mit großen Anstrengungen und nur in sehr großem Zeitumfang zu beheben.

- **Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen:** Im Sinne der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft sind verschiedene Maßnahmen zur Vermeidung und Minderung von starken Beeinträchtigungen des Bodens durch Schadverdichtungen möglich, z.B.:

²⁴¹ Horn 1999, zitiert in Choudhury et al 2001

²⁴² Schrader 2001, zitiert in IFEU, IUS 2004; Choudhury et al 2001

²⁴³ vgl. Petelklau et al 2000, zitiert in IFEU, IUS 2004. Im Jahre 1989 wurden 40% der Ackerfläche in den neuen Bundesländern als verdichtet eingestuft (UBA 1997, zitiert in Choudhury et al 2001). Der Pflanzenenertragsverlust durch Bodenschadverdichtung infolge des Raddrucks wurde für diese Flächen auf 10-25% geschätzt (Dürr et al. 1995, nach UBA 1997, zitiert in Choudhury et al 2001).

²⁴⁴ Horn 1999, zitiert in Choudhury et al 2001

²⁴⁵ Brümmer 2002

-
- Konservierende Bodenbearbeitung²⁴⁶
 - Anpassung der Landmaschinen an die Empfindlichkeit der Böden ggü. Schadverdichtungen. Z.B. durch Verwendung breiter Reifen, geringerem Reifendruck etc.²⁴⁷
 - Minimierung des Landmaschineneinsatzes und Optimierung hinsichtlich Befahrungszeitpunkt, Bodenfeuchte und Radlasten.
 - Anpassung der Bearbeitungszeiten.
 - Onland-Pflügen, d.h. das Fahren außerhalb der Furche zur Vermeidung von Unterbodenverdichtungen.

4.1.3 Eutrophierung

- **Ursachen:** Die Eutrophierung resultiert im Wesentlichen aus der Düngung, ist aber auch abhängig von der Wahl der Fruchtfolge, der Pflanzenkulturen, der Ausbringungstechnik und dem Ausbringungszeitpunkt der Düngemittel sowie der Bodenbearbeitung.²⁴⁸
- **Bodenauswirkungen:** Die Eutrophierung von Biotopen führt zu einer Veränderung der biologischen Aktivität im Boden und zu veränderten biologischen Eigenschaften des Bodens als Pflanzenstandort. Sie wirkt sich durch horizontale Verlagerung über den Ackerschlag hinaus auf die Randstrukturen der Agrarlandschaft aus und ist daher vor allem hinsichtlich der Vielfalt von Pflanzen und Tieren bedeutsam. Folgewirkungen der Bodeneutrophierung betreffen auch die mögliche Nitratauswaschung in das Grundwasser.²⁴⁹
- **Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen:** Eine Erhöhung der Bodeneutrophierung kann durch eine auf Nährstoffentzug ausgerichtete Düngung vermieden werden²⁵⁰. Darüber hinaus sind die Maßnahmen zur Vermeidung und Minderung der Bodenerosion im Hinblick auf eine Verminderung der Eutrophierung angrenzender Biotope, einschließlich der Fließgewässer anzuwenden²⁵¹.

4.1.4 Belastung mit Pflanzenschutzmitteln

- **Bodenauswirkungen:** Durch den Einsatz von PSM kann es zu einer Verlagerung von Fremdstoffen aus den oberen Bodenhorizonten in Grund- und Ober-

²⁴⁶ BMVEL, Stahl et al 2002, zitiert in IFEU, IUS 2004

²⁴⁷ u.a. BMVEL 2001, Petelkau 2002, zitiert in IFEU, IUS 2004

²⁴⁸ ILN 2005, IFEU, IUS 2004

²⁴⁹ IFEU, IUS 2004

²⁵⁰ u.a. Kersebaum 1995, Knickel et al 2001

²⁵¹ IFEU, IUS 2004

flächengewässer kommen sowie durch Erosion und Drift zu einer möglichen Belastung der an den Ackerschlag angrenzenden Biotope. Die Belastung mit PSM hat Auswirkungen auf die Bodenfunktionen, auf die Bodenmikroorganismen²⁵² und die Eigenschaften der Böden als Pflanzenstandort.

- **Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen:** Unerwünschte Wirkungen des PSM Einsatzes sind u.a. durch folgende Maßnahmen zu vermeiden bzw. zu mindern²⁵³:
 - Förderung von Maßnahmen des integrierten Pflanzenschutzes²⁵⁴
 - Anpassung von Fruchtfolgen bzw. Saatverfahren. Durch Mulch- bzw. Direktsaat konnte z.B. in Österreich eine Reduktion des Herbizidaustrags um 70% bzw. 50% erzielt werden²⁵⁵
 - Den Einsatz von Anti-Drift-Drüsen

4.1.5 Einfluss auf die organische Bodensubstanz

Zur organischen Bodensubstanz²⁵⁶ gehören alle in und auf dem Mineralboden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe und deren organischen Umwandlungsprodukte.

- **Bedeutung:** Die organische Bodensubstanz hat einen entscheidenden Einfluss auf alle Bodenfunktionen, etwa die Schadstoffbindung und die Bildung eines Nährstoffreservoirs für das Pflanzenwachstum²⁵⁷. Sie spielt zudem eine zentrale Rolle im globalen Kreislauf des Kohlenstoffs²⁵⁸.
- **Aufbau organischer Substanz:** Organische Stoffe werden dem Boden in Form von Bestandesabfall, Wurzeln und Wurzelausscheidungen, Ernterückständen, abgestorbenem Edaphon und als organische Dünger zugeführt. Da die Menge der Streu bzw. der Ernte- und Wurzelrückstände großen Einfluss auf die Humusmasse hat, ist auch die landwirtschaftliche Fruchtfolge entscheidend. Einen Überblick über den Einfluss verschiedener Bewirtschaftungsmaßnahmen, Fruchtfolgen und deren Einfluss auf den Humusgehalt des Bodens gibt Tabelle 5.

²⁵² Blume et al 2000

²⁵³ IFEU, IUS 2004

²⁵⁴ Knickel et. al 2001. Der integrierte Pflanzenschutz kennzeichnet eine Kombination von Verfahren, bei denen unter vorrangiger Berücksichtigung biologischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen die Anwendung chemischer Maßnahmen auf das unbedingt notwendige Maß beschränkt wird. Beispielsweise: Wahl resistenter Sorten, Anwendung und Dokumentation des Schadschwellenprinzips etc. Siehe dazu auch die Hinweise und Leitfäden des Instituts für integrierten Pflanzenschutz der biologischen Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft (online unter www.bba.de).

²⁵⁵ Rosner, Klik 2001, zitiert in IFEU, IUS 2004

²⁵⁶ In seiner Gesamtheit z.T. auch als Humus bezeichnet. Andererseits wird der Begriff „Humus“ oft auch nur auf die Huminstoffe begrenzt. In diesem Gutachten wird die Gesamtheit der organischen Substanz in Anlehnung an Scheffer-Schachtschabel (2002) als Humus bezeichnet.

²⁵⁷ Die organische Substanz hat eine regulierende Funktion, bei der ein Überangebot von Nährstoffen gebunden werden kann, das später langsam und nachhaltig wieder freigesetzt wird.

²⁵⁸ Etwa 80% der terrestrischen organischen Kohlenstoffvorräte, die am aktiven C-Kreislauf teilnehmen, sind in Böden gebunden nur etwa 20% in der Vegetation (Scheffer-Schachtschabel 2002).

Der Gehalt an organischer Substanz variiert bei verschiedenen Böden in weiten Grenzen. Böden unter Dauergrünland und Wald enthalten meist mehr organische Substanz als benachbarte Ackerböden, weil mehr Streu anfällt und der Boden nicht bearbeitet wird²⁵⁹. Je häufiger ein Boden im Laufe eines Jahres bearbeitet wird und je mehr Geräte verwendet werden, umso stärker sinkt der Humusgehalt²⁶⁰. Die Speicherung von organischem Kohlenstoff wird u.a. vom Klima, der Vegetation, also dem organischen Input, dem Grundwasserstand, der Durchwurzelungstiefe und der Textur²⁶¹ gesteuert.²⁶²

- **Beeinflussung durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe:** Ein mehrjähriger Anbau z.B. von Leguminosen (z.B. Klee- und Luzernearten) ist ein wirksames Mittel, den Humusgehalt der Böden konstant zu halten und zusätzlich die Fruchtbarkeit der Böden zu stärken, weil neben C auch reichlich N dem Boden zugeführt wird. Leguminosen besitzen den Vorteil Luft-Stickstoff mit Hilfe ihrer Knöllchenbakterien zu fixieren und damit den nachfolgenden Kulturen zur Verfügung zu stellen. Auch beim Anbau schnellwachsender Baumarten, wie Weide oder Pappel, kommt es zu positiven Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit. Jedoch sind diese stark abhängig von der Vornutzung. So kann es im Vergleich zu Dauergrünland zu Verlusten an organischer Substanz kommen. Bei einer Vornutzung durch Getreide hingegen kommt es beim Anbau von Kurzumtriebsplantagen zu einem Aufbau organischer Substanz. Längere Umtriebszeiten führen dabei zu einem höheren Humusaufbau.²⁶³

Daneben gibt es auch humuszehrende Fruchtarten. Diese bauen während des Wachstums mehr Humus ab als auf. Hierzu zählen u.a. Hackfrüchte wie Kartoffeln, Silomais, Zuckerrüben²⁶⁴. Beim Anbau der Arten kommt es daher auf ausgewogene, geeignete Fruchtfolgen ohne Dominanz von Humuszehern sowie eine dem Standort angepasste Düngung an. Bei niedrigen und mittleren Humusgehalten sind humusmehrende Maßnahmen durch den Einsatz organischer Dünger und Zwischenfruchtanbau empfehlenswert, um den jährlichen Abbau an organischer Substanz auszugleichen. Bei hohen Humusgehalten wiederum soll auf eine organische Düngung zum Zwecke der Nährstoffzufuhr verzichtet werden. Hier ist eine organische Düngung (z.B. Stroh) nur als Erosionsschutz zweckmäßig.²⁶⁵

²⁵⁹ Durch die Bearbeitung (Vertiefung der Ackerkrume) kommt es zu Verdünnungseffekten der organischen Substanz.

²⁶⁰ Scheffer-Schachtschabel 2002

²⁶¹ Böden mit feinerer Textur speichern in der Regel mehr organische Substanz als grobkörnige Böden.

²⁶² Scheffer-Schachtschabel 2002

²⁶³ Grogan, Mathews 2001, Hansen 1993, Makeschin 1994, zitiert in Van-Camp et al 2004

²⁶⁴ vgl. Leithold 2004

²⁶⁵ Fürstenfeld 1997

Fruchtfolgeglied	Fruchtfolge A, dreijährig	Fruchtfolge B, dreijährig	Fruchtfolge C, vierjährig	Fruchtfolge D, vierjährig	Fruchtfolge E, vierjährig
Hackfrüchte (Zuckerrüben, Silomais oder Kartoffeln)	1x	1x	2x	2x	1x
Getreide oder Körnermais	2x	2x	2x	2x	3x
Zwischenfrucht		1x		2x	
Humusbilanz der Fruchtfolge	Schwach negativ	Schwach positiv	Stark negativ	Ausgeglichen	Ausgeglichen

Tabelle 5: Beispielhafte Humusbilanz verschiedener Fruchtfolgen²⁶⁶

4.1.6 Beeinträchtigung von Bodenorganismen

- **Beeinflussung durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe:** Alle Kulturmaßnahmen, so auch der Anbau nachwachsender Rohstoffe, stellen einen mehr oder weniger starken Eingriff in den Lebensraum der Bodenorganismen dar. In landwirtschaftlich genutzten Böden sind diese Veränderungen ganz besonders deutlich. Bezüglich der potentiellen Beeinträchtigungen der Bodenorganismen kommt es jedoch ganz wesentlich auf die Anbaumethode an, weil Bodenbearbeitung, ein gleichartiger Pflanzenbewuchs auf großen Teilstücken mit Unterdrückung der Wildflora, der Einsatz von Düngern und Pestiziden usw. sich in unterschiedlicher Weise auf die Bodenorganismen auswirken (siehe Tabelle 6)²⁶⁷. So führt das Entfernen von Ernterückständen zu Temperaturschwankungen im Boden sowie zu Änderungen des Wassergehalts. Zudem wird mit dieser Maßnahme einem Großteil der Bodenorganismen die Nahrungsgrundlage entzogen. Düngung hingegen trägt oft zur Förderung von Bodenorganismen bei, weil sie das Nahrungsangebot erhöhen.²⁶⁸

²⁶⁶ Dietz et al. 1992, zitiert in Fürstenfeld 1997

²⁶⁷ Scheffer-Schachtschabel 2002

²⁶⁸ Scheffer-Schachtschabel 2002

	Humusgehalt	Mikrofauna	Mesofauna	Makrofauna
Bearbeitung				
Pflügen	-	+/-	-	-
Minimal	(-)	±	(-)	(-)
Düngung				
Mineralisch	-	+	(+)	(+)
Organisch	+	+	+	+
Ernterückstände				
Liegenlassen	+	(+)	(+)	+
Einarbeiten	+	+	(+)	(+)
Entfernen	-	-	-	-
Pestizideinsatz				
Herbizide	±	±	±	±
Fungizide	±	±	±	(-)
Insektizide	±	-	-	-
Schwermetall- zufuhr	±	-	-	-
+ positiver Effekt, - negativer Effekt, + neutraler Effekt, +/- variabler Effekt, () schwacher Effekt				

Tabelle 6: Verhalten von Humusgehalt und Bodenorganismen gegenüber Bewirtschaftungsmaßnahmen von Ackerland²⁶⁹

4.2 Energiepflanzen und Bodenauswirkungen (Kulturarten)

Im folgenden werden die bodenrelevanten Eigenschaften und Auswirkungen der in Deutschland anbaubaren Pflanzen genannt, die derzeit angebaut bzw. in der aktuellen Diskussion hinsichtlich ihrer energetischen Nutzung als vielversprechend angesehen werden.²⁷⁰ Es wird dabei zwischen einjährigen Kulturen (Raps, Mais, Zuckerrübe, Kartoffel, Getreide), perennierenden Gräsern (Miscanthus) und schnellwachsenden Baumarten (Pappeln, Weiden) unterschieden. Neben den hier genannten Kulturen gibt es weitere Pflanzenarten, die sich prinzipiell für die Biomassennutzung eignen und auf die innerhalb der jeweiligen Unterkapitel kurz eingegangen werden soll.

²⁶⁹ vgl. Scheffer-Schachtschabel 2002, veränderte Darstellung

²⁷⁰ Auswahl vergleiche Kapitel 3.3 sowie ILN 2004; Kaltschmitt, Hartmann 2001; Ökoinstitut 2004, IE 2004a, ILN 2005 u.a.

Die Analyse der relevanten Energiepflanzen bezieht sich auf die Aspekte:

- Aktuelle und potentielle Nutzung in Deutschland
- Bodenrelevante Standortansprüche²⁷¹
- Bodenauswirkungen

Eine Übersicht bezüglich der Bodenauswirkungen der ausgewählten Energiepflanzen findet sich in Kap. 4.5 und ist untergliedert nach:

- Erosionsrisiko
- Schadverdichtungsrisiko
- Eutrophierungsrisiko
- Belastung mit Pflanzenschutzmitteln (PSM)
- Auswirkungen auf die organische Bodensubstanz (Humusbilanz)

4.2.1 Einjährige Kulturen

4.2.1.1 Raps (Brassica napus L.)

➤ **Nutzung:** Raps ist seit Jahren die am meisten angepflanzte Energiepflanze ²⁷². Obwohl Raps im Prinzip auch als Ganzpflanze verfeuerbar wäre, wird in der Regel das Rapsöl bzw. Rapsmethylester (Biodiesel) als Kraftstoff genutzt. Die Koppelprodukte Rapsschrot und Rapskuchen wiederum sind begehrte Futtermittel. Die technischen Möglichkeiten zur Stromversorgung durch Rapsöl und RME werden in den nächsten Jahren aufgrund der hohen Kosten vermutlich kaum zur Anwendung kommen. Die Nutzung wird sich vielmehr auf den Kraftstoffbereich und die stoffliche Nutzung konzentrieren.²⁷³ Darüber hinaus ist die Verfeuerung aufgrund der Abbrändeigenschaften und der Schlackebildung problematisch²⁷⁴. Rapsstroh wird wegen seines hohen Vorfruchtwertes geschätzt und deshalb üblicherweise untergepflügt.

Derzeit wird in Deutschland etwa auf 1 Mio. ha Raps angebaut²⁷⁵. Der Anbau kann nur noch begrenzt ausgebaut werden, weil Raps nur in bestimmten Anbauregionen die erforderlichen natürlichen Bedingungen für hohe Erträge vorfindet und dort

²⁷¹ Bezüglich der Standortansprüche ist jedoch nicht nur die Bodenqualität relevant, sondern insbesondere auch Standorteigenschaften wie Temperatur, Frostlage, Niederschläge, Exposition und Höhenlage. Auf diese kann hier jedoch nicht eingegangen werden.

²⁷² vgl. Bundesregierung 2005, vgl. auch Tabelle 1

²⁷³ ILN 2005

²⁷⁴ Flaig et al 1998, vgl. auch Bockey 2004

²⁷⁵ Greef 2004, IE 2004a, Bundesregierung 2005

heute schon an Fruchtfolgegrenzen stößt. Dabei stellen 1,6 – 1,7 Mio. ha. in etwa die Obergrenze dar.²⁷⁶

Das Kornertragspotential von Winterraps liegt zwischen 2,8 und 4,8 t/ha a (ca. 1100 bis 2000 kg Öl) und zwischen 2,0 und 2,8 t/ha (ca. 750 bis 1100 kg Öl) bei Sommerraps. Zusätzlich fallen pro Tonne Korn Stroh von 1,9 t (Winterraps) bzw. 2,1 t (Sommerraps) an.²⁷⁷

- **Standortansprüche Boden:** Raps bevorzugt tiefgründige milde Lehmböden mit ausreichender Kalk- und gleichmäßiger Wasserversorgung. Auch schwere Böden und humose Sandböden mit guter Nährstoffversorgung sind bei ausreichend Niederschlägen sowie gleichmäßiger Niederschlagsverteilung geeignet. Problematisch sind leichte oder flachgründige Böden, weil Raps eine gute Durchwurzelbarkeit verlangt und Flachgründigkeit bei Trockenheit zu starken Ertrags- einbußen führt. Aufgrund des Auftretens von Krankheiten ist Raps nicht selbst- verträglich. Die Anbaupause sollte 3 - 4 Jahre betragen.²⁷⁸
- **Bodenauswirkungen:** Durch seine starke Anfälligkeit für Krankheiten und Schädlinge benötigt eine intensive Rapsproduktion einen hohen Einsatz an PSM.²⁷⁹ Hauptsächlich kommt chemische Unkrautbekämpfung zum Einsatz. Pilzkrankheiten stellen ebenfalls ein Problem im Rapsanbau dar. Daher werden Fungizide je nach den schlagspezifischen Besonderheiten eingesetzt²⁸⁰. Zudem hat Raps einen sehr hohen Stickstoffdüngbedarf (110 – 220 kg/ha), der mit einem hohen Nitrat- verlagerungsrisiko verbunden ist.²⁸¹

Für seine Folgekulturen bietet Raps gute Vorfruchteigenschaften, weil er den Boden intensiv durchwurzelt, lange und stark beschattet und so in einem guten Garezustand hinterläßt (und eine frühe Weizensaat ermöglicht). Winterraps wirkt sich im Vergleich der annuellen Kulturpflanzen günstig auf die Bodenfruchtbarkeit aus.²⁸²

4.2.1.2 Mais (Zea mays L.)

- **Nutzung:** Mais wurde wegen seiner hohen physiologischen Effizienz als C4- Pflanze und seiner hohen Ertragsfähigkeit und Ertragssicherheit unter energetischen Gesichtspunkten als geeignet eingestuft²⁸³. Mais kann als

²⁷⁶ Flaig 1998

²⁷⁷ Kaltschmitt, Hartmann 2001

²⁷⁸ Kaltschmitt, Hartmann 2001

²⁷⁹ Kaltschmitt, Hartmann 2001, IFEU, IUS 2004, S.26

²⁸⁰ Landesanstalt für Landwirtschaft des Landes Brandenburg 2001

²⁸¹ Kaltschmitt, Hartmann 2001

²⁸² Kaltschmitt, Hartmann 2001

²⁸³ Lübbecke 2005

Ganzpflanze sowohl für die Festbrennstoffnutzung als auch als Pflanzensilage für die Vergärung genutzt werden. Maiskörner können zur Bioethanolproduktion verwendet werden. Insbesondere die Nachfrage nach Mais für die Nutzung in Biogasanlagen ist in den letzten Jahren angestiegen²⁸⁴. In Deutschland wird auf 1,5 Mio. ha Mais angebaut, auf denen vor allem Silomais (1,2 Mio. t) und weniger Körnermais geerntet wird²⁸⁵. Der durchschnittliche Ertrag liegt bei 7 t/ (ha a) Korn bzw. 4,4 t (ha a) Stärke (ca. 2700 bis 3000 l/ha Alkohol). Bei einem Korn-Stroh-Verhältnis von 1:1,3 fallen zusätzlich ca. 9t/ (ha a) Maisstroh an. Für eine Ganzpflanzenproduktion (als Festbrennstoff) sind Silomaisarten mit hohem Ertrag geeignet. Körnermaisarten sollten standfest sein und eine hohe Kälteresistenz besitzen.²⁸⁶

- **Standortansprüche Boden:** Mais hat relativ geringe Bodenansprüche, auf leichten Böden sollte jedoch die Wasserversorgung gesichert sein. Sehr schwere, kalte oder dichtlagernde Böden sind ungeeignet. Am besten gedeiht Mais auf mittleren und schweren Böden, die sich im Frühjahr leicht erwärmen und nicht zur Verschlämmung neigen²⁸⁷. Von den Fruchtfolgegrenzen her lässt sich der Maisanbau gegenüber dem gegenwärtigen Produktionsniveau vergleichsweise elastisch ausdehnen. Die verfügbaren Sorten ermöglichen den Maisanbau auch in Regionen mit geringerer Wärmesumme und Durchschnittstemperatur und er stößt normalerweise nicht an Fruchtfolgegrenzen.²⁸⁸ Insbesondere in den Mittelgebirgsregionen sind dem Maisanbau jedoch enge Grenzen gesetzt.
- **Bodenauswirkungen:** Da Mais den Boden sehr lange unbedeckt lässt, ist der Boden beim Maisanbau stark erosionsgefährdet, häufig kann es zu Dichtlagerung und Verschlämmung kommen. Zur Reduktion des Erosions- und Verschlämmungsrisikos kann eine Einsaat, auch als Mulch- oder Direktsaat in überwinternde Zwischenfrüchte erfolgen.²⁸⁹ Verdichtungsrisiken bestehen vor allem beim Befahren durch schwere Maschinen (z.B. bei der Ernte).

Junge Maispflanzen sind sehr empfindlich ggü. Unkrautkonkurrenz, die Notwendigkeit des Einsatzes von PSM bleibt dabei auch ohne den Anbau in Monokultur bestehen. Neben dem Herbizideinsatz kann die Unkrautbekämpfung auch mechanisch, z.B. durch Hacken erfolgen. Das Hacken hat den positiven Nebeneffekt der Bodenlockerung, Verschlämmungen können dadurch aufgebrochen werden und eine bessere Belüftung der Maiswurzeln erreichen.²⁹⁰ Bedingt

²⁸⁴ ILN 2005

²⁸⁵ Quelle: Statistisches Bundesamt Berlin, Saaten Union GmbH, zitiert in: Greef 2004

²⁸⁶ Kaltschmitt, Hartmann 2001

²⁸⁷ Kaltschmitt, Hartmann 2001

²⁸⁸ IE 2004a

²⁸⁹ Kaltschmitt, Hartmann 2001

²⁹⁰ Kaltschmitt, Hartmann 2001

durch das Anbausystem „Reihenkultur“ und einem relativ hohen Herbizideinsatz hat Mais nur eine geringe Begleitflora²⁹¹.

Mais wird mit ca. 160-200 kg Stickstoff/ ha a gedüngt. Durch das schlechte Stickstoffaneignungsvermögen der jungen Maispflanzen ist bei weiten Reihenabständen oder bei zu frühen und zu hohen Stickstoffgaben mit Stickstoffverlusten zu rechnen.²⁹²

4.2.1.3 Getreide(-ganzpflanzen) - Weizen, Roggen, Triticale

➤ **Nutzung:** Der gesamte oberirdische Aufwuchs von Getreidepflanzen (Korn und Stroh) kann jährlich geerntet und energetisch genutzt werden. Vorzugsweise kommen dafür Wintergetreidearten in Betracht, weil sie infolge der längeren Vegetationsperiode gegenüber Sommergetreide durch höhere Biomasseerträge gekennzeichnet sind. Von den zur Verfügung stehenden Wintergetreidearten eignen sich aufgrund ihres hohen Ertrages insbesondere Weizen, Roggen und Triticale²⁹³ für die Biomasseproduktion. Für die Ethanolproduktion²⁹⁴ ist daneben auch Gerste geeignet. Die Erträge variieren stark in Abhängigkeit von der Güte des Standortes sowie von der Intensität der Produktionsverfahren (d.h. insbesondere von der Höhe der Stickstoffdüngung und der Effektivität der Pflanzenschutzmaßnahmen). Sie variieren zwischen ca. 7 und 22 t Trockenmasse pro Hektar und Jahr (Korn und Stroh, die Korn-Stroh-Verhältnisse liegen zwischen 1: 1,1 – 1,5). Pro Tonne Korn können ca. 370-400 Liter Ethanol erzeugt werden.²⁹⁵ Die Ethanolgetreideproduktion unterscheidet sich von den Produktionsverfahren für Ganzpflanzengetreide vor allem durch das Ziel eines hohen Kornertrags.²⁹⁶

Die Anbaufläche von Triticale beträgt derzeit bundesweit etwa 500.000 ha²⁹⁷. Die Gesamtanbaufläche für Roggen in Deutschland belief sich 1999 auf knapp 750.000 ha²⁹⁸. Die Anbaufläche von Winterweizen betrug zum selben Zeitpunkt mehr als das dreifache (2.439.791 ha)²⁹⁹.

²⁹¹ Lübbeke 2005

²⁹² Kaltschmitt, Hartmann 2001

²⁹³ Triticale ist eine Kreuzung aus Weizen und Roggen und wurde mit dem Ziel gezüchtet die hohe Leistungsfähigkeit des Roggens mit der Anspruchslosigkeit von Roggen zu kreuzen (FNR 2004, Kaltschmitt, Hartmann 2001)

²⁹⁴ Nach der Abschaffung der Intervention bei Roggen durch die Europäische Union nach den Luxemburger Beschlüssen vom 26.06.2003 ist die Konversion zu Bioethanol eine interessante Variante (vgl. IE 2004a).

²⁹⁵ Kaltschmitt, Hartmann 2001

²⁹⁶ Kaltschmitt, Hartmann 2001

²⁹⁷ <http://www.saaten-union.de>: „Wo lohnt Triticale?“

²⁹⁸ Quelle: Statistisches Bundesamt Berlin, Saaten Union GmbH, zitiert in: Greef 2004

²⁹⁹ Quelle: Statistisches Bundesamt Berlin, Saaten Union GmbH, zitiert in: Greef 2004

➤ **Standortansprüche Boden:**

- *Roggen* (*Secale cereale* L.): Roggen ist bezüglich Klima und Boden die am wenigsten anspruchsvolle Getreideart. Der Anbau ist auch noch auf armen Standorten mit einem schwachen Nährstoffangebot, geringem Wassergehalten und pH-Werten bis 5 möglich. Staunässe wird jedoch nicht vertragen.³⁰⁰
- *Triticale* (*Triticosecale* Wittmack): Triticaleerträge steigen mit zunehmender Bodengüte, wobei der höchste Ertrag auf Parabraunerde und Marschböden erzielt wird. Triticale bringt auch auf Grenzstandorten des Weizens gute Erträge.³⁰¹ Bodenverdichtungen sollten jedoch vermieden werden.
- *Weizen* (*Triticum aestivum* L.): Weizen hat die höchsten Bodenansprüche unter den genannten Pflanzenarten. Er liebt nährstoffreiche, tiefgründige Standorte und hat einen hohen Wasser- und Nährstoffbedarf.³⁰²

- **Bodenauswirkungen:** Im Vergleich zu den Ethanolpflanzen Zuckerrüben und Mais zeichnet sich die Wintergetreideproduktion durch eine lange Bodenbedeckung auch während des Winters und einem damit verbundenen geringerem Erosionsrisiko bei guter Nährstoffausnutzung aus. Der Stickstoffdüngbedarf liegt bei ca. 150 in kg N/ (ha a)³⁰³.

Da ein hoher Anteil des Ackerlandes mit Getreide bebaut wird, ist Getreide z.T. einem hohen Krankheits- und Schädlingsdruck ausgesetzt. Dies erfordert bei hohen Ertragserwartungen einen entsprechend intensiven Pestizideinsatz. Bei der Körnerproduktion ist zudem meist ein intensiver Fungizideinsatz notwendig. Die Belastung mit PSM hängt dabei wesentlich von der späteren Art der energetischen Verwertung ab. Ganzpflanzensysteme, die als feuchte oder silierte Biomasse geerntet werden, haben nur wenige Schadsituationen durch Konkurrenzorganismen. Aufgrund von geringen Anbauumfängen und Anbaudauern liegen aber z.T. noch kaum belastbare Informationen vor.³⁰⁴

4.2.1.4 Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.)

- **Nutzung:** Es können sowohl die Samen zur Ölproduktion sowie das Sonnenblumenstroh genutzt werden. Der Hektarertrag liegt bei 2,4 bis 4,0 t/ (ha a) Korn (d.h. 850 bis 2000 kg Öl). Bei einem Korn-Strohverhältnis von 3,5 fallen

³⁰⁰ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁰¹ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁰² Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁰³ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁰⁴ IFEU, IUS 2004, Kaltschmitt, Hartmann 2001

zusätzlich zum Korn 8 bis 14 t/ (ha a) Stroh an³⁰⁵. Der Sonnenblumenanbau kann in Deutschland nur noch begrenzt ausgedehnt werden, weil nur in wenigen Anbauregionen in Deutschland ausreichende Erträge zu erwarten sind. Dabei handelt es sich um eine maximale Flächenausdehnung um etwa weitere 20.000 ha.³⁰⁶

- **Standortansprüche Boden:** Für den Sonnenblumenanbau geeignet sind Böden aus lehmigen Sand bis tonigem Lehm, wobei leichtere Böden bevorzugt werden. Wichtig ist eine gute Durchwurzelbarkeit und Tiefgründigkeit des Bodens. Zu schwere und kalte Böden sind ungeeignet. Aufgrund des späten Bestandschlusses sollten erosionsgefährdete Lagen gemieden werden.³⁰⁷

Gute Vorfrüchte für die Sonnenblume sind Getreide oder Mais. Aufgrund der starken Anfälligkeit der Sonnenblume gegenüber Pilzkrankheiten (z.B. Sklerotinia oder Phoma) ist mindestens ein 4-jähriger Fruchtfolgeabstand zu Sonnenblumen, aber auch zu anderen Wirtspflanzen dieser pilzlichen Erreger (z.B. Raps, Tabak), einzuhalten. Als Nachfrucht sollte Getreide oder Mais angebaut werden, was eine einfache Bekämpfung auflaufender Sonnenblumen ermöglicht. Aufgrund ihrer intensiven Durchwurzelung hat die Sonnenblume einen hohen Vorfruchtwert. So ist die Humusbilanz in jedem Fall günstig zu beurteilen, weil die Sonnenblume ca. 70 dt/ha Trockenmasse auf dem Feld hinterlässt, die für die Nachfrüchte nutzbar sind.³⁰⁸

- **Bodenauswirkungen:** Das Erosionsrisiko ist aufgrund der hohen Reihenabstände und der teilweise langen Phasen, in denen der Boden unbedeckt bleibt, relativ hoch³⁰⁹. Durch die späte Saat und den späten Bestandesschluss kann es zudem zu Dichtlagerung des Bodens und Nährstoffverlusten kommen. Eine Stickstoffdüngung erfolgt in der Höhe von ca. 40-80 kg pro ha. Die Vorbeugung von Pilzbefall empfiehlt sich über die Kulturführung. Fungizide sind bisher kaum vorhanden.³¹⁰

4.2.1.5 Zuckerrübe (*Beta vulgaris* L.)

- **Nutzung:** Von den insgesamt in Deutschland zur Verfügung stehenden knapp 12 Mio. ha Ackerfläche werden zur Zeit etwa 450.000 ha³¹¹ für den Zuckerrübenanbau genutzt, dies entspricht einem Anteil von knapp 4% an der gesamten Ackerfläche. Insgesamt gelten rund 15%, d.h. rund 1,8 Mio. ha der gesamten Ackerfläche als für

³⁰⁵ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁰⁶ IE 2004a

³⁰⁷ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁰⁸ Lühs, Friedt o.J.

³⁰⁹ IFEU, IUS 2004

³¹⁰ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³¹¹ vgl. auch Bundesregierung 2005

den Zuckerrübenanbau geeignet.³¹² Jedoch stößt der Zuckerrübenanbau bei Überschreitung von 600.000 ha in Deutschland an Fruchtfolgegrenzen in den für Rübenanbau geeigneten Gebieten.³¹³ In Deutschland werden ca. 58 t/ (ha a) Rüben geerntet, dies entspricht einem Zuckerertrag von ca. 9 t/ (ha a) (ca. 5.000 bis 5.750 l/ (ha a) Ethanol). Das Blatt-Rüben-Verhältnis der Frischmasse beträgt etwa 0,8 : 1,2. Demnach fallen neben den Rüben ca. 40t/ (ha a) frisches Rübenblatt an. Es kann entweder ggf. nach einer Silage verfüttert oder vergärt werden, bleibt aber meist als organischer Dünger auf dem Feld zurück.³¹⁴ Die Zuckerrüben können zur Ethanolproduktion genutzt werden. Der Zuckermarkt in Deutschland könnte zukünftig stark von der Änderung der Zuckermarktordnung beeinflusst werden (vgl. Kapitel 2.3).

- **Standortansprüche Boden:** Zuckerrüben gehören zu den Kulturen mit den höchsten Ansprüchen an die Bodengüte. Die besten Erträge werden auf tiefgründigen Böden mit gleichmäßiger Struktur erreicht (d.h. ohne Verdichtungen, Steine oder Staunässe und bei gleichmäßiger Wasser- und Nährstoffverteilung). Die Zuckerrübe hat einen hohen Nährstoffbedarf. Die Stickstoffdüngung hat deshalb einen hohen Einfluss auf die Rübenqualität. Insgesamt benötigt die Zuckerrübe 120-160 kg/ha Stickstoff, wobei die jeweiligen Bodennitratwerte mit einbezogen werden müssen.³¹⁵
- **Bodenauswirkungen:** Die Zuckerrübe ist in der Jugendentwicklung stark durch Verunkrautung gefährdet und damit auf intensive Unkrautbekämpfung angewiesen. Chemische und manuelle Unkrautbekämpfung können hier kombiniert werden. Außerdem wird die Zuckerrübe von einer Reihe pilziger Erreger befallen. Im Vergleich zu den meisten anderen Energiepflanzen ist der Aufwand der eingesetzten PSM hoch.³¹⁶ Auch der Düngemittelaufwand ist im Vergleich zu den meisten anderen Energiepflanzen relativ hoch und mit ca. 120-160 kg/ha Stickstoff zu beziffern.³¹⁷ Das aufgrund des späten Bestandsschlusses und der hohen Reihenabstände hohe Erosionsrisiko kann durch die Mulchsaat³¹⁸ erheblich verhindert werden.³¹⁹ Beim Zuckerrübenanbau kommt es zu hohen Schadverdichtungen, weil besonders große Landmaschinen mit einer entsprechend hohen Radlast zum Einsatz kommen³²⁰. Durch häufiges Hacken kann es zum

³¹² Angaben der Vereinigung Zucker sowie Haupterhebung zur Bodennutzung für das Jahr 2001, zitiert in Schmitz 2003

³¹³ IE 2004a

³¹⁴ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³¹⁵ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³¹⁶ Kaltschmitt, Hartmann 2001, IFEU, IUS 2004

³¹⁷ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³¹⁸ Mulchsaat belässt Pflanzenreststoffe nahe an oder auf der Bodenoberfläche mit dem Ziel, eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung als vorbeugenden Schutz gegen Verschlammung und Erosion zu erzielen. Man unterscheidet zwischen Mulchsaat mit und ohne Saatbettbereitung.

³¹⁹ IFEU, IUS 2004, Kaltschmitt, Hartmann 2001

³²⁰ Schulze Lammers et al 2000, zitiert in IFEU, IUS 2004

Humusabbau im Boden kommen. Da die Rüben sehr spät im Herbst geerntet werden, besteht die Gefahr, dass bei nassem Wetter Bodenstrukturschäden verursacht werden.³²¹

4.2.1.6 Kartoffel (Solanum tuberosum L.)

- **Nutzung:** Kartoffeln können für die Bioethanolproduktion genutzt werden. In Biogasanlagen kommen sie erst wenig zum Einsatz. 2004 wurden in Deutschland 293.000 ha Kartoffeln mit einem Gesamtertrag von 12,6 Millionen Tonnen angebaut³²². Der Knollenertrag beim Stärkekartoffelanbau kann 33 bis 50t/ (ha a) Frischmasse betragen. Bei einem Stärkegehalt von 17 bis 20% können 5,6 bis 9,6 t/ (ha a) Stärke (ca. 3500 bis 6600 l/ha Alkohol) gewonnen werden.³²³
- **Standortansprüche Boden:** Besonders geeignet für den Anbau von Stärkekartoffeln sind humose, lehmige Sande bis milde Lehme. Die Kartoffel liebt leicht erwärmbare, lockere und gut durchlüftete Böden mit guter Wasserversorgung. Schwere Böden sind aufgrund der schlechten Erntbarkeit und des starken Erdanhangs an den zu erntenden Knollen nicht gut geeignet. Bei Kartoffeln sollte eine Anbaupause von 4 bis 5 Jahren eingehalten werden.³²⁴
- **Bodenauswirkungen:** Aufgrund der hohen Reihenabstände und der teilweise langen Phasen, in denen der Boden unbedeckt bleibt, ist das Erosionsrisiko bei Kartoffeln hoch³²⁵. Durch den späten Bestandesschluss und die häufige Bodenbearbeitung besteht zudem die Gefahr von Erosion und Humusabbau im Boden.³²⁶

Mit einer Düngung von 100-150 kg/ha a haben Kartoffeln im Vergleich zu anderen Ethanolpflanzen einen mittleren Stickstoffbedarf.³²⁷

Durch den hohen Anbauanteil in den für Kartoffeln geeigneten Anbauregionen sind Kartoffeln oft einem hohen Krankheitsdruck ausgesetzt. Der Anbau erfolgt daher mit einem hohen Pflanzenschutzinsatz.³²⁸ Häufig wird eine Kombination aus mechanischer und chemischer Unkrautbekämpfung angewandt. Ein rein mechanisches Verfahren mit 3 bis 4 Durchgängen ist ebenfalls möglich. Kartoffeln sind zudem stark durch Virusbefall gefährdet. Die Wahl wenig anfälliger Sorten

³²¹ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³²² BMVEL 2004

³²³ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³²⁴ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³²⁵ IFEU, IUS 2004

³²⁶ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³²⁷ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³²⁸ IFEU, IUS 2004, S.26, Kaltschmitt, Hartmann 2001

verringert das Risiko. Pilzkrankheiten lassen sich in vielen Fällen durch nicht-chemische Maßnahmen bekämpfen.³²⁹

Kartoffeln haben einen hohen Vorfruchtwert für andere Kulturarten, weil durch die Hack- und Pflegearbeiten das Bodengefüge gelockert, die biologische Tätigkeit des Bodens durch Abbau der organischen Substanz angeregt und auch das Unkraut durch die starke Beschattungswirkung bekämpft wird.³³⁰

4.2.1.7 Weitere annuelle Kulturen

- **Topinambur** (*Helianthus tuberosus*): Topinambur ist für die Energieerzeugung in Biogasanlagen geeignet. Optimal für den Anbau von Topinambur sind lockere, lehmige, leichte bis mittelschwere Böden. Auf schweren Böden wird die Knollenernte oft erschwert. Für mittlere Erträge werden ca. 80 kg/(ha a) Stickstoffdüngung benötigt. Eine Unkrautbekämpfung wird nur bei sehr starker Verunkrautung durchgeführt (chemisch oder mechanisch). Durch die gute Ausnutzung von Wasser und Nährstoffen ist Topinambur eine Pflanze mit guter Ressourcenausnutzung sowie geringem Düngebedarf bzw. Nährstoffverlusten. Durch die Möglichkeit, den Bestand ohne Nachpflanzung mehrjährig zu nutzen, kann ein extensives Produktionsverfahren realisiert werden. Topinambur wird bisher in nur sehr geringem Anbauumfang genutzt. Das größte Problem ist die Beseitigung des durch Restknollen entstehenden Durchwuchses in der Folgekultur.³³¹
- **Zuckerhirse** (*Sorghum Bicolor L.*): Auch Zuckerhirse ist für die bioenergetische Verwertung in Biogasanlagen geeignet. Zuckerhirse hat hohe Klimaansprüche. Ein Anbau ist, außer auf tonigen oder sandigen Böden, auf sehr unterschiedlichen Böden möglich. Dabei können Erträge von 10-20 t Trockenmasse/(ha a) erzielt werden. Durch den späten Bestandesschluss ist die Gefahr von Erosion, Bodendichtlagerung und Nährstoffverlusten groß. Aufgrund der geringen Konkurrenzkraft der Jungpflanzen muss das Unkraut bekämpft werden. Über die Krankheitsanfälligkeit ist aufgrund der geringen Verbreitung bisher noch keine zuverlässige Aussage gemacht worden. Auch sonst wurden in Deutschland erst wenige Versuche durchgeführt. Züchterisch ist Zuckerhirse zudem wenig bearbeitet.³³²

³²⁹ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³³⁰ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³³¹ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³³² Vetter 2004, Kaltschmitt, Hartmann 2001

4.2.2 Mehrjährige Kulturen – perennierende Gräser

4.2.2.1 Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*, *Miscanthus sinensis*)

- **Nutzung:** Von den mehrjährigen Gräsern ist in jüngster Zeit insbesondere Chinaschilf als potentielle Energiepflanze bekannt geworden. Dabei handelt es sich um eine C4 – Pflanze, die im Vergleich zu den in Mitteleuropa heimischen C3 – Pflanzen ein höheres Massenwachstum aufweist.³³³

Miscanthus x giganteus ist ein ausdauerndes Gras und wird bis zu 4 m hoch. Sie ist die heute am meisten angebaute und produktivste Chinaschilfart³³⁴. Sie stammt ursprünglich aus Asien und ist ein Hybrid aus *Miscanthus sachariflorus* und *Miscanthus sinensis*. *Miscanthus x giganteus* ist ein triploider Artbastard, der keine fertilen Samen bilden kann und über Klonung vermehrt werden muss³³⁵. So können sich Pflanzen nicht unkontrolliert ausbreiten und zum Problem außerhalb ihres natürlichen Herkunftsgebietes werden.³³⁶ *Miscanthus* hat eine Nutzungsdauer von 20-25 Jahren.³³⁷

Die abgetrocknete oberirdische Biomasse kann als Brennstoff genutzt werden.³³⁸ Das Ertragspotenzial ist in ersten beiden Etablierungsjahren gering. Ab dem dritten Ertragsjahr erreicht es sein Maximum. Es schwankt dann, je nach Standortbedingungen, zwischen 10 und 30 t/ Trockenmasse je ha und Jahr³³⁹. Wegen seiner geringen Wasser- sowie niedrigen Asche-, Stickstoff-, Kalium- und Chlorgehalte ist *Miscanthus* durch vergleichsweise günstige Brennstoffeigenschaften gekennzeichnet³⁴⁰. Jahrelange positive Erfahrungen mit der Beheizung von Gebäuden konnten etwa in Österreich gemacht werden.³⁴¹

Über den Umfang des Anbaus von *Miscanthus* liegen nur sehr lückenhafte Daten vor: 1998 wurden gemäß Informationen der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung 163 ha dokumentiert³⁴². Das geschätzte Flächenpotential geeigneter Flächen in Deutschland wird gemäß einer Studie von Clifton-Brown et al aus dem Jahre 2003 auf 2,184 Mio. ha geschätzt³⁴³.

³³³ FNR 2000a

³³⁴ IfuL, IFEU 2002b

³³⁵ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³³⁶ zitiert bei <http://www.miscanthus.de>, zuletzt aufgerufen am 24.07.2005

³³⁷ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³³⁸ FNR 2000a

³³⁹ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁴⁰ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁴¹ IfuL, IFEU 2002a

³⁴² zitiert bei <http://www.miscanthus.de/flachen.htm>, zuletzt aufgerufen am 24.07.2005

³⁴³ Clifton-Brown et al 2004, zitiert in IE 2004a

Ein Vorteil von Chinaschilf ist die Verlagerung der Nährstoffe aus den Blättern in das Rhizom gegen Ende der Vegetationsperiode. Dadurch kann der Düngungsaufwand für diese Pflanze reduziert werden.³⁴⁴

- **Nutzungshemmnisse:** Chinaschilf hat durch den hohen potenziell zu erzielenden Biomasseertrag in der Vergangenheit große Erwartungen in der Öffentlichkeit geweckt. Die mittlerweile vorliegenden Anbauerfahrungen in Deutschland haben jedoch gezeigt, dass die anfangs in der Diskussion befindlichen Trockenmasseerträge von 40-50t/ha nirgends erzielt werden konnten³⁴⁵. Auf guten, leistungsstarken Böden und bei sehr guter Wasserversorgung kann man ab dem 3./4. Jahr mit 20-30 t/ha kalkulieren.³⁴⁶

Ein großes Problem stellt zudem die ungesicherte Ertragssicherheit für Erzeuger, wie auch Abnehmer dar. Dies ist vor allem auf die auf manchen Standorten auftretenden hohen Auswinterungsschäden zurückzuführen. Diese Schäden stellen das größte pflanzenbauliche Problem insbesondere in Nord- und Mitteldeutschland dar. Bei einem bundesweiten Vergleich von Anbauversuchen zeigten sich Verluste nach dem ersten Winter die standortabhängig von unbedeutenden Ausfällen einzelner Pflanzen reichten bis hin zum fast völligen Ausfall der Bestände. Miscanthus-Bestände, die über 3 Jahre etabliert sind, zeigten keine Auswinterungsschäden im Sinne des Ausfrierens mehr³⁴⁷. Als Gegenmaßnahme wird die Einsaat von Raps oder Senf im Juli zwischen die Miscanthus-Pflanzreihen empfohlen³⁴⁸.

Ein weiterer Grund warum es bisher noch nicht zu einem großflächigen Anbau von Miscanthus gekommen ist, stellt die Flächenbindung dar: Hohe Erträge sind nur auf guten bis sehr guten Standorten zu erzielen. Diese wertvollen Flächen werden durch Miscanthus bis zu 25 Jahre lang gebunden. Eine solche langfristige Umwidmung stellte für viele Landwirte ein zu großes Risiko dar, zumal sie einer flexiblen Reaktion auf Änderungen der EU-Agrarpolitik entgegensteht³⁴⁹.

Mit dem Anbau von Miscanthus sind zudem hohe Investitionskosten verbunden, da Miscanthus x giganteus keine vermehrungsfähigen Samen bildet und das Pflanzgut über Klonung hergestellt werden muss. Dies führt zu hohen Investitionskosten (ca. 5.000 - 6.000 EUR/ha)³⁵⁰. Ungeklärt waren zunächst auch die erforderlichen Kosten, mit denen große Flächen Miscanthus wieder zu normalem Ackerland revertiert werden können. Da Miscanthus eine große Konkurrenzfähigkeit besitzt, ist die Rückführung einer Miscanthusfläche in Ackernutzung schwierig³⁵¹. Inzwischen gibt es durch den Anbau auf Versuchsflächen hierzu weitere

³⁴⁴ FNR 2000a

³⁴⁵ Flaig et al 1998

³⁴⁶ Flaig 1998, Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁴⁷ Flaig 1998, Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁴⁸ Münzer 1996, zitiert in Flaig 1998

³⁴⁹ vgl. Flaig et al 1998, FNR 2000a

³⁵⁰ Karpenstein-Machan 2004

³⁵¹ vgl. Lübbecke et al 2005

Erfahrungen. Demnach ist die Wirtschaftlichkeit des Anbaus von Miscanthus von Erzeugerseite bei gegebener Abnahmesicherheit durch einen Weiterverarbeiter im Bereich des Möglichen, wie Modellrechnungen gezeigt haben.³⁵² Die innerhalb des Projekts des Ökoinstituts (2004a) durchgeführten Analysen geben jedoch zu bedenken, dass auch nach den novellierten Vergütungssätzen des EEG eine Stromerzeugung aus Miscanthus nur unter sehr günstigen Bedingungen an einzelnen Standorten wettbewerbsfähig werden kann.

Unsicherheit besteht zum Teil auch noch immer zur ökologischen Verträglichkeit, da Miscanthus keine einheimische oder eingebürgerte Pflanze ist³⁵³. So kommt die Studie des IFEU, IUS (2004) zu der Einschätzung, dass die Frage des Ausbreitungsrisikos bisher noch nicht ausreichend untersucht wurde. Eine unkontrollierte Ausbreitung der Rhizome könnte zu Konflikten mit dem Naturschutz führen. Nachteile werden bei Miscanthus auch in dem fast völligem Fehlen von Beikräutern gesehen. Auch der fehlende Blühaspekt, das Fehlen von Sichtbeziehungen in der Agrarlandschaft und die fehlende Grundwasserreinspeisung (aufgrund des i.d.R. restlosen Verbrauchs des Bodenwassers) können als negativ beurteilt werden³⁵⁴. Aus Naturschutzsicht positiv beurteilt wird, dass die Felder ganzjährig als Nahrungsquelle für Singvögel zur Verfügung stehen.³⁵⁵

- **Standortansprüche Boden:** Miscanthus gedeiht auf den meisten Böden, sofern sie nicht zur Staunässe neigen. Für den hohen, meist ertragslimitierend wirkenden Wasserbedarf sind mittel- bis tiefgründige Böden³⁵⁶ am geeignetsten³⁵⁷. Chinaschilf benötigt viel Licht und Wärme. Bodenverdichtungen können die Leistungsfähigkeit erheblich beeinträchtigen.³⁵⁸
- **Bodenauswirkungen:** Zu Beginn der Bestandesetablierung besteht eine höhere Erosionsanfälligkeit. Im Verlauf des Wachstums sinkt die Erosionsanfälligkeit deutlich aufgrund einer nahezu ganzjährigen Bodenbedeckung und eines ausgeprägten Wurzelwerks. Darüber hinaus bildet sich eine starke Mulchschicht durch herabgefallene Blätter, die einen guten Erosionsschutz bietet³⁵⁹. Die Düngung zu Miscanthus kann sehr sparsam erfolgen. Sie orientiert sich an den Ertragserwartungen sowie an den je nach Standort unterschiedlichen Nährstoffgehalten. Da Miscanthus durch das Rhizom ein Nährstoffpuffersystem und

³⁵² IfuL, IFEU 2002a

³⁵³ Flaig et al 1998

³⁵⁴ IfuL, IFEU 2002a, Lübbecke et al 2005

³⁵⁵ Lübbecke et al 2005

³⁵⁶ Jungpflanzen können sich im Anpflanzjahr besser auf leichten Böden etablieren, wohingegen auf schweren Böden in den Folgejahren aufgrund der besseren Wasserversorgung das höhere Massenwachstum stattfindet. (Kaltschmitt, Hartmann 2001)

³⁵⁷ IfuL, IFEU 2002a, Flaig et al 1998

³⁵⁸ Flaig et al 1998

³⁵⁹ Pröbster 1990, zitiert in IFEU, IUS 2004, IfuL, IFEU 2002a

durch seine tiefen Wurzeln ein großes Nährstoffeffassungsvermögen hat, ist die Düngung selten direkt ertragswirksam. Ca. 60 kg/ha a Stickstoffdüngung scheinen auszureichen³⁶⁰. Durch Verlagerung des Bodenstickstoffs in die Rhizome kommt es zu keinerlei Nitratauswaschung³⁶¹.

Bisher sind noch keine nennenswerten Schäden durch Schädlinge und Krankheiten aufgetreten. Da *Miscanthus* aber besonders im Pflanzjahr konkurrenzschwach ist, ist eine mechanische oder chemische Unkrautbekämpfung daher im ersten Jahr unerlässlich. Spätestens ab dem dritten Standjahr ist die Unkrautbeseitigung nicht mehr notwendig³⁶². Zur Bestandsauflösung kann nach Mayr (2001) eine Behandlung von Neuaufwuchs mit einem Totalherbizid erforderlich werden.³⁶³ Auch das Befahren mit Erntemaschinen kann den Boden beeinträchtigen³⁶⁴. Pro Jahr kommt es jedoch nur zu etwa einer Überfahrt³⁶⁵.

Für eine Rekultivierung der Fläche müssen die bis zu einer Tiefe von 20 cm liegenden Rhizome z.B. mit einer Tiefenfräse zerkleinert werden. Ein Wiederaustrieb wird am besten durch die Einsaat von Futterpflanzen (durch mehrmaligen Schröpfschnitt) unterdrückt, aber auch durch die Aussaat von Sommerraps oder Sommerweizen.³⁶⁶

Die intensive Durchwurzelung, die geringen Aufwendungen für PSM sowie die langjährige Bodenruhe führen zu einem Anstieg des Bodenumusgehaltes und wirken sich positiv auf die Bodenfruchtbarkeit aus³⁶⁷.

4.2.2.2 Weitere mehrjährige Kulturen

Neben *Miscanthus* kommen zur energetischen Nutzung auch andere mehrjährige Pflanzen in Betracht. Zum Anbau von Gräsern besteht jedoch noch Forschungsbedarf³⁶⁸. Im folgenden sollen noch einige weitere geeignete Kulturen skizziert werden:

- **Rutenhirse (*Panicum virgatum* L.):** mehrjähriges C4 – Gras, bis zu 2,5 m hoch. Rutenhirse bildet ein unterirdisches Rhizomsystem aus. Einige Sorten habe sich in Deutschland als ertragreich erwiesen (12 – 17 t Trockenmasse pro ha und Jahr). Rutenhirse bevorzugt leicht erwärmbare und gut durchlüftete Böden, ist winterhart und hat einen geringen Nährstoffbedarf. Die langjährige Bodenbedeckung

³⁶⁰ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁶¹ IfuL, IFEU 2002a, IFEU, IUS 2004

³⁶² Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁶³ zitiert in: IFEU, IUS 2004

³⁶⁴ Frerichs 1990, zitiert in IFEU, IUS 2004

³⁶⁵ IfuL, IFEU 2002a

³⁶⁶ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁶⁷ Kaltschmitt, Hartmann 2001; IfuL, IFEU 2002a

³⁶⁸ Christen 2005

verringert die Gefahr von Erosion, die langjährige Bodenruhe wirkt sich positiv auf die Bodenfruchtbarkeit aus. Eine Unkrautbekämpfung ist nur im Jugendstadium notwendig. Das Hauptproblem des Anbaus ist die schwierige Bestandsetablierung. Die Nutzungsdauer beträgt 15-20 Jahre.³⁶⁹

- **Sudangras (*Sorghum sudanense*):** Die Vorteile von Sudangras liegen in den hohen Biomasseerträgen. Dabei werden schon bei Bodenpunktzahlen von 30 bis 35 Durchschnittserträge von 20 bis 30 Tonnen Trockensubstanz erzielt. Sudangras hat einen geringen Pflegeaufwand und bietet die Möglichkeit des mehrmaligen Schnitts. Sudangras eignet sich gut als Zwischenfrucht, z.B. nach Getreideanbau. Die Erträge liegen dann um ca. 50% niedriger. In Österreich läuft seit 6 Jahren das Projekt Graspower. Hier wird Sudangrassilage ohne die Zugabe von Mist und Gülle vergärt. Durch den Einsatz von Silage kann das ganze Jahr über Biogas erzeugt werden.³⁷⁰
- **Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*):** bis zu 2 m hohes ausdauerndes Gras. Rohrglanzgras benötigt nährstoffreiche, mittlere bis gute Böden. Es liebt feuchte Standorte, kann aufgrund des tiefen Wurzelwerkes aber auch auf trockeneren Standorten stehen. Es sind nur geringe PSM-Aufwendungen notwendig, im Vergleich zu anderen mehrjährigen C4 - Pflanzen hat Rohrglanzgras jedoch einen erhöhten Nährstoffbedarf. Die geschätzte Nutzungsdauer beträgt ca. 10 Jahre. Pro Hektar kann eine Ernte von 11-13 t Trockenmasse erzielt werden. Die langjährige Bodenbedeckung verringert die Gefahr von Erosion, die langjährige Bodenruhe wirkt sich positiv auf die Bodenfruchtbarkeit aus³⁷¹.
- **Futtergräser:** mehrjährige, massenwüchsige C3 - Gräser, wie z.B. Weidelgras, Knaulgras, Glatthafer, Rohrschwingel. Die energetische Nutzung erfordert andere Produktionsverfahren als die Nutzung von Futtergras (z.B. Reduzierung des Stickstoffgehaltes). Pflanzenschutzmittel sind meist nicht erforderlich. Futtergrasstandorte lassen sich bei rechtzeitigem Umbruch nach Ablauf der Nutzungsdauer wieder gut in die Fruchtfolge eingliedern. Durch den nach der Aussamung gelegenen Erntezeitpunkt kann es jedoch zu einer Verunkrautung der Folgebestände kommen. Futtergräser benötigen nur geringe Düngergaben und haben gute Bodenfruchtbarkeitswirkungen³⁷²
 - **Weidelgras (*Lolium perenne*/ *Lolium multiflorum* Lam.):** bis zu 90 cm, Erträge von 7-13 t Trockenmasse pro ha und Jahr, zweijährige Nutzung, hoher Wasserbedarf, bevorzugt mittlere bis bessere Böden, hohe Nährstoffansprüche³⁷³.

³⁶⁹ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁷⁰ ILN 2005

³⁷¹ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁷² Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁷³ Kaltschmitt, Hartmann 2001

- **Knautgras (*Dactylis glomerata*L.):** bis 150 cm groß, winterfest und trockenheitsverträglich, geringe Bodenansprüche³⁷⁴.
- **Glatthafer (*Arrhenatherum eliatum* L.):** bis 150 cm groß, trockenheitsverträglich, mittlere Bodenansprüche, liebt trockene, lockere, kalkhaltige Böden³⁷⁵.
- **Rohrschwengel (*Festuca arundinacea*):** bis 150 cm groß, Erträge von 11-13 t Trockenmasse pro ha und Jahr bevorzugt schwere, nährstoffreiche Böden, anspruchslos, gute Winterhärte, gute Konkurrenzkräft³⁷⁶.

4.2.3 Schnellwachsende Baumarten

- **Nutzungsumfang:** Schnellwachsende Baumarten können - zu Hackschnitzeln verarbeitet - als Festbrennstoff genutzt werden. Sofern mittelfristig die Technologie verfügbar ist, können sie auch als Ausgangssubstrat zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe dienen³⁷⁷. Zu den schnellwachsenden Baumarten zählen vor allem Pappeln und Weiden auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll. Aufgrund ihres schnellen Jugendwachstums, ihrer vegetativen Reproduktionsfähigkeit aus Stecklingen in Verbindung mit Anwuchssicherheit und Stockausschlagsvermögen eignen sich besonders für eine hohe Biomasseproduktion innerhalb kurzer Zeit.³⁷⁸ Möglich ist aber auch die Nutzung von Erlen (*Alnus ssp.*), Birken (*Betula spp.*), Robinien (*Robinia pseudoacacia* L.) und Espen (*Populus tremula* L.)³⁷⁹. Der jährliche Trockenmassezuwachs von Weiden und Pappeln pro Jahr beträgt je nach Ertragsniveau bei Weiden zwischen 4 und 18 t/ha a (Weiden) und 6 bis 18 t/ha a (Pappeln)³⁸⁰. Es wird jedoch nicht jährlich, sondern etwa alle 3-4 Jahre geerntet. Erfahrungen über die maximale Nutzungsdauer fehlen bisher. Näherungsweise wird von einer 25 bis 30 jährigen Nutzung ausgegangen³⁸¹. Pappeln und Weiden zur energetischen Nutzung werden in der Regel in Kurzumtriebsplantagen angebaut. Aktuell bestehen in Deutschland ca. 400 Hektar Kurzumtriebsplantagen³⁸².
- **Standortansprüche Boden:** Weiden und Pappeln können ab einer Bodenpunktzahl von 30 angebaut werden. Eine ausreichende Wasserversorgung ist besonders wichtig. Sandige, leichte Böden sind deshalb weniger geeignet für einen Anbau. Voraussetzung für hohe Biomasserträge ist eine tiefgründige

³⁷⁴ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁷⁵ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁷⁶ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁷⁷ vgl. Kap 3.3.5

³⁷⁸ Flaig et al 1998

³⁷⁹ Christen 2005, FNR 2004

³⁸⁰ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁸¹ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁸² vgl. Kapitel 4.4.2

Durchwurzelbarkeit des Bodens (mind. 60cm). Pappeln können im Vergleich zu Weiden auch unter ungünstigeren Bedingungen (geringere Wasserversorgung, flachgründiger Boden) vergleichsweise höhere Erträge bilden³⁸³. Unter Berücksichtigung ökonomischer Kriterien sollte ein Anbau auf Grenzstandorten jedoch nicht in Frage kommen.³⁸⁴

- **Bodenauswirkungen:** Zu Beginn der Bestandesetablierung besteht eine höhere Erosionsanfälligkeit. Im Verlauf des Wachstums sinkt die Erosionsanfälligkeit deutlich aufgrund einer nahezu ganzjährigen Bodenbedeckung und eines ausgeprägten Wurzelwerks. Darüber hinaus bildet sich eine starke Mulchschicht durch herabgefallene Blätter, die einen guten Erosionsschutz bietet³⁸⁵.

Die Kulturbegründung, die Beseitigung unerwünschter Begleitflora sowie die Ernte können manuell oder maschinell erfolgen. Beim Einsatz von Landmaschinen kann es dabei zu einem höheren Bodenverdichtungspotential kommen.³⁸⁶

Da die Stecklinge im ersten Jahr sehr konkurrenzschwach sind, muss eine intensive Unkrautbekämpfung vorgenommen werden. Diese kann chemisch oder mechanisch erfolgen. Auch Herbizidbehandlungen können in den ersten ein bis zwei Jahren notwendig werden. In den nachfolgenden Jahren kann in der Regel auf PSM-Einsatz verzichtet werden. Bei zunehmender Anbauausdehnung ist aber mit einem verstärkten Krankheits- und Schädlingsdruck zu rechnen. Sortenmischungen verringern die Krankheits- und Schädlingsanfälligkeit des Bestandes³⁸⁷.

Standortabhängig kann eine Düngung erforderlich sein³⁸⁸. Sofern nicht auf Grenzstandorten angebaut wird, ist keine Düngung notwendig, damit besteht auch kein Eutrophierungsrisiko³⁸⁹.

Nach Beendigung der Nutzungsdauer muss zur Rekultivierung das bis hin in 30 cm Tiefe reichende Wurzelwerk zerkleinert und gegebenenfalls aus dem Boden entfernt werden.³⁹⁰

4.3 Entwicklung des Artenspektrums von Energiepflanzen

Für die energetische Nutzung kommen aktuell vor allem klassische Kulturarten wie Mais und Raps zum Einsatz. Dies hängt ganz wesentlich auch damit zusammen, dass

³⁸³ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁸⁴ IFEU, IUS 2004

³⁸⁵ Pröbster 1990, zitiert in IFEU, IUS 2004

³⁸⁶ IFEU, IUS 2004, vgl. auch Burger et al 1996, zitiert in IFEU, IUS 2004

³⁸⁷ Kaltschmitt, Hartmann 2001

³⁸⁸ Ab dem zweiten Jahr ist eine Düngung von ca. 60kg je ha und Jahr angebracht. (Kaltschmitt, Hartmann 2001)

³⁸⁹ IFEU, IUS 2004

³⁹⁰ Kaltschmitt, Hartmann 2001

hier auf unterschiedlichen Standorten bereits umfangreiche Anbauerfahrungen vorliegen³⁹¹ und die Landwirtschaftstechnik und –logistik auf diese Kulturen abgestimmt ist. Darüber hinaus sind sie züchterisch deutlich stärker bearbeitet worden³⁹² als z.B. Leguminosen. Der Anbau neuerer Kulturen, wie etwa Sudangras oder Rutenhirse, beschränkt sich dagegen derzeit zum großen Teil auf Versuchsflächen. Diese Kulturen sind aufgrund geringer Praxiserfahrungen mit zusätzlichen ökonomischen Risiken und Aufwendungen belastet und deshalb für den großflächigen Anbau derzeit noch nicht relevant.³⁹³

Im Gegensatz zur Nahrungsmittelproduktion rücken jedoch beim Energiepflanzenanbau die Ansprüche an Qualität und Quantität der Fruchterträge als Ertragsziel in den Hintergrund.

Die Notwendigkeit der kurz- und mittelfristigen Erweiterung des Spektrums der zur Verfügung Energiepflanzen über Getreidearten und Mais hinaus wird in Fachkreisen unterschiedlich bewertet. Während etwa die Teilnehmer des FNR-Fachgesprächs Energiepflanzen am 25./26.2.2004 in Braunschweig insgesamt nur bedingten Handlungsbedarf sahen³⁹⁴, sind insbesondere aus Naturschutzkreisen vielfach Forderungen nach der Erweiterung des Pflanzenspektrums zu vernehmen³⁹⁵.

Zukünftig könnte sich das Pflanzenspektrum jedoch erweitern. Chancen liegen hier in den geringen Ansprüchen von Energiepflanzen an Qualität und Quantität der Fruchterträge. Vielmehr kommt es auf hohe Hektarerträge verwertbarer Biomasse verbunden mit der Realisierung ertragsichernder Faktoren wie Resistenz gegen biotische Schaderreger und abiotische Faktoren an³⁹⁶. Aus diesem Grund könnte es zukünftig einen Austausch gängiger Sorten geben, die diese speziellen Eigenschaften für die Energieproduktion besitzen³⁹⁷. Hierbei gibt es in jüngster Zeit bereits erste Erfolge. So meldete das Saatgutunternehmen Euralis im Januar 2006³⁹⁸, die „erste Biogas-Sonnenblume zur Zulassung angemeldet“ zu haben. Diese eignet sich für den Solo-Anbau zur Biogasproduktion. Mit der Zulassung ist Ende 2007 zu rechnen. Die Sorte erfüllt nach Angaben der Hersteller alle Eigenschaften, die von einer Silo-Sonnenblume erwartet werden können: „Stay Green bei fortgeschrittener Körnerreife, hohe Rohfettgehalte, sehr gute Gesundheit, v.a. bei Sklerotinia, sehr gute Standfestigkeit“.

³⁹¹ auch zu Ertragshöhe und -sicherheit

³⁹² z.B. hinsichtlich Resistenz gegenüber Schaderregern, Nährstoffaneignungsvermögen, Ertragshöhe

³⁹³ vgl. ILN 2005, Lübbecke et al 2005

³⁹⁴ vgl. Schütte 2004b

³⁹⁵ vgl. Zusammenfassung des Workshops „Energie aus Biomasse – Herausforderungen für Landwirtschaft und Naturschutz“ (Lübbecke et al 2005) der DLG und des WWF.

³⁹⁶ (vgl. Schütte 2004b)

³⁹⁷ Schütte 2004b

³⁹⁸ vgl. Agra Europe 5/2006 „Erste Biogassonnenblume zur Zulassung angemeldet“. Siehe auch www.euralis.de.

Auch die Nutzung von grüner Gentechnik kann zur Erhöhung des energetischen Potentials beitragen. Aktuell werden jedoch noch keine gentechnisch veränderten Organismen im Energiepflanzenbau verwendet³⁹⁹. Zur Zeit fehlen auch noch einheitliche Entscheidungshilfen hinsichtlich der Wahl der Kulturen für den Biomasseanbau und der Ausgestaltung der Anbauverfahren.⁴⁰⁰ Der Einsatz gentechnisch veränderter Organismen ist aber gesellschaftlich und naturschutzfachlich hoch umstritten. Der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen beeinflusst auch den Boden. Zur Abschätzung der Einwirkungen gentechnisch veränderter Kulturpflanzen auf den Boden sei auf die UBA Studie von Labes et al (1999) verwiesen⁴⁰¹.

Welche Pflanzen vorrangig angebaut werden, hängt zudem stark mit der Preisentwicklung der Märkte zusammen⁴⁰². Eine mögliche Entwicklung der Energiepflanzenutzung bis zum Jahre 2030 zeigt Abbildung 6.

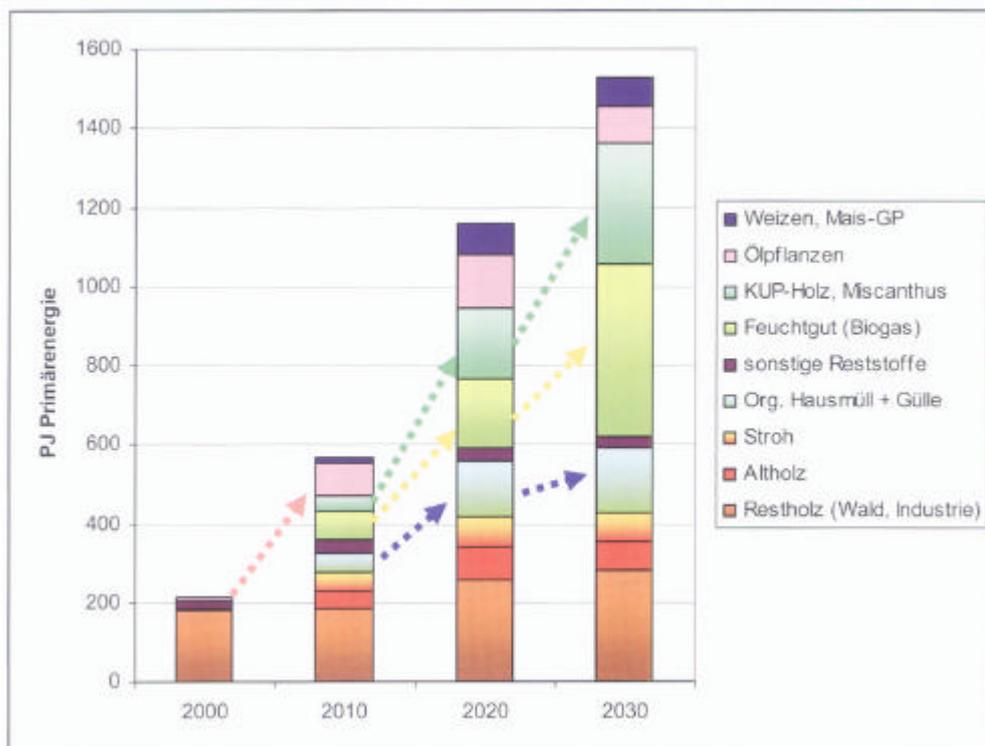


Abbildung 6: Künftige Entwicklung der energetischen Biomassenutzung in Deutschland im Szenario „NACHHALTIG“⁴⁰³

³⁹⁹ ILN 2005

⁴⁰⁰ Lübbecke et al 2005

⁴⁰¹ UBA 1999

⁴⁰² Die Studie des Instituts für Energetik (2004) entwickelte dazu unter verschiedener Preisentwicklungen Szenarien für den Anbau nachwachsender Stoffe.

⁴⁰³ Quelle: Ökoinstitut 2004a. GP-Ganzpflanzen, KUP-Kurzumtriebsplantagen. Zu den relevanten Ölpflanzen zählen: Raps, Sonnenblume und Hanf. Bei der Nutzung von Feuchtgut zur Biogasnutzung

4.4 Anbauoptionen

Bei der Untersuchung der Bodenauswirkungen eines verstärkten Anbaus nachwachsender Rohstoffe kommt es jedoch nicht nur auf die artspezifischen Eigenschaften der jeweiligen Kulturpflanze an, vielmehr sind auch anbauspezifische Einflussfaktoren entscheidend.

Derzeit zeichnen sich beim Anbau von Energiepflanzen zwei Tendenzen ab: Einerseits die Maximierung der Biomasseerträge pro Flächeneinheit auf produktiven Standorten, andererseits die Minimierung von Arbeits- und Stoffeinsatz bei der Bestellung von Kulturen auf Standorten mit geringem Ertragspotential⁴⁰⁴. Auf weniger ertragreichen Böden nimmt man bewusst geringere Erträge in Kauf und versucht durch reduzierte Aufwendungen positive Deckungsbeiträge zu erwirtschaften⁴⁰⁵. Dabei kommen sowohl annuelle wie auch perennierende Kulturen zum Einsatz. Auf produktiven Standorten zeichnen sich die Anbauvarianten einer Integration in eine enge Fruchtfolge bei konventionellen Bewirtschaftungsweisen oder eines reinen Energiepflanzenanbaus⁴⁰⁶ ab.⁴⁰⁷

Extensive und ökologische Bewirtschaftungsmethoden sind dabei den konventionellen und intensiven Anbaumethoden vorzuziehen. So hat der ökologische Landbau einen geringeren Humusabbau zur Folge und ist mit geringeren Beeinträchtigungen der Bodenfauna verbunden⁴⁰⁸. In jedem Fall müssen die Regeln der guten fachlichen Praxis (GfP)⁴⁰⁹ eingehalten werden.

Die Auswirkungen der Wahl extensiver oder intensiver Anbaumethoden sowie die Wahl der Bearbeitungsmethoden (Erntetechnik, Einsatz von Landmaschinen etc.) sind jedoch für die Produktion von Energiepflanzen und Nahrungs- und Futtermitteln weitestgehend identisch. Auch die konkrete Wahl der Fruchtfolgen spielt in beiden Fällen eine große Rolle⁴¹⁰. Jedoch gibt es auch entscheidende und zudem bodenschutzrelevante Unterschiede: Während bei Nahrungsmitteln der Eiweiß- und Vitamingehalt eine besondere Rolle spielt, kommt es bei der Energieproduktion auf den Energiegehalt (vor allem auf Stärke, Zucker, Zellulose) an. Dadurch werden neue Anbauoptionen geschaffen, wie etwa eine pfluglose Bodenbearbeitung und reduzierte

kann ein breites Spektrum von annualen Kulturen eingesetzt werden. Dabei können zwei Kulturen pro Saison angebaut und vor ihrer eigentlichen Reife geerntet werden (siehe Kapitel 4.4.1).

⁴⁰⁴ ILN 2005

⁴⁰⁵ Hier sei auf das Projekt „Produktion von Energiepflanzen auf landwirtschaftlichen Grenzstandorten“ an der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft verwiesen (Laufzeit 1.1.2003-31.12.2005)

⁴⁰⁶ Energiepflanzenanbau mit einer Hauptfrucht und spezialisierten Fruchtfolgen oder aber Mehrkulturenanbau.

⁴⁰⁷ ILN 2005

⁴⁰⁸ vgl. Scheffer 2004a

⁴⁰⁹ gemäß §5 Abs. 4 Bundesnaturschutzgesetz. Zu Anforderungen an die gute landwirtschaftliche Praxis aus Sicht des Bodenschutzes sei auf die umfangreiche Studie des Umweltbundesamtes „Mindestanforderungen an die gute landwirtschaftliche Praxis aus Sicht des Bodenschutzes. Teil 1 und 2“ verwiesen. (UBA 1991)

⁴¹⁰ vgl. Kap. 4.1; IFEU, IUS 2004 u.a.

Düngung. Aufgrund der niedrigeren Anforderungen an die Wildkrautfreiheit von Energiepflanzenbeständen kann zudem der Einsatz von Herbiziden reduziert werden, was sich positiv auf die (Boden-)Fauna auswirkt. Neue ackerbauliche Konzepte, wie der Anbau von zwei Kulturen auf einer Fläche pro Jahr mit ganzjähriger Bodenbedeckung, werden ermöglicht. Ein weiterer Vorteil des Energiepflanzenanbaus besteht darin, dass die Erntezeitpunkte⁴¹¹ entzerrt werden. Durch die Konservierung der Pflanzenmassen müssen nicht mehr große Flächen zum gleichen Zeitpunkt abgeerntet werden, was für Wildtiere und Wildpflanzen von Bedeutung ist. Auch der Anbau mehrjähriger Kulturen, wie Miscanthus und schnellwachsende Baumarten können zu weiteren Fruchtfolgen und einer vielfältigeren Anbaustruktur führen⁴¹².

Abbildung 7 veranschaulicht die Bodenbeeinträchtigungen in Abhängigkeit von Anbauformen. Daneben ist insbesondere die Wahl der Fruchtfolgen relevant.

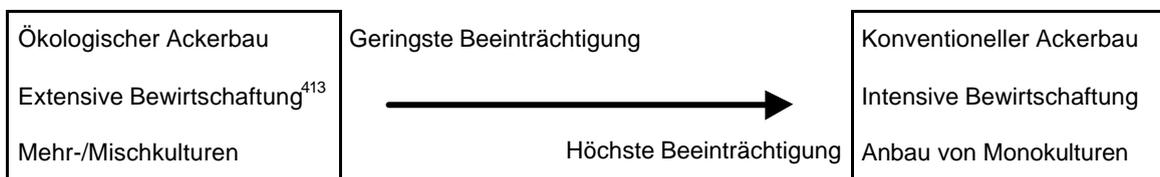


Abbildung 7: Bodenbeeinträchtigungen in Abhängigkeit von Anbauformen

Im folgenden werden zwei Anbauverfahren vorgestellt, die aktuell für eine Ausweitung des Energiepflanzenanbaus in der Diskussion sind: Die Zweikulturnutzung sowie Kurzumtriebsplantagen.

4.4.1 Zweikulturnutzung

Ins Zentrum der Diskussion zum Energiepflanzenanbau rückte in der Vergangenheit verstärkt das Konzept der Zweikulturnutzung. Am Institut für Nutzpflanzenkunde der Universität Kassel- Witzenhausen wurde das Konzept der Zweikulturnutzung speziell auf den Energiepflanzenanbau abgestimmt⁴¹⁴. Das Konzept basiert auf dem Anbau von winterfesten Pflanzenarten im Herbst, der Ernte der nicht ausgereiften Pflanzen zwischen Mai und Juli⁴¹⁵, dem direkten Nachbau von Wärme liebenden Kulturarten und deren Ernte im Herbst. Im Ergebnis werden so je nach Bodengüte und Wasserversorgung Erträge von jährlich 15-28 t Trockenmasse pro ha erzielt.

⁴¹¹ Erntezeitpunkt bzw. Erntekonzept beeinflussen z.B. auch den Asche-, Kalium-, Chloridgehalt und Wassergehalt. Diese wiederum haben Einfluss auf die Qualität der Reststoffe und den Heizwert etc. (Kaltschmitt, Hartmann 2001)

⁴¹² vgl. Sonnleitner 2004

⁴¹³ bzgl. des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln; Düngung, Bodenbearbeitung etc.

⁴¹⁴ vgl. Scheffer 1998, 2002, 2004 a; Kappenstein-Machan 2004

⁴¹⁵ bei der Milchreife hat die Pflanze schon ihre volle Biomasse entwickelt, nicht jedoch das Korn ausgereift

Die Erntemasse wird ausschließlich als Silage feucht konserviert und steht im einfachsten Fall als Energieträger für die Fermentation in Biogasanlagen zur Verfügung. Es können jedoch auch andere Technologien genutzt werden, wie etwa die Kombination von Biogas- und thermischer Vergasungstechnologie, wie dies innerhalb des von der Dr. Volker-Reimann-Dubbers-Stiftung geförderten Projektes „Bioenergiehof Obernjesa“ erforscht wird. Durch die Entwässerung der Silage mittels einer Schneckenpresse können die Pflanzen auch als Festbrennstoffe genutzt werden. Mit dieser Entwässerung werden aus dem Brennstoff gleichzeitig erhebliche Mengen an brenntechnisch störenden und umweltbelastenden Mineralstoffen wie Stickstoff, Chlorid und Kalium entfernt⁴¹⁶. Diese finden sich im Presssaft wieder. Der Presssaft enthält im wesentlichen fein zerriebene und leicht lösliche organische Substanz und ist ein optimales Substrat für Biogasanlagen.⁴¹⁷

Allerdings sind die Klima- und Standortbedingungen für die Mehrkulturnutzung hoch: Das Anbaukonzept der Zweikulturnutzung ist unter mitteleuropäischen Verhältnissen auf tiefgründigen Standorten mit hoher verfügbarer Wasserspeicherkapazität oder auf weniger tiefgründigen Böden mit ausreichenden Sommerniederschlägen entwickelt worden; nur in diesem Fall ist sind auch optimale Erträge gewährleistet⁴¹⁸

Jedoch hat die Zweikulturnutzung aus Sicht des Naturschutzes zahlreiche Vorteile: Zum einen kann auf Pestizide verzichtet werden, da die Einwanderung von Wildpflanzen in die Fläche oder Schädlingsbefall geduldet wird. Der Boden unterliegt nur einer geringen Bearbeitung, da weder eine chemische noch manuelle Unkrautbekämpfung vorgenommen werden muss⁴¹⁹. Durch die Direkteinsaat in die Stoppeln der Vorkultur wird eine ganzjährige Bodenbedeckung erreicht, durch die Bodenerosion und Nährstoffeinträge in das Grundwasser minimiert werden können. Weiterhin besteht der Vorteil dieser Anbauweise in der Erhöhung der Artenvielfalt, da eine Vielfalt von Pflanzen zur Verfügung steht, die in Arten- und Sortenmischungen bei gleichzeitiger Duldung von Wildpflanzen genutzt werden können.⁴²⁰ Eine beispielhaft Übersicht bietet Tabelle 7.

⁴¹⁶ Heinz et al 1999, zitiert in Scheffer 2004a

⁴¹⁷ Scheffer 2004a

⁴¹⁸ vgl. Scheffer 2004a; Kappenstein-Machan 2004. Auf eher schlechten, trockenen Böden findet laut Scheffer in Zukunft entweder die Energiepflanzenproduktion mit einer Kulturpflanze oder die Nahrungsmittelproduktion statt, die dort noch gute Erträge bringt. (Scheffer zitiert in Bensmann 2004)

⁴¹⁹ vgl. Scheffer 2004a

⁴²⁰ Dabei besteht auch die Möglichkeit eine Reihe von alten Genotypen in die Fruchtfolge zu integrieren und somit gleichzeitig einen Beitrag zur Erhaltung genetischer Ressourcen zu nutzen (vgl. ILN 2005, Scheffer 2004a)

Erstkulturen	Zweitkulturen
Weizen	Mais
Roggen	Sonnenblumen
Triticale	Zuckerhirse
Winterhafer	Sudangras
Raps	Hanf
Rübsen	Senf
Weidelgras u.a.	Phacelia
Wintererbsen	Ölrettich
Inkarnatklee	Wicken
Winterwicken	Erbsen
und Wildpflanzen	

Tabelle 7: Auswahl möglicher Pflanzen für die Zweikulturnutzung⁴²¹

Derzeit findet sich das Verfahren der Mehrkulturnutzung jedoch noch im Versuchsstadium⁴²², zudem besteht von Seiten der Landwirte bisher kaum Nachfrage. Die Gründe dafür könnten darin liegen, dass für den Mehrkulturenanbau ein breiter Erfahrungshintergrund in der Praxis fehlt und damit das Vertrauen in ein neues Anbauverfahren erst wachsen muss.⁴²³

4.4.2 Kurzumtriebsplantagen

Typische Vertreter von in Kurzumtriebsplantagen anbaubaren, schnellwachsenden Baumarten in Mitteleuropa sind die Pappel und die Weide⁴²⁴. Möglich ist auch eine Nutzung von Erlen, Birken, Robinien und Espen⁴²⁵.

Hierbei wird die hohe und schnelle Biomasseproduktion dieser Arten genutzt. Im sogenannten Kurzumtrieb wird aller 4-6 Jahre geerntet. Das Holz wird in erster Linie zu Hackschnitzeln verarbeitet, die als Festbrennstoff genutzt werden⁴²⁶. Sofern mittelfristig die Technologie verfügbar ist, können sie auch als Ausgangssubstrat zur Herstellung

⁴²¹ Scheffer 2004b

⁴²² Sonnleitner 2004, Ammermann 2004

⁴²³ ILN 2005

⁴²⁴ Hauptsächlich Klone von *Salix viminalis* und *Salix dasyclados* sowie verschiedene Arten der Schwarzpappel und Balsampappel (Gattung *Populus*, Sektionen *Aigeiros* und *Tacamaha*) (Kaltschmitt, Hartmann 2001)

⁴²⁵ Christen 2005, FNR 2004

⁴²⁶ FNR 2004

synthetischer Kraftstoffe dienen⁴²⁷. Die abgeernteten Stöcke treiben nach der Ernte erneut aus, so dass im Vergleich zu anderen Anbauoptionen nur ein geringer Pflegeaufwand besteht. Weitere Vorteile der Nutzung von Kurzumtriebsplantagen liegen in der - im Vergleich zur konventionellen landwirtschaftlichen Nutzung – extensiveren Nutzung der Flächen. Durch die langjährige Durchwurzelung ist zudem ein guter Erosionsschutz gegeben. Nachteilig hingegen ist die starke Abhängigkeit von einer guten Wasserversorgung.

Bisher wurden in Deutschland erst etwa 400 Hektar für Kurzumtriebsplantagen angelegt. Ein ausgedehnter Betrieb ist derzeit noch nicht wirtschaftlich, da z.B. Waldenergieholz in großer Menge verfügbar und in der Regel preiswerter zu gewinnen ist⁴²⁸. Nachteilig sind zudem die geringen Anbauerfahrungen⁴²⁹ und die damit verbundenen Unsicherheiten.⁴³⁰ Hinzu kommt, dass Landwirte hier produktionskräftige Flächen unter Umständen für mehrere Jahrzehnte an ein Produkt binden müssen. In der Regel besteht diese Bereitschaft dazu nur, wenn bereits vor der Anlage der Plantagen feste Abnehmer für das Holz bereitstehen. Derzeit finden sich jedoch kaum Abnehmer für Plantagenholz⁴³¹. Zudem kann ein Ertragsniveau ca. 12 t atro/ (ha a) auf guten Standorten auch mit annualen Feldfrüchten, z.B. Getreideganzpflanzen zu erzielt werden⁴³². Bei steigenden Energiepreisen sieht das BMVEL⁴³³ jedoch große Entwicklungspotentiale⁴³⁴ für die Nutzung von Kurzumtriebsplantagen.

4.5 Übersichtstabelle über Anlagen, Energiepflanzen und Bodenauswirkungen

Basierend auf den Kapiteln 3.3 und 4.2 sowie weiterer Quellen⁴³⁵ werden nachfolgend Bioenergieanlagen, Kulturpflanzen und Bodenauswirkungen in einer Übersicht (Abbildung 8) miteinander in Verbindung gesetzt. Zusätzlich wird auch die Nutzung von Landschaftspflege-/ und Grasschnitt (vgl. Kap. 2.2.3) betrachtet. Die Getreidearten Triticale, Roggen und Weizen werden aufgrund ähnlicher Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten zusammengefasst. Es werden in der Übersicht dabei nur die gängigsten Pflanzensubstrate bzw. diese mit den größten Nutzungspotentialen erfasst. Sofern Anlagen derzeit verstärkt auf eine Nutzpflanze zugreifen, ist dieses

⁴²⁷ vgl. Kap 3.3.5

⁴²⁸ Brökeland mdl. Zitiert in ILN 2005. Auch die Analyse des Ökoinstituts (2004a) geben zu bedenken, dass auch nach den novellierten Vergütungssätzen des EEG eine Stromerzeugung aus Kurzumtriebsplantagen nur unter sehr günstigen Bedingungen an einzelnen Standorten wettbewerbsfähig werden kann.

⁴²⁹ Christen (2005) sieht hier deutlichen Forschungsbedarf

⁴³⁰ FNR 2000a

⁴³¹ Liesebach, mdl. Zitiert in ILN 2005

⁴³² Flaig et al 1998

⁴³³ BMVEL 2004

⁴³⁴ Für das Potenzial aus Kurzumtriebsplantagen liegen bisher nur punktuelle Abschätzungen vor (IE 2004a).

⁴³⁵ vgl. Übersichten in IFEU, IUS2004 und Baeumer 1986, sowie Lüdemann, o. J., Mann 1998

durch eine fettgedruckte Linie hervorgehoben. Weitere Ausführungen zu möglichen Inputstoffen finden sich innerhalb der oben genannten Kapitel.

Grundsätzlich gilt, dass die genannten Effekte stark von den standörtlichen Gegebenheiten und der Anbauform abhängen. Insbesondere die Faktoren „Bodenerosion“ und „Schadverdichtung“ können durch eine standortangepasste Bewirtschaftung minimiert werden.⁴³⁶ Die Bewertung der Bodenbeeinträchtigungen erfolgt in 4 Kategorien 1: sehr gering, 2: gering, 3: mittel, 4: hoch.⁴³⁷

⁴³⁶ IFEU, IUS 2004

⁴³⁷ geringe Beinträchtigungen sind dabei hell unterlegt, hohe dunkler

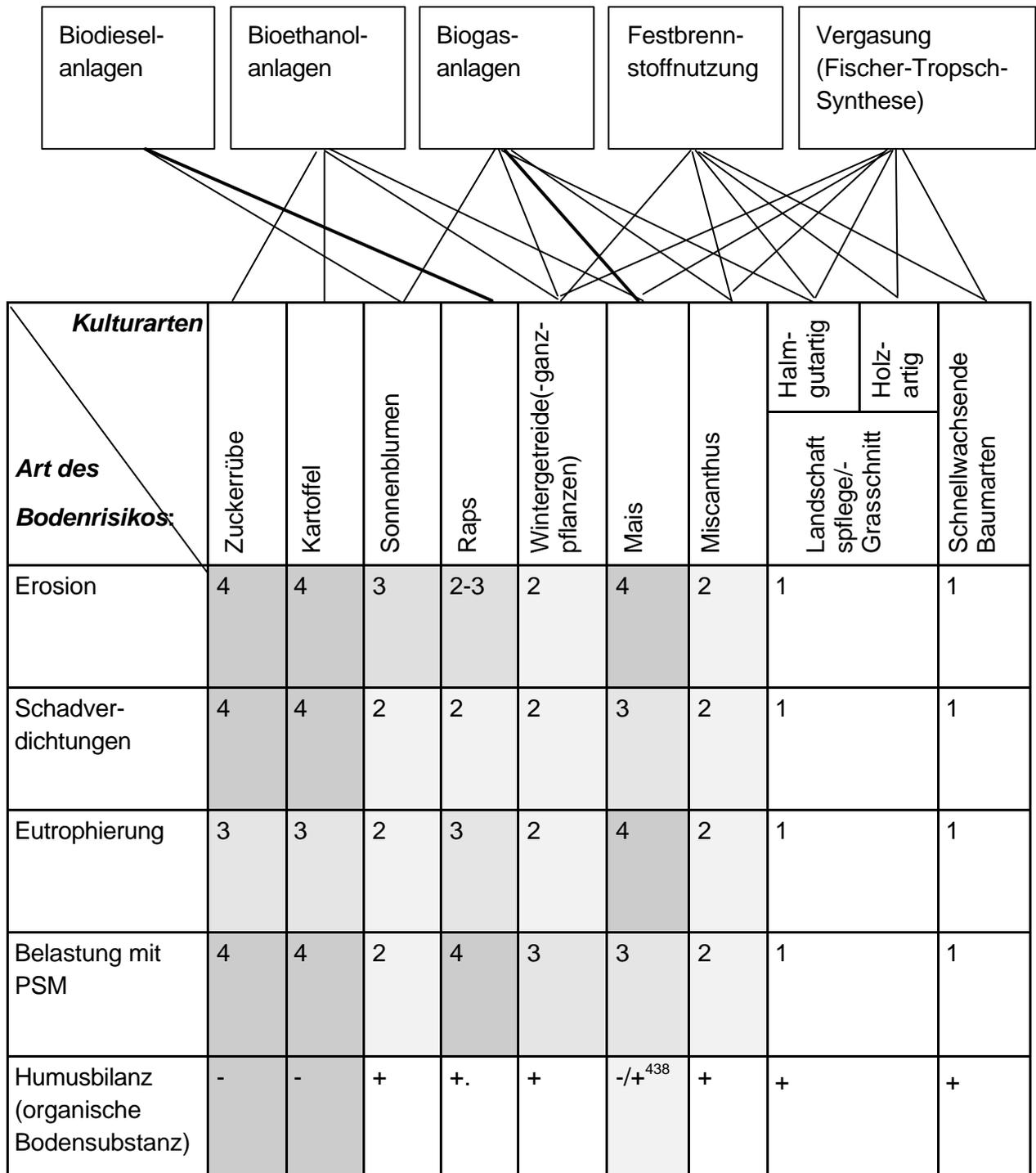


Abbildung 8: Zuordnung des wichtigsten Inputmaterials verschiedener Anlagen, und deren Auswirkungen auf die Bodenqualität

⁴³⁸ Körnermais: negativ, Silomais: positiv

5 Anforderungen und rechtliche Umsetzungsmöglichkeiten

5.1 Rechtlicher Rahmen

Das Bodenschutzrecht ist in Deutschland in einer Reihe von Spezialgesetzen geregelt. Dazu zählen das bundes- und landesrechtliche Wasserrecht, Wald- und Forstrecht, Raumordnungs-, Bau- und Naturschutzrecht. Greift keines dieser Spezialgesetze ein, findet subsidiär das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) Anwendung (Art. 3 BBodSchG). Auf kommunaler Ebene spielen außerdem agrarstrukturelle Entwicklungsplanungen eine Rolle.

Für den hier maßgeblichen Bereich der landwirtschaftlichen Bodennutzung sind weiterhin die Vorschriften des Pflanzenschutzgesetzes (PflSchG), der Düngeverordnung (DüngeV), die Bioabfallverordnung (BioAbfV) und der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) zu beachten.

Im Bereich der Bioenergie-Gewinnung sind daneben das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) und die auf seiner Grundlage erlassene Biomasseverordnung (BiomasseV) sowie das Bundes-Immissionschutzgesetz (BImSchG) und die auf seiner Grundlage erlassenen Verordnungen über Kleinf Feuerungsanlagen (1. BImSchV) und genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) erheblich.

Diese Vorschriften sind bei der rechtlichen Umsetzung von Maßnahmen zum vorsorgenden Bodenschutz beim Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland zu berücksichtigen.

Darüber hinaus hat auch die Europäische Gemeinschaft eine Kompetenz zur Regelung bodenschutzrelevanter Maßnahmen. Die EU-Kommission hat angekündigt, davon im zweiten Halbjahr 2005 durch die Vorlage einer spezifischen EU-Bodenschutzstrategie (Thematic Strategy for Soil Protection) Gebrauch zu machen. Die Strategie soll Gemeinschaftsmaßnahmen mit dem Ziel eines EU-weiten besseren Bodenschutzes vorzeichnen.

5.2 Rechtliche Implementation

Bereits die geltenden Vorschriften enthalten Regelungen zum vorsorgenden Bodenschutz. Die Möglichkeiten der rechtlichen Umsetzung eines verbesserten vorsorgenden Bodenschutzes bestehen vor allem durch erweiterte Regelungen im Erneuerbare Energien Gesetz sowie im Rahmen des Bundesbodenschutzgesetzes, des Bundesnaturschutzgesetzes und des Bundeswaldgesetzes. Daneben sollen auch Regelungsmöglichkeiten des Bundesimmissionsschutzgesetzes und der Raumordnung und Landschaftsplanung aufgezeigt werden.

5.2.1 EEG

Das Modell der Abnahme- und Vergütungspflicht durch das Erneuerbare Energien Gesetz hat innerhalb der Förderinstrumente für Erneuerbare Energien bislang als einziges Instrument zu einer erheblichen Ausweitung des Anteils an regenerativen Energien an der Stromversorgung geführt. Hier ist insbesondere die erhöhte Vergütung für die Verstromung nachwachsender Rohstoffe durch den NawaRo-Bonus zu nennen, durch den die Energiepflanzenutzung seit 2004 erheblich zugenommen hat. Die Voraussetzungen für eine entsprechende Vergütung sind im EEG geregelt (§ 8 Abs. 2 EEG).

Aufgrund der Wirksamkeit dieser Instrumente wäre eine Kopplung der Vergütungen an Bodenschutz- und Anbaustandards (vgl. Kap. 4.1) im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes zielführend. Ein ähnlicher Effekt würde von einer im Verhältnis zur Grundvergütung erhöhten Einspeisevergütung für nachwachsende Rohstoffe aus bodenschonendem Anbau ausgehen. Diese Neuerungen erfordern eine entsprechende Anpassung des EEG.

Im Gegensatz zur Einspeisevergütung für die Stromproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen, gibt es für den Wärme- und Kraftstoffmarkt bisher noch keine dem EEG vergleichbaren Instrumente.

5.2.2 Bundesbodenschutzgesetz

§ 17 Abs. 2 BBodSchG formuliert Grundsätze einer guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Diese werden als nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens definiert und im Wege einer nicht abschließenden Aufzählung weiter konkretisiert.

Die Grundsätze sind in Bezug auf ihre Regelungsdichte kritisch zu beurteilen. So fehlen eindeutig messbare und kontrollierbare Vorgaben zur Vermeidung der Abtragung von Boden und zum Gefährdungspotential sowie zur Aggregatstabilität (K-Wert), zum Verdichtungsgrad (Lagerungsdichte) oder zum Luft- und Wasserhaushalt sowie zur maximalen mechanischen Belastbarkeit der Böden. Auch fehlen Grundsätze zur fachlichen Praxis in der Forstwirtschaft.⁴³⁹ So lange die § 17 Abs. 2 BBodSchG formulierten Grundsätze unbestimmt bleiben, werden sie kaum Wirksamkeit entfalten. Sie sind daher auf gesetzlicher Ebene zu konkretisieren. Zwar können sie auch durch behördliche Anordnungen konkretisiert werden, jedoch wäre eine Konkretisierung auf gesetzlicher Ebene mit allgemeinverbindlichem Charakter wirksamer.

⁴³⁹ Landel et al 2000

5.2.3 Bundesnaturschutzgesetz

§ 5 BNatSchG benennt die Grundsätze der guten fachlichen Praxis und gibt damit naturschutzorientierte Anforderungen an die landwirtschaftliche Bodennutzung vor. Diese gelten auch für den Anbau von Energiepflanzen.

Die gute fachliche Praxis bezieht sich in mehreren Punkten auf Bodenschutzaspekte. Zum einen wird explizit Bezug auf die für die Landwirtschaft geltenden Vorschriften gemäß § 17 Abs. 2 des Bundesbodenschutzgesetzes Bezug genommen. Zudem muss gemäß § 5 Abs. 4 Bundesnaturschutzgesetz die Bewirtschaftung standortangepasst erfolgen und die nachhaltige Bodenfruchtbarkeit und langfristige Nutzbarkeit der Flächen gewährleistet werden. Vermeidbare Beeinträchtigungen sind zu unterlassen.

Während diese Vorschriften bereits wesentliche bodenschutzrechtliche Anforderungen enthalten, besteht indes Verbesserungspotenzial im Hinblick auf die Ausdehnung des bislang nur auf erosionsgefährdeten Hängen, in Überschwemmungsgebieten, auf Standorten mit hohem Grundwasserstand sowie auf Moorstandorten bestehenden Verbots des Grünlandumbruchs (§ 5 Abs. 4 BNatSchG). Hier wäre es im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes beim Anbau nachwachsender Rohstoffe zielführend, wenn ein Grünlandumbruchverbot für den Energiepflanzenanbau festgeschrieben werden könnte.

Die Grundsätze bleiben zudem, wie auch die Grundsätze des BBSchG, unbestimmt und sollten wie diese beispielsweise durch Vorgaben für den optimalen Gehalt organischer Bodensubstanz, der Integration von Richtwerten für maximale Druckbelastungen der eingesetzten Landtechnik etc. konkretisiert werden⁴⁴⁰.

Ein entscheidendes Problem besteht im Vollzug der genannten Vorschriften.

5.2.4 Bundeswaldgesetz

Im Rahmen der forstwirtschaftlichen Bodennutzung richtet sich die bodenschutzrechtliche Vorsorgepflicht nach dem BWaldG sowie den Forst- und Waldgesetzen der Länder. Das Bundeswaldgesetz als Rahmengesetz sieht jedoch keine der guten fachlichen Praxis entsprechenden Anforderungen vor. Nach § 11 BWaldG soll der Wald im Rahmen seiner Zweckbestimmung ordnungsgemäß und nachhaltig bewirtschaftet werden. Diese weit gefasste Forderung haben die Länder in eine grundsätzliche Verpflichtung der Waldbesitzer zu einer entsprechenden, im Detail aber sehr divergierenden Waldbewirtschaftung umgesetzt.

Angesichts der geplanten Novellierung des BWaldG wird deshalb die Aufnahme von naturschutzfachlicher Mindestanforderungen diskutiert. Hierzu wurde am Freiburger Institut für Forstpolitik im Auftrag des BfN eine Liste mit 17 Kriterien erarbeitet, die eine

⁴⁴⁰ vgl. auch Kiene et al 1999

gute fachliche Praxis in der Forstwirtschaft beschreiben. Hierbei werden auch Anforderungen an den vorsorgenden Bodenschutz gestellt (vgl. Kapitel 2.2.2).

Wenngleich Forstflächen derzeit auch noch nicht für den Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt werden, so kann es zukünftig bei einer entsprechenden regionalen Nachfrage zur einer großflächigeren Neuanlage bzw. -nutzung von Kurzumtriebsplantagen kommen.⁴⁴¹ Insofern ist die Ergänzung des Bundeswaldgesetzes um naturschutzfachliche Mindestanforderungen zur guten forstwirtschaftlichen Praxis im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe zielführend.

5.2.5 Bundesimmissionsschutzgesetz

Nach der derzeitigen Rechtslage ist die Verbrennung von Stroh in Anlagen von 15 bis 100 kW nach der 1. BImSchV zulässig, während die Getreideverbrennung unzulässig ist. In Kleinstanlagen bis zu 15 kW darf Stroh nicht als Brennstoff eingesetzt werden. Die Verbrennung von Getreide und Stroh ist ab 100 kW in genehmigungsbedürftigen Anlagen nach der 4. BImSchV zulässig, wobei strengere Grenzwerte einzuhalten sind, als im Anwendungsbereich der 1. BImSchV. Getreideverbrennungsanlagen unter 100 kW sind demnach bisher unzulässig sind. Der Grund hierfür liegt in dem höheren Schadstoffpotential von Getreide gegenüber anderen Brennstoffen. Andererseits können Getreideverbrennungsanlagen unter 100 kW für Landwirte wirtschaftlich interessant sein. Gerade in der Nutzung von minderwertigen Getreidepartien in Kleinfeuerungsanlagen liegt großes Potential⁴⁴².

Eine Erweiterung der zulässigen Verbrennung auf Getreide in Kleinfeuerungsanlagen im Bereich von 15 bis 100 kW kann durch eine diesbezügliche Ergänzung der Liste der nach § 3 Abs. 1 Nr. 8 1. BImSchV zulässigen Brennstoffe herbeigeführt werden. Gleichzeitig können auch spezielle Grenzwerte für Getreideverbrennungsanlagen eingeführt werden.

Entsprechende Änderungen der BImSchV sollten jedoch nur erfolgen, sofern die Schadstoffmengen und Abgaswerte entsprechend gesenkt wurden. Die Anlagenentwicklung und -erforschung macht diesbezüglich gute Fortschritte⁴⁴³.

5.2.6 Raum- und Landschaftsplanung

Eine räumliche Steuerung des Anbaus von Energiepflanzen erfolgt bislang kaum. Bei einer großflächigen Ausweitung dieser Nutzung sollte jedoch zukünftig bereits auf raumplanerischer und landschaftsplanerischer Ebene Vorsorge für einen standortangepassten Anbau getroffen und in den entsprechenden Plänen verankert werden. Hier kann der Erlass von Verwaltungsvorschriften erwogen werden, die das Planungs-

⁴⁴¹ ILN 2005

⁴⁴² DBV et al 2005

⁴⁴³ DBV et al 2005

ermessen entsprechend lenken. Mittels der Raumordnung und Landschaftsplanung kann auch die Nutzung brachgefallener Siedlungsflächen (Flächenrecycling) gefördert werden.⁴⁴⁴

5.2.7 Zertifizierung

In Betracht kommen Zertifizierungen, mit denen eine nachhaltige Nutzung und Naturschutz durch umweltgerechte, sozialverträgliche und wirtschaftlich ertragreiche Land- und Waldwirtschaft bezweckt wird. Zertifizierungen sind maßgeblich auf die Anerkennung und Akzeptanz in der Gesellschaft angewiesen. Grundsätzlich besteht jedoch die Möglichkeit, ein Zertifikat für ökologisch produzierte nachwachsende Rohstoffe einzuführen.

5.2.8 Freiwillige Vereinbarungen

Daneben bestehen in den Bundesländern Vertragsnaturschutzprogramme (§ 8 BNatSchG und in den LNatSchG), die der Erreichung der Ziele des Naturschutzes dienen. Auf Basis freiwilliger Nutzungsvereinbarungen verpflichten sich die Grundstücksbesitzer, zumeist Landwirte, gegenüber den Naturschutzbehörden zu bestimmten Maßnahmen, die vom Verzicht auf Düngung und Pflanzenschutzmittel bis hin zur mehrjährigen Flächenstillegung reichen. Gleichzeitig erhalten die Landwirte einen finanziellen Ausgleich für maßnahmenbedingte Ertragseinbußen oder Mehrkosten, dessen Höhe sich nach der Art der Leistung zugunsten von Natur und Landschaft richtet. Im Rahmen dieser Nutzungsvereinbarungen können auch bodenschutzrelevante Maßnahmen (vgl. Kap 4.1) mit dem Anbau nachwachsender Rohstoffe verknüpft werden.

Die Möglichkeit freiwilliger Nutzungsverträge besteht nicht nur im Verhältnis Landwirt - Naturschutzbehörde, sondern auch zwischen Landwirt und Anlagenbetreiber. Auf dieser Ebene kann sich der Landwirt gegenüber dem Anlagenbetreiber vertraglich verpflichten, seine nachwachsenden Rohstoffe umweltverträglich zu produzieren, während der Anlagenbetreiber die Abnahme der Rohstoffe zu einem bestimmten Preis gewährleistet. Inwiefern hierfür ein Markt besteht ist derzeit noch nicht bekannt.

⁴⁴⁴ vgl. auch Kiene et al 1999

6 Zusammenfassung und Fazit

Nachwachsende Rohstoffe können zukünftig einen größeren Beitrag zur Energieversorgung leisten. Seit der Einführung des sog. NawaRo-Bonus im EEG 2004 ist ihre Nutzung bereits erheblich ausgeweitet worden, ein weiterer Ausbau ist zu erwarten. Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens wurde geprüft, ob es verbunden mit dem Anbau von Energiepflanzen zu Belastungen des Bodens kommen kann. Im Mittelpunkt stehen dabei Belastungen durch Bodenerosion, Schadverdichtungen von Böden, Eutrophierung von Biotopen und Belastung mit Pflanzenschutzmittelwirkstoffen sowie der Einfluss auf den Gehalt an organischer Bodensubstanz.

Pauschale Aussagen zum Einfluss nachwachsender Rohstoffe auf den Boden können nicht getroffen werden. Welche Auswirkungen vom Anbau nachwachsender Rohstoffe ausgehen, hängt vielmehr vor allem von folgenden Faktoren ab:

- A) der vorherigen Nutzung der Fläche/ Referenzsystem,
- B) der Wahl der Energiepflanzen,
- C) den Anbauformen und der Empfindlichkeit des spezifischen Bodentyps/ Bodenart gegenüber den verschiedenen Wirkfaktoren.

Zudem muss zu bedenken gegeben werden, dass im Bereich der mehrjährigen Kulturen (Miscanthus; Weiden und Pappeln in Kurzumtriebsplantagen etc.), sowie dem Zweikulturenanbau noch keine langfristigen Erfahrungen aus einem großflächigen Anbau vorliegen.

A) Vorherige Nutzung der Fläche/ Referenzsystem:

Derzeit werden für den Anbau nachwachsender Rohstoffe fast ausschließlich landwirtschaftliche Flächen und stillgelegte landwirtschaftliche Flächen genutzt. Diese bieten auch zukünftig das größte Potential. Daneben können auch forstwirtschaftlichen Flächen sowie Brachen, Altlastenflächen, ehemalige Tagebauflächen und Deponien für den Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt werden. Auch der Pflegeschnitt von Naturschutzflächen ist nutzbar und bietet damit Synergieeffekte. Die Nutzung nicht-landwirtschaftlicher Flächen ist bislang jedoch noch mit ökonomischen Nachteilen und Risiken verbunden.

Die Bewertung der bodenrelevanten Auswirkungen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe hängt davon ab, welche Alternativnutzungen zum Vergleich herangezogen werden. Vergleicht man den Anbau der derzeit gängigen einjährigen Energiepflanzen mit einer alternativen Flächennutzung für den Anbau klassischer einjähriger Ackerfrüchte, so ergeben sich für den Anbau annualer Kulturen keine Verschlechterungen. Gegebenenfalls kann es bei verringerten Gaben an Dünger und Pflanzenschutzmitteln hier teilweise sogar zu Verbesserungen kommen. Der Anbau mehrjähriger Energiepflanzen führt im Vergleich zum Anbau klassischer einjähriger Ackerfrüchte zu Entlastungen des Bodens, insbesondere im Bereich Bodenerosion und

Schadverdichtungen. Der Anbau mehrjähriger Kulturen auf erosionsgefährdeten Standorten stellt somit eine gute Nutzungsalternative dar.

Im Vergleich zum Referenzsystem Rotationsbrache überwiegen bei der Bereitstellung annueller Kulturen die negativen Effekte hinsichtlich des Erosionspotenzials und der Belastung mit Pflanzenschutzmitteln. Aufgrund der höheren Anzahl von Durchfahrten kommt es auch zu einem erhöhten Schadverdichtungspotenzial. Ein Anbau mehrjähriger Kulturen ist bei der Wahl des Referenzsystems Dauerbrache hingegen überwiegend neutral zu bewerten. Hinsichtlich des Schutzgutes Boden können sich sogar positive Effekte auf den Faktor Schadverdichtung ergeben.

Ein Umbruch von wertvollen Grünlandflächen für den Anbau von Energiepflanzen sollte aus Sicht des Naturschutzes ausgeschlossen werden.

B) Wahl der Energiepflanzen

Für die energetische Nutzung kommen aktuell vor allem klassische Kulturarten wie Mais und Raps zum Einsatz. Auch Getreide(-ganzpflanzen), Zuckerrüben, Sonnenblumen und Kartoffeln werden für eine bioenergetische Nutzung angebaut und in Bioenergieanlagen verwertet. Aufgrund guter energetischer Potentiale wird außerdem die Ausweitung der Nutzung von Miscanthus und schnellwachsenden Baumarten in Fachkreisen diskutiert. Ein großflächiger Anbau erfolgte bisher noch nicht.

Innerhalb dieses Gutachtens wurde sich deshalb auf die Untersuchung der Bodenauswirkungen der oben genannten Kulturarten beschränkt, da diese kurz- und mittelfristig für eine erweiterte bioenergetische Nutzung den größten Beitrag leisten werden. Unter Bodenschutzgesichtspunkten erwies sich dabei der Anbau von schnellwachsenden Baumarten als besonders vorteilhaft. Dünge- und Pflanzenschutzmittel müssen nur in geringem Umfang eingesetzt werden, zudem bietet die langjährige Bodenbedeckung einen guten Erosionsschutz. Auch die Nutzung von Miscanthus und Getreideganzpflanzen sowie Sonnenblumen bergen nur ein geringes bis mittleres Risiko der Bodenbeeinträchtigung. Mittlere Bodengefährdungen gehen vom Anbau von Mais und Raps aus. Besonders negative Bodenauswirkungen sind bei Zuckerrüben und Kartoffeln zu verzeichnen. Ursachen hierfür sind hohe Pflanzabstände, die langsame Entwicklung bis zum Reihenschluss, die Bestellung im Frühjahr sowie die Herstellung eines fein krümeligen, zu Verschlammung und nachfolgender Oberflächenverkrustung neigenden Saatbettes.

Die vorrangige Nutzung klassischer Kulturarten hängt wesentlich damit zusammen, dass hier auf unterschiedlichen Standorten bereits umfangreiche Anbauerfahrungen vorliegen und die Landwirtschaftstechnik und -logistik auf diese Kulturen abgestimmt ist. Darüber hinaus sind sie oftmals züchterisch stärker bearbeitet als andere potentielle Energiepflanzen, wie z.B. Sudangras oder Rutenhirse.

Zukünftig können jedoch auch andere Kulturarten für die energetische Nutzung relevant werden. Viele von ihnen bieten auch aus Bodenschutzgesichtspunkten Vorteile, wie etwa Leguminosen, die durch Stickstoffanreicherung positiv zur

Bodenfruchtbarkeit beitragen. Chancen zur Erweiterung des Pflanzenspektrums liegen außerdem in den im Vergleich zum Lebens- und Futtermittelanbau geringen Ansprüchen an Qualität und Quantität der Fruchterträge. Vielmehr kommt es auf hohe Hektarerträge verwertbarer Biomasse verbunden mit der Realisierung ertragsichernder Faktoren wie Resistenz gegen biotische Schaderreger und abiotische Faktoren an.

Somit könnte es zukünftig einen Austausch gängiger Sorten geben, die diese speziellen Eigenschaften für die Energieproduktion besitzen. Diese können durch Züchtung, durch Nutzung von grüner Gentechnik oder aus bisher nicht oder nicht mehr verwendeten Sorten in vorhandenen Genbanken selektiert werden. Hierzu sind verstärkte Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen notwendig. Auch durch die Weiterentwicklung von Anlagen zur Produktion von sog. BtL-Kraftstoffen, die eine erhebliche Bandbreite an nachwachsenden Rohstoffen nutzen können, könnte mit einer Erweiterung des nachgefragten Pflanzenspektrums verbunden sein. Die entsprechenden Technologien werden im Laufe des nächsten Jahrzehnts zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Bezüglich eines Anbaus mehrjähriger Energiepflanzen, von denen zumeist nur sehr geringe Bodenrisiken ausgehen, besteht derzeit jedoch noch das grundsätzliche Hemmnis der langen Bodenbindung dieser Kulturen, die für viele Landwirte noch ein zu hohes Risiko darstellt. Zudem können etwa Miscanthus und schnellwachsende Baumarten - wie die hier vorrangig betrachteten mehrjährigen Kulturen - noch immer nur unter sehr günstigen Bedingungen an einzelnen Standorten wettbewerbsfähig produziert werden.

C) Anbauformen und Bodenempfindlichkeit gegenüber den verschiedenen Wirkfaktoren

Die Bewertung der Bodenauswirkungen nachwachsender Rohstoffe hängt immer mit anbauspezifischen Einflussfaktoren zusammen. Extensive und ökologische Bewirtschaftungsmethoden sind dabei den konventionellen und intensiven Anbaumethoden vorzuziehen. In jedem Fall müssen die Regeln der guten fachlichen Praxis eingehalten werden.

Derzeit zeichnen sich beim Anbau von Energiepflanzen zwei Tendenzen ab: Einerseits die Maximierung der Biomasseerträge pro Flächeneinheit auf produktiven Standorten, andererseits die Minimierung von Arbeits- und Stoffeinsatz bei der Bestellung von Kulturen auf Standorten mit geringem Ertragspotential.

Im Vergleich zum Lebens- und Futtermittelanbau werden durch den Energiepflanzenanbau auch neue Anbauformen ermöglicht: Durch die geringeren Ansprüche an Energiepflanzen bezüglich etwa des Eiweiß- und Vitamingehalts, der bei Lebensmitteln eine hohe Rolle spielt, werden Erntezeitpunkte entzerrt und eine reduzierte Düngung ermöglicht. Aufgrund der niedrigeren Anforderungen an die Wildkrautfreiheit von Energiepflanzenbeständen kann zudem der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reduziert werden, was sich positiv auf die (Boden-)Fauna auswirkt. Hier ist in

vergangener Zeit insbesondere das am Institut für Nutzpflanzenkunde der Universität Kassel-Witzenhausen entwickelte Konzept der Zweikulturnutzung für den Energiepflanzenanbau ins Zentrum der Diskussionen gerückt. Das Konzept basiert auf dem Anbau von winterfesten Pflanzenarten im Herbst, der Ernte der nicht ausgereiften Pflanzen zwischen Mai und Juli, dem direkten Nachbau von Wärme liebenden Kulturarten und deren Ernte im Herbst. So können mit nur geringen Beeinträchtigungen des Bodens und mit Synergien im Naturschutzbereich jährlich hohe energetische Erträge erzielt werden, weshalb dieses System von Naturschutzseite befürwortet wird. Derzeit findet sich das Verfahren der Mehrkulturnutzung jedoch noch im Versuchsstadium. Ebenso wie für die Nutzung von Kurzumtriebsplantagen, die ebenfalls mit nur geringen Beeinträchtigungen des Bodens bei hohen Biomasseerträgen verbunden sind, sind für hohe Erträge jedoch gute Ackerböden mit einer guten Wasserversorgung notwendig. Damit stehen sie im Vergleich zu ertragsarmen Standorten in höherer Konkurrenz zum Nahrungsmittelanbau.

Grundsätzlich gilt, dass mögliche Beeinträchtigungen des Bodens im Einzelfall immer stark von den standörtlichen Gegebenheiten, der Bewirtschaftung und der Fruchtfolge abhängen. Insbesondere die Faktoren Bodenerosion, Schadverdichtung und Belastung durch Pflanzenschutzmittel, bei denen die oben genannten Kulturarten wesentliche Unterschiede aufweisen, können durch eine standortangepasste Bewirtschaftung minimiert werden.

Wichtige Maßnahmen einer standortangepassten Bewirtschaftung des Energiepflanzenanbaus sind deshalb:

- Standortangepasste, minimierte Düngung
- Weitgehender Verzicht auf Pestizide
- Förderung von Maßnahmen des integrierten Pflanzenschutzes
- Bevorzugung von Mehr- und Mischkulturen ggü. Monokulturen
- Berücksichtigung von Zwischenfrüchten, Mulch-, Unter- bzw. Stoppelsaat in der Fruchtfolge, sowie die Rotationsbrache
- Vermeidung intensiver Bewirtschaftungsformen
- Minimierung und Optimierung des Landmaschineneinsatzes auch hinsichtlich der Befahrungszeiten
- Wahl geeigneter Fruchtfolgen ohne Dominanz von Humuszehrern
- Einbringung von Strukturelementen in die Agrarlandschaft
- Verzicht auf Grünlandumbruch

Um die Potentiale und Auswirkungen eines Anbaus nachwachsender Rohstoffe besser abschätzen zu können, ist deshalb stärker als bisher die Berücksichtigung regionaler Besonderheiten und Konkurrenzen von Bedeutung. Eine Einschätzung kann z.B. mit

Hilfe von geographischen Informationssystemen (GIS) erfolgen, in denen verschiedene Rauminformationen wie Boden- und Vegetationsdaten überlagert werden können. So können auch mögliche Konflikte mit dem Naturschutz früher erkannt und vermieden werden. Darüber hinaus sollten auf regionaler und kommunaler Planungsebene Vorschlagslisten für regional angepasste Kulturen, Fruchtfolgen und Anbausysteme erstellt werden.

Für eine ganzheitlichere Betrachtung der Auswirkung nachwachsender Rohstoffe ist zudem auch zu bedenken, inwieweit die Abfälle aus Bioenergieanlagen verwertet werden können bzw. ob eine wie auch immer geartete Verwertung mit negativen Einflüssen auf den Boden verbunden ist. Hierzu wurden die Abfälle der mittelfristig wichtigsten Bioenergieanlagen untersucht (Anlagen zur Festbrennstoffnutzung, Fermentation von nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen, Anlagen zur Herstellung von Biodiesel, Bioethanol und von synthetischen Kraftstoffen). Wenngleich eine derartige Bewertung im Einzelfall von der Zusammensetzung der Inhaltstoffe abhängt, so kann für den Großteil der Abfälle eine problemlose stoffliche oder energetische Weiterverwertungsmöglichkeit festgestellt werden. Vielfach stellen die Abfälle einen wertvollen Dünger dar. Abfälle mit erhöhten Schwermetallanteilen, wie die Feinstflugasche aus Verbrennungsanlagen und – je nach Zusammensetzung der Substrate - Presswasser aus Biogasanlagen, müssen, wenn eine weitere stoffliche Verwertung nicht möglich ist, andernfalls deponiert bzw. vor einer Einleitung in den Vorfluter entsprechend aufbereitet werden.

Ob die Nutzung nachwachsender Rohstoffe weiter ausgeweitet werden kann, hängt wesentlich mit der verfügbaren Fläche für deren Anbau zusammen. Über dessen Höhe bestehen unterschiedliche Einschätzungen, je nach dem welche Einflussfaktoren und politischen Rahmenbedingungen zugrunde gelegt werden. Hier sind insbesondere die Förderbedingungen der EU-Agrarpolitik, sowie die Flächenkonkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung und dem Naturschutz zu nennen. Auch der Umfang des ökologischen Landbaus spielt eine wichtige Rolle, da hier sowohl bei der Nahrungs- und Futtermittelproduktion, als auch bei der Produktion nachwachsender Rohstoffe mit einem höheren Flächenbedarf zu rechnen ist. Die unter ökologischen Rahmenbedingungen mittelfristig für den Energiepflanzenanbau verfügbare Fläche wird zumeist mit ca. 2 Mio. Hektar beziffert. Dies entspricht in etwa einer flächenmäßigen Verdoppelung des bisherigen Anbaus. Ein Anbau in dieser Größenordnung könnte ohne Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung und zu Flächenansprüchen des Naturschutzes erfolgen.

Da ein umfangreicherer boden- und naturschutzverträglicher Anbau von Energiepflanzen derzeit vor allem durch ökonomische Rahmenbedingungen begrenzt wird, sollten zukünftige Forschungsanstrengungen insbesondere auf die Bereiche abzielen, in denen sich aus ökonomischer und ökologischer Sicht Synergien ergeben können. Hier sind insbesondere der extensive Anbau von Energiepflanzen auf ertragsarmen

und Grenzstandorten und die Nutzung von Flächenrecycling-Potentialen zu nennen. Mittelfristig ergeben sich vor allem durch die Zweikulturnutzung im Energiepflanzenbau und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung synthetischer Kraftstoffe ökonomisch attraktive Nutzungsmöglichkeiten, die auch aus ökologischer bzw. Bodenschutzsicht vorteilhaft sein können.

Rechtliche Umsetzungsmöglichkeiten eines verbesserten vorsorgenden Bodenschutzes beim Anbau nachwachsender Rohstoffe bestehen vor allem durch ergänzende Regelungen im Erneuerbaren Energien Gesetz, im Rahmen des Bundesbodenschutzgesetzes, des Bundesnaturschutzgesetzes und des Bundeswaldgesetzes. Zudem können Zertifikate und Instrumente auf freiwilliger Basis zukünftig eine größere Rolle spielen.

7 Summary

Germany wants to raise the share of renewable energies in energy generation. To achieve this goal, the cultivation of bioenergy crops will be increased. A major promotion results from the Renewable Recourses Act and its regulations about the fees to be paid for electricity produced from biomass.

Scientific studies estimate that on average 2 Mio. hectares may be used without interfering with other land uses, such as nature conservation or the production of food. This would be an increase of 100% compared to the present cultivation.

The focus of this study is if, and in which way, an extended cultivation of bioenergy crops might or might not lead to soil damage (regarding the factors of erosion, compaction, use of pesticides, eutrophication and organic matter). In general an answer to that question can not be made. In fact, it will depend on:

- the choice of bioenergy crops to be planted,
- landuse practices,
- and the former use of the land which an bioenergy cultivation will be compared with.

Based to the current use in Germany and the recent discussions about suitable bioenergy crops the study selected the range of bioenergy crops with the highest short and middle term potentials for energy contribution. These are:

- Colza (*Brassica napus* L.)
- Maize (*Zea mays* L.)
- Cereals: Wheat (*Triticum aestivum* L.), Rye (*Secale cereale* L.), Triticale (*Triticosecale* Wittmack)
- Sunflower (*Helianthus annuus* L.)
- Sugar beet (*Beta vulgaris* L.)
- Potato (*Solanum tuberosum* L.)
- Miscanthus
- Short rotation woody crops (willow and poplar)

The cultivation of annual species usually has a higher impact on the soil than perennial species have. Particular low impacts on soil were found for short rotation woody crops, whereas the cultivation of sugar beet and potatoes led to high impacts.

In the future, the spectrum of bioenergy crops will probably diversify. This is due to new breeds, technologies (i.e. the production of BtL-fuels⁴⁴⁵), land use practices and cultivation methods.

Generally, soil impacts will be dependent upon the individual cases, particularly being determined by the sites characteristics, crop rotation and husbandry methods. The study therefore recommends possible measures to reduce soil impacts, such as

- Extensive instead of intensive husbandry methods
- Minimized use of pesticides and herbicides
- Use of integrated plant protection methods
- Prohibition of grassland destruction for the cultivation of bioenergy use
- Fertilization according to the sites characteristics
- Mixed crops instead of mono-cropping
- Minimal use of agricultural machinery and improvement according to their operating times

Individual solutions will have to be found on the regional level. Therefore guidelines will need to be developed.

Extensive precautionary soil protection can also be achieved by legal implementations, particularly within the German Federal Soil Protection Act, the Renewable Energy Sources Act, the Federal Nature Conservation Act and the Federal Forests Act. Additionally certificates and voluntary models may become more important in the future.

⁴⁴⁵ Biomass-to-liquid

8 Literaturverzeichnis

- Ammermann, Kathrin 2004: Statement im Rahmen der Podiumsdiskussion des Perspektivforums des BBE und FNR „Ausbau der Bioenergie – im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz? Eine Standortbestimmung, Berlin, 10. Februar 2004, Tagungsband
- Arbeitsgemeinschaft Büro für Gartenkunst und Landschaftsarchitektur, Ingenieurbüro Kuntzsch GmbH, BTE 2001: Potenzialanalyse für eine nachhaltige zukunftsweisende Energieproduktion in ausgewählten Standortbereichen der Bergbaufolgelandschaft des ehemaligen Braunkohlebergbaus im Rahmen der IBA Fürst-Pückler-Land. Erarbeitet im Auftrag der Gemeinsamen Landesplanungsabteilung der Länder Berlin und Brandenburg. Online unter <http://www.energiegarten.de/AUSZUGPA.pdf> , zuletzt aufgerufen am 24.07.2005
- Baeumer, K. 1986: Produktion nachwachsender Rohstoffe: Folgen für die Umwelt und Wirkungen auf die Stabilität und Produktivität von landwirtschaftlichen Bodennutzungssystemen. Vortrag im Rahmen des Expertenkolloquiums Nachwachsende Rohstoffe. Möglichkeiten und Grenzen einer Produktion und Verwertung heimischer Pflanzen für die Industrie, Wissenschaftszentrum Bonn, 14.-15. Oktober 1986, Band 2, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.)
- Bazzaz, Fakhri; Sombroek, Wim 1996: Global climate change and agricultural production. Published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations and John Wiley & Sons, Rome, Italy.
- BBE 2005 – Bundesverband Bioenergie: Jahresbericht 2004/05 des Verbandes der Deutschen Biokraftstoffindustrie, Meldung vom 22.06.2005, online unter <http://www.bioenergie.de/home.htm>, zuletzt aufgerufen am 01.07.2005
- BBE 2004 - Bundesverband BioEnergie 2004: Daten und Fakten zur BioEnergie. Wirtschaftsfaktor BioEnergie – Multitalent zur Produktion von Strom, Wärme und Kraftstoffen, online unter <http://www.bee-ev.de/uploads/Bioenergie.pdf>, zuletzt aufgerufen am 01.07.2005
- BBJ- Unternehmensgruppe: Fakten und Trends 2002. Zur Situation der Landwirtschaft. Online unter <http://www.bbj-unternehmensgruppe.de/bbj/main/index.php>, zuletzt aufgerufen am 20.07.2005
- BBR 2004 - Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Flächenerhebung 2004. Flächeninanspruchnahme weiter rückläufig, basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes (Pressemitteilung vom 8.11.2004), online unter: <http://www.bbr.bund.de/index.html?raumordnung/siedlung/siedlung.htm>, zuletzt aufgerufen am 27.07.2005

-
- Beese, Friedrich O. 2004: Ernährungssicherung als Produktions- bzw. Verteilungsproblem, Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten "Welt im Wandel: Armutsbekämpfung durch Umweltpolitik", Berlin 2004, WGBU-Materialien, online unter http://www.wbgu.de/wbgu_jg2004_ex01.pdf, zuletzt aufgerufen am 27.07.2005
- Bensmann, Martin 2005: Mächtig Gas geben, in: Zeitschrift „neue energie“ 02/2005
- Bensmann, Martin 2004: Im Kessel Bunes, in: Zeitschrift „neue energie“, 08/ 2004
- Blume, H.P. 2000: Handbuch der Bodenkunde. – Ecomed. Landsberg/Lech.
- BMELF 1994 – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): Nationaler Waldbericht. Bericht der Bundesrepublik Deutschland zur Bewirtschaftung, Erhaltung und nachhaltigen Entwicklung der Wälder in Deutschland. Bonn
- BMU 2005 – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Erneuerbare Energien gut in Fahrt; Pressemitteilung Nr. 196/05, Berlin, den 19.07.2005, online unter <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/35768/20040/>, zuletzt aufgerufen am 30.07.2005
- BMU 2004a - – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung, Stand: März 2004
- BMU 2004b – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Inhaltliche Bearbeitung: Arbeitsgemeinschaft Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie; Berlin, online unter http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nutzung_ee_lang.pdf, zuletzt aufgerufen am 14.07.2005
- BMU 2004c – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Biogasnutzung auch für Ökolandbau attraktiv. Jürgen Trittin besucht BMU-Projekt im Wendland, Pressemitteilung Nr. 164/04, Berlin, 07.06.2004,
- BMVEL 2001 - Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft: Grundsätze und Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung.
- BMVEL 2003 - Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland; Landwirtschaftsverlag; Münster
- BMVEL 2004 - Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft: BMVEL-Informationen Nr. 35 vom 15. Oktober 2004, online unter

<http://www.verbraucherministerium.de/index-00014AE477D7117397706521C0A8D816.html>

BMVEL 2005a - Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft: Memorandum Bioenergie und Biokraftstoffe, Stand: 25. April 2005, online unter <http://www.verbraucherministerium.de/index-000704B3EE3E10D6A6646521C0A8D816.html>, zuletzt aufgerufen am 05.07.2005

BMVEL 2005b - Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Anfrage per e-mail, Juli 2005, Referat 425, Martin Schmidt

Bockey, Dieter 2004: Statement zur Tagung des Perspektivforums des BBE und FNR „Ausbau der Bioenergie – im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz? Eine Standortbestimmung, Berlin, 10. Februar 2004, Tagungsband

Bork, H.-R., M. Frielinghaus, D. Deumlich, R. Funk, H. Schäfer, F. Beese, R. Ellerbrock, L. Müller und H. Rogasik 1999: Schutz des Bodens, Umweltschutz - Grundlagen und Praxis Bd. 4. Bonn: Economica-Verlag.

Bringezu, Stefan 2005: Biotreibstoffe und globale Flächennutzungskonkurrenzen, Vortrag der auf der Fachtagung der Heinrich-Böll-Stiftung "Bio im Tank. Chancen – Risiken – Nebenwirkungen“, 15.04.2005, Berlin

Brümmer, G. W. 2002: Einführung: Schadverdichtungen in Ackerböden. Entstehung, Folgen, Gegenmaßnahmen. 14. Wissenschaftliche Fachtagung Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, 5. Dezember 2001

Bundesregierung 2005: Agrarpolitischer Bericht 2005 der Bundesregierung, Drucksache 15/4801, online unter <http://www.verbraucherministerium.de/index-0005BCF0323B1050A9746521C0A8D816.html>, zuletzt aufgerufen am 05.07.2005

Burger, F., Remler, N. 1996: Schnellwachsende Baumarten liefern Holz für Energie

C.A.R.M.E.N. 2005: Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk, online unter: <http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/nawaros.html>, zuletzt aufgerufen am 30.06.2005

Choudhury, Keya; Kraemer, R. Andreas; Hollerbuhl Sandra; Nickel, Darla 2001: Machbarkeitsstudie zur Entwicklung von Anforderungen an den nachhaltigen Bodenschutz: Kriterienentwicklung zur Leistungsfähigkeit von Bodenfunktionen; Vorhaben 298 73 249 des Umweltbundesamtes; Berlin.

Clifton-Brown, J.; Stampel, P.; Jones, M. 2004: Miscanthus biomass production for Energy in Europe and its potential contribution to decreasing fossil fuel carbon emissions. Global Change biology (2004) 10, 509 – 518

DBV, UFOP, BBE 2005 - Deutscher Bauernverband e. V., Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen, Bundesverband BioEnergie e. V.: Strom, Wärme und

-
- Kraftstoffe aus Biomasse, online unter
http://www.bioenergie.de/downloads/Zukunft_Bioenergie.pdf, zuletzt aufgerufen am 01.07.2005
- EEA 2004 - European Environment Agency: Agriculture and the environment in the EU accession countries - Implications of applying the EU common agricultural policy, prepared by Jan-Erik Petersen and Ybele Hoogeveen
- EEG 2004: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien, vom 21. Juli 2004, BGBl I 2004, 1918
- Enquete 2002 - Enquete-Kommission des Deutschen Bundestags: Alternativer Technologiedatensatz für die Szenariorechnungen im Rahmen der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestags „Nachhaltige Energieversorgung unter der Bedingung der Globalisierung und Liberalisierung“ (Variante 1), Stand 11.02.2002, Berlin
- FAO 2005 - Food and Agriculture Organization of the United Nations: 31st Session of the Committee on World Food Security, 23-26 May 2005, Special Event on Impact of Climate Change, Pests and Diseases on Food Security and Poverty Reduction, online unter
http://www.fao.org/newsroom/common/ecg/102623_en_Climate_Change_Background_EN.pdf, zuletzt aufgerufen am 27.07.2005
- FAO 2001 – Food and Agriculture Organization of the United Nations: World Agriculture. Towards 2015/2030, Rome
- Fischer, G., H van Velthuizen, M. Shah and Freddy Nachtergaele, 2002. Global Agroecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results. IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy. RR-02-02, January 2002
- Flaig, Holger; Leuchtweis, C., Lüneburg, E. v., Ortmaier, E., Seeger, C. 1998: Biomasse – nachwachsende Energie. Potentiale, Technik, Kosten; Kontakt & Studium; Bd. 539, expert-verlag, Renningen Malsheim
- FNR 2000a (Hrsg.) - Fachagentur nachwachsende Rohstoffe: Leitfaden Bioenergie, Gülzow 2000, online unter
http://www.fnr-server.de/cms35/Veredelung_von_Biomass.480.0.html, zuletzt aufgerufen am 30.06.2005
- FNR 2000b (Hrsg.) - Fachagentur nachwachsende Rohstoffe: Energie aus Biomasse, Gülzow
- FNR 2004 (Hrsg.) - Fachagentur nachwachsende Rohstoffe: Pflanzen für die Industrie, Broschüre, 3. Überarbeitete Auflage, Gülzow 2004

- FNR 2005a - Fachagentur nachwachsende Rohstoffe: Biogas – Eine Einführung, 2. Überarbeitete Auflage, Gülzow 2005
- FNR 2005b - Fachagentur nachwachsende Rohstoffe: Basisdaten Bioenergie Deutschland, Stand: Januar 2005, Gülzow 2005, online unter http://www.fnr-server.de/pdf/literatur/pdf_92bd_bioenergie.pdf, zuletzt aufgerufen am 30.06.2005
- Frerichs, L. 1990: Ernte und Aufbereitung von Miscanthus sinensis. In: KTBL-Arbeitspapier 158, Miscanthus sinensis. Dokumentation des KTBL-Fachgesprächs vom 11./12. September 1990 in Braunschweig.
- Fritsche, U.; Hünecke, K.; Wiegmann, K. 2004: Kriterien zur Bewertung des Pflanzenanbaus zur Gewinnung von Biokraftstoffen in Entwicklungsländern unter ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten, Öko-Institut e.V. (Hrsg.)
- Fürstenfeld, F 1997: Humusgehalt und Humusbilanz - Immer noch aktuell! Die Zuckerrübenzeitung, April 1997, online unter <http://www.bisz.suedzucker.de/bisz/biszportal.nsf/contentByKey/JNIS-56FDT7-DE-p>, zuletzt aufgerufen am 27.07.2005
- Greef, J.M. 2004: Mögliche Energiepflanzen aus anbautechnischer Sicht (Ertrag, Anbau, Ernte, Anbauwürdigkeit), FAL, Vortrag 25.02.2004, Fachgespräch Energiepflanzen „Anbau und Nutzung von Energiepflanzen in Deutschland – Status quo“, online unter <http://fnr-server.de/cms35/fileadmin/biz/pdf/energiepflanzen/greef.pdf>, zuletzt aufgerufen am 30.06.2005
- Groeblichhoff, Zerhusen-Blecher 1996: Maßnahmen zur Eindämmung der Bodenerosion. In: Pahl, M.H. (Hrsg.): Bodennutzung, Bodenschädigung und Bodensanierung: 175-192. Westphälisches Umweltzentrum (WUZ), Paderborn.
- Grogan, Paul; Matthews, Robin 2001: Review of the potential for soil carbon sequestration under bioenergy crops in the U.K. Scientific Report, Institute of Water and Environment Cranfield University Silsoe Bedfordshire MK45 4DT, online unter <http://www.defra.gov.uk/farm/acu/research/reports/nf0418.pdf>
- Hansen, E.A. 1993: Soil carbon sequestration beneath hybrid poplar plantations in the north central United States. Biomass and Bioenergy 5
- Hartmann, H., Strehler, A. 1994: Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht. Abschlussbericht für das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Institut und Bayerische Landesanstalt für Landtechnik der Technischen Universität München. Weihenstephan. Freising.

-
- Hasselfeld, Gerda 2005: zitiert in: Berliner Zeitung vom 09. Juni 2005: „Die Union will Öko-Bauern weiter fördern“.
- Heiermann, M.; Plöchl, M. 2004: Mehr Biogas durch pflanzliche Kosubstrate; Beitrag in „Erneuerbare Energien“, Heft 4; 14. Jahrgang; S. 60-61; Sun Media Verlag, Hannover
- Heinz, A., R. Stülpnagel, M. Kaltschmitt, K Scheffer & D. Jezierska (1999): Feucht- und Trockengutlinien zur Energiegewinnung aus biogenen Festbrennstoffen – Vergleich anhand von Energie- und Emissionsbilanzen sowie anhand der Kosten. Hrsg.: Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER). Forschungsbericht. Band 63. ISSN 0938-1228
- Horn, Rainer 1999: Verdichtung von Böden – Überlegungen zum Prozess und zur Prognose der mechanischen Belastbarkeit“. Wasser & Boden, 51. Jahrgang, Heft 5
- Horn, Rainer 1986: Fragen der Bodenkunde zu dem Problem der nachwachsenden Rohstoffe, Vortrag im Rahmen des Expertenkolloquiums Nachwachsende Rohstoffe. Möglichkeiten und Grenzen einer Produktion und Verwertung heimischer Pflanzen für die Industrie, Wissenschaftszentrum Bonn, 14.-15. Oktober 1986, Band 2, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.)
- IE 2004a - Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (Hrsg.): 2. Zwischenbericht. Nachhaltige Biomassennutzungsstrategien im europäischen Kontext. Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern, Auftraggeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 16.12.2004, Leipzig, online unter http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/biomasse_n.pdf, zuletzt aufgerufen am 07.07.2005
- IE 2004b - Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (Hrsg.): Anhang zum 2. Zwischenbericht „Nachhaltige Biomassennutzungsstrategien im europäischen Kontext“. Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern, Auftraggeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 16.12.2004, Leipzig
- IFEU, IUS Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, IUS - Weisser & Ness GmbH 2004: Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien, im Auftrag des Bundesamt für Naturschutz
- IfuL, IFEU - Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH 2002a: Nachwachsende Rohstoffe in Baden-Württemberg: Identifizierung vorteilhafter Produktlinien zur stofflichen Nutzung unter

- besonderer Berücksichtigung umweltgerechter Anbauverfahren. K.M. Müller-Samann, G. Reinhardt, R.Vetter, S. Gärtner. Anhang
- IfuL, IFEU Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung, Institut für Energetik und Umwelt gGmbH 2002b: Nachwachsende Rohstoffe in Baden- Württemberg: Identifizierung vorteilhafter Produktlinien zur stofflichen Nutzung unter besonderer Berücksichtigung umweltgerechter Anbauverfahren. K.M. Müller-Samann, G. Reinhardt, R.Vetter, S. Gärtner. Anhang
- ILN 2005 - Institut für Landschaftspflege und Naturschutz: Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung, Rode, Michael; Schneider, Carsten; Ketelhake, Gerd; Reißhauer Dagmar, Herausgeber: BfN – Bundesamt für Naturschutz, Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 80283040, BfN-Skripten 136, Bonn
- INARO 2005 - Informationssystem nachwachsende Rohstoffe, online unter <http://www.inaro.de>, zuletzt aufgerufen am 07.07.2005
- Kaltschmitt, M. 2004: Status Quo und Potenziale der energetischen Biomassenutzung in Deutschland – Wozu sollen welche Biomassepotenziale genutzt werden, Strom, Wärme oder Kraftstoffe?, Vortrag, in: Tagungsband des Perspektivforums des BBE und FNR „Ausbau der Bioenergie – im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz? Eine Standortbestimmung, Berlin, 10. Februar 2004
- Kaltschmitt, M. & H. Hartmann 2001: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag. Berlin – Heidelberg. 770 S.
- Kaltschmitt, M.; Reinhardt, G.A. (Hrsg.) 1997: Nachwachsende Energieträger. – Vielweg und Sohn, Braunschweig, Wiesbaden
- Kappenstein-Machan, M. 2003: Energiefarming. Neue Aufgaben für die Pflanzenzüchtung. DLG-Nachrichten 5/2003
- Kappenstein-Machan, M. (2004): Neue Perspektiven für den Naturschutz durch einen ökologisch ausgerichteten Energiepflanzenanbau, Naturschutz und Landschaftsplanung, Heft 36, S. 58-64
- Kersebaum, K. C., Mirschel, W., Wenkel, K. O. 1995: Landschaftsindikator Stickstoff. In: Bork et al (Hrsg.): Agrarlandschaftswandel in Nordostdeutschland. Berlin
- Kiene, Andreas, Choudhury Keya, Kraemer R. Andreas 1999: Fachgutachten Wissenschaftliche Grundlagen für den vorsorgenden Bodenschutz - Fachbeitrag zum Gutachten "Wege zu einem umfassenden Bodenschutz" des Wissenschaftlichen Beirates Bodenschutz beim BMU, Forschungskennziffer 29971238, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.

-
- Klinski, S. 2002: Rechtliche Rahmenbedingungen und Probleme der Stromerzeugung aus Biomasse. Erstellt im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens des Umweltbundesamtes „Erneuerbare Energien – Rechtliche Fragen“. Berlin
- Knickel K., Janssen, B., Schramek, J., Käppel, K. 2001: Naturschutz und Landwirtschaft: Kriterienkatalog zur „Guten fachlichen Praxis“. Angewandte Landschaftsökologie 41
- Köppel, J, Peters, W., Schultze, Christian 2004: Integration naturschutzfachlicher Ziele in Szenarien und Modelle zur energetischen Nutzung von Biomasse. Kurzgutachten zum Umfang der Flächenrestriktionen der energetischen Biomassennutzung durch Naturschutz, im Auftrag des BMU, Berlin
- Kratochvil, Ruth 1999: Nachhaltigkeit des Biologischen Landbaus – Ökonomie. Vortragsmanuskript. Insitut für ökologischen Landbau, Universität für Bodenkunde Wien, online unter http://orgprints.org/2487/01/Ruth_vortrag_in_Tulln.pdf, zuletzt aufgerufen am 22.07.2005
- Lamp, Helmut 2004: Vortrag im Rahmen des Perspektivforums des BBE und FNR „Ausbau der Bioenergie – im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz? Eine Standortbestimmung, Berlin, 10. Februar 2004, Tagungsband
- Landel, Vogg, Wüterich 2000: Bundes-Bodenschutzgesetz, 450 Seiten, Stuttgart, Kohlhammer-Kommentare.
- Landesanstalt für Landwirtschaft des Landes Brandenburg 2001: Raps – Empfehlungen zum Anbau in Brandenburg. Schriftenreihe Landesanstalt für Landwirtschaft (3)
- Leithold G. 2004: Analyse und Bewertung des Humus- und Nährstoffhaushaltes ackerbaulich genutzter Böden des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof, JUSTUS – LIEBIG – UNIVERSITÄT GIESSEN, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II - Professur für Organischen Landbau - Gießen, 24.09.2004, online unter <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1811/pdf/ReebDominik-2004-09-24.pdf>, zuletzt aufgerufen am 08.07.2005
- Lübbecke, Imke; Hövelmann, Lothar; Choudhury, Keya 2005: Auswertung der Referate und Diskussionsbeiträge des Workshops „Energie aus Biomasse – Herausforderungen für Landwirtschaft und Naturschutz“ der AG Landwirtschaft und Naturschutz von DLG und WWF am 30./31. Mai 2005 in Berlin
- Lüdemann, G. H. o. J.: Schnellwachsende Baumarten in Wald und Landschaft Norddeutschlands. Ges. zur Förderung Schnellwachsender Baumarten in Norddeutschland e.V. Eutin.

- Lühs, W., Friedt W. o.J.: Anbauempfehlungen für hochölsäurehaltige (HO-) Sonnenblumen in Deutschland, online auf den Seiten des Informationssystems Nachwachsende Rohstoffe <http://www.inaro.de/Deutsch/KULTURPF/Sonnenbl/HO-Model/an212.htm>, zuletzt aufgerufen am 08.07.2005
- Makeschin, F. 1994: Effects of energy forestry on soils. Biomass and Bioenergy 6
- Mann, S. 1998: Nachwachsende Rohstoffe. Ulmer Verlag, Stuttgart (Hohenheim)
- Marutzky, R. 2003: neue Wettbewerbssituation bei Holzsortimenten. – Holz-Zentralblatt 10/2003
- Mayr, R. 2001: Endbericht über das Projekt BAB 2/95: Untersuchung von Erntetechnik und Lagerverhalten sowie der Eignung der thermischen Verwertung von Miscanthus sinensis ‚Gigantheus‘ 1995-1998. Veröffentlichung vom Bundesamt für Agrarbiologie Linz, Oberösterreich.
- Meister, E., Mediavilla, V., Vetter, R., Konermann, M. 1999: Prüfung der Möglichkeiten des Anbaus und der Markteinführung von neuen Faserpflanzen (Hanf, Kenaf, Miscanthus). Abschlussbericht Projekt A3.1 (1996-1999). – Grenzüberschreitendes Institut zur rentablen, umweltgerechten Landbewirtschaftung ITADA (Hrsg.) Colmar, Frankreich
- Merkel, Angela 2005: Rede von Angela Merkel auf dem VDEW-Kongress am 8. Juni 2005; zitiert in: Berliner Zeitung vom 09. Juni 2005: „Merkel will Atomkraft statt Ökostrom fördern“ und SPIEGEL ONLINE 08. Juni 2005, im Internet: <http://www.spiegel.de/politik/deutschland/0,1518,359627,00.html>, zuletzt aufgerufen am 08.06.2005)
- Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen 2003: Biogene Festbrennstoffe in Sachsen Anhalt, September 2003, online unter http://lsa-st23.sachsen-anhalt.de/llq/konaro/publik/fly_festbrennstoffe.pdf, zuletzt aufgerufen am 08.07.2005
- Müller, Klaus 2004: Strategien zur energetischen Nutzung von Anbaubiomasse – Erfahrungen und Konzeptionen aus Schleswig-Holstein. Vortrag im Rahmen des Perspektivforums des BBE und FNR „Ausbau der Bioenergie – im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz? Eine Standortbestimmung, Berlin, 10. Februar 2004, Tagungsband
- Münzer, W. 1996: Ergebnisse des Anbaus von Chinaschilf, Amyloseerbse und Hanf. In: C.A.R.M.E.N. (Hrsg.): 5. Symposium „Im Kreislauf der Natur – Naturstoffe für die moderne Gesellschaft“, mWürzburg 8./9. Juli 1996, Tagungsband, Rimpar
- Musiol, Frank 2004: Statement im Rahmen der Podiumsdiskussion des Perspektivforums des BBE und FNR „Ausbau der Bioenergie – im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz? Eine Standortbestimmung, Berlin, 10. Februar 2004, Tagungsband

-
- Ökoinstitut 2004a (Hrsg.): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung, F+E-Vorhaben, gefördert vom BMU, Endbericht, Dezember 2004, Berlin. Online abrufbar unter: http://www.bmu.de/files/biomasse_vorhaben_endbericht.pdf.
- Ökoinstitut 2004b (Hrsg.): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung, Anhangband zum Endbericht, Teil: Naturschutz, F+E-Vorhaben, gefördert vom BMU, online unter <http://www.oeko.de/service/bio/de/index.htm>, zuletzt aufgerufen am 14.07.2005, Dezember 2004
- Ohlhoff, Jürgen 2005: Förderung der energetischen Verwertung von Biomasse Erfahrungen und Strategien des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Vortrag für das BMVEL, Katholische Akademie Berlin, 31.05.2005, online unter <http://www.wwf.de/imperia/md/content/pdf/landwirtschaft/12.pdf>, zuletzt aufgerufen am 04.07.2005
- Peine, Franz-Joseph 2004: Bodenschutz, in: Rengeling (Hrsg.), Handbuch zum europäischen und deutschen Umweltrecht, 2. Aufl. 2003, Band 2, 1. Teilband, § 79, S. 1271-1321
- Petelkau, H. 2002: Bodenbearbeitung und Bodenschadverdichtungen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.
- Pröbster, A. 1990: Praktische Erfahrungen mit *Miscanthus sinensis* ‚Gigantheus‘ in Bayern. KTBL-Arbeitspapier (158)
- Richter, G. 1998: Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt
- Rosner, Klik 2001: Wirkstoffabtrag bei konventionell, konservierend und direkt bewirtschafteten Ackerflächen. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (Hrsg.): 9. Gumpensteiner Lysimetertagung, 24. Und 25. April 2001 und zitiert in IFEU, IUS 2004
- Scheffer, Konrad 2004a: Die Bedeutung einer integralen Landwirtschaft, Vortrag am 10. Februar 2004, in: Tagungsband „Ausbau der Bioenergie – Im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz“, S. 35-44, Bundesverband BioEnergie e.V., Bonn,
- Scheffer, Konrad 2004b: Ökologische Aspekte des Energiepflanzenanbaus, Fachgespräch Energiepflanzen der FNR, 25./26. Februar 2004, online unter <http://fnr-server.de/cms35/fileadmin/biz/pdf/energiepflanzen/scheffer.pdf>, zuletzt aufgerufen am 13.07.2005
- Scheffer, Konrad; Graß, Rüdiger; Reulein, Jürgen 2003: Verfügbare Biomassepotentiale für Energie und Rohstoffe bei flächendeckendem Ökologischen Anbau, Beitrag zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau „Ökologischer Landbau der Zukunft“, 24.-26. Februar 2003 in Wien, Tagungsband

herausgegeben vom Institut für Ökologischen Landbau, Universität für Bodenkultur Wien

- Scheffer, K. 2002: Grundwasser- und Bodenschutz durch den Anbau von Energiepflanzen, Konferenzband „Der Landwirt als Energie- und Rohstoffwirt“, EUROSOLAR-Verlag, S. 23-26
- Scheffer, K. 1998: Ein produktives, umweltfreundliches Ackernutzungskonzept zur Bereitstellung von von Energie und Wertstoffen aus der Vielfalt der Kulturpflanzen – Ansätze für neue Wege. Beitr. Der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg, Bd. 27, S. 65-80
- Schmitz, N. (Hrsg.) 2003: Bioethanol in Deutschland - Verwendung von Ethanol und Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen im chemisch-technischen und im Kraftstoffsektor unter besonderer Berücksichtigung von Agraralkohol; Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Bd. 21; Landwirtschaftsverlag, Münster
- Schrenk, V. 2000: Vorstudie zum Leitprojekt „Technologieorientierter Projektbeitrag: Industrieflächenrecycling, Flächenmanagement und Grundwasserschutz. Online unter <http://bwplus.fzk.de/berichte/SBer/PW98203SBer.pdf> , zuletzt aufgerufen am 24.07.2005
- Schulte, Ralf; Krüger Jörg-Andreas 2005: Ergebnisse eines Infoseminars des NABU am 16.02.2005 Therapieplan Wald - Anforderungen an die gute fachliche Praxis in der Forstwirtschaft, online unter http://www.nabu-akademie.de/berichte/04_gfp_forst.htm, zuletzt aufgerufen am 18.07.2005
- Schulze Lammers, P. Tschepe, M., Strätz, J. 2000: Bodenbelastungen durch Rad- und Achslasten durch Landmaschinen in der Zuckerrübenernte– In: Schadverdichtungen in Ackerböden – Entstehung, Folgen, Gegenmaßnahmen. 14. Wissenschaftliche Fachtagung Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, 5. Dezember 2001
- Schütte; Andreas 2004a: Anbau und Nutzung von Energiepflanzen in Deutschland – Status quo, Fachgespräch Energiepflanzen 25./26.02.2004, Braunschweig, online unter <http://fnr-server.de/cms35/index.php?id=570>, zuletzt aufgerufen am 30.06.2005
- Schütte; Andreas 2004b: Zusammenfassung Fachgespräch Energiepflanzen, 25./26.2.2004, Braunschweig, online unter <http://fnr-server.de/cms35/fileadmin/biz/pdf/energiepflanzen/Zusammenfassung.pdf>, zuletzt aufgerufen am 13.07.2005
- Seemüller, Markus 1999: Der Einfluss unterschiedlicher Landbewirtschaftungssysteme auf die Ernährungssicherung in Deutschland in Abhängigkeit des Konsumverhaltens der Verbraucher; Diplomarbeit an der TU München Weihenstephan, Fachgebiet

-
- Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus. Erschienen beim Öko-Institut Verlag
- Sonnleitner, Gerd 2004: Biomasseproduktion zur energetischen Nutzung – nur ein Fruchtfolgeglied oder mehr? Vortrag im Rahmen des Perspektivforums des BBE und FNR „Ausbau der Bioenergie – im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz? Eine Standortbestimmung, Berlin, 10. Februar 2004, Tagungsband
- Stahl, H., Schmidt, W., Gierke, U. 2002: Beratung zur guten fachlichen Praxis zum Schutz des Bodengefüges. Ansätze, Strategien, offene Fragen. – In: Schadverdichtungen in Ackerböden – Entstehung, Folgen, Gegenmaßnahmen. 14. Wissenschaftliche Fachtagung Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, 5. Dezember 2001
- Steger, Sören 2005: Der Flächenrucksack des europäischen Außenhandels mit Agrarprodukten. Wuppertal Paper, März 2005, online unter http://www.wupperinst.org/globalisierung/pdf_global/flaechenrucksack.pdf, zuletzt aufgerufen am 25.07.2005
- Stock H.-G., Diepenbrock, W. 1999: Agronomische Artenpässe landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Bedeutung und Anbauverfahren wichtiger landwirtschaftlicher Fruchtarten in Kurzfassung, Aachen
- SRU 2000 - Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: Umweltgutachten 2000: Schritte ins nächste Jahrtausend. Kurzfassung.
- UBA 2003 – Umweltbundesamt (Hrsg.): Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr – Materialienband. Texte 90/03, Berlin
- UBA 1999 - Umweltbundesamt (Hrsg.): Abschätzung der Einwirkungen gentechnisch veränderter Kulturpflanzen auf den Boden, vor allem auf die organische Bodensubstanz als Träger der Lebensraumfunktion. Von: Labes, G.; Danneberg, G.; Simon, R.; Berlin
- UBA 1997 - Umweltbundesamt (Hrsg.): Nachhaltiges Deutschland. Wege einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung. Berlin: Erich Schmidt.
- UBA 1991– Umweltbundesamt (Hrsg.): Mindestanforderungen an die gute landwirtschaftliche Praxis aus Sicht des Bodenschutzes. Teil 1 und 2, Busch, Michael, Fahning Ines; Forschungsbericht 107 061/ 4
- Van Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A-R., Jones, R.J.A., Montanarella, L, Olazabal, C., Selveradjou, S.K. 2004: Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/3. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

- Vetter 2004: Anbauverfahren und ökonomische Aspekte der Energiepflanzenerzeugung (konventionelle, alternative Verfahren), TLL Jena, Vortrag 25.02.2004, Fachgespräch Energiepflanzen „Anbau und Nutzung von Energiepflanzen in Deutschland – Status quo“, online unter <http://fnr-server.de/cms35/fileadmin/biz/pdf/energiepflanzen/vetter.pdf>, zuletzt aufgerufen am 30.06.2005
- Volkswagen AG 2005: Die Basis nachhaltiger Mobilität. Online unter <http://www.volkswagen-umwelt.de/> bzw. http://www.mobilitaet-und-nachhaltigkeit.de/buster/buster.asp?i=wissen_sunfuel_start.asp, zuletzt aufgerufen am 08.07.2005
- Vogel, A.; Kaltschmitt, M. u.a.: Systemkonzepte zur Produktion von Fischer-Tropsch-Biokraftstoffen. BWK 03/2004. März 2004.
- Vogtmann, Hartmut 2004: Nachhaltiger Ausbau der Bioenergie – Nutzung aus Naturschutzsicht, Vortrag im Rahmen des Perspektivforums des BBE und FNR „Ausbau der Bioenergie – im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz? Eine Standortbestimmung, Berlin, 10. Februar 2004, Tagungsband
- Wagner, Robert 2004 (C.A.R.M.E.N.): Haben Biogasanlagen in einer Nachhaltigen Energieversorgung Platz? Aktueller Stand, Trends und Ausblick, Vortrag im Tagungszentrum Novuum am 22.10.04, online unter <http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/vortraege/biogassanlagen2.pdf>, zuletzt aufgerufen am 30.06.2005
- Weiland P. 2004: Qualitätskriterien zur Nutzung von Biomasse zur Biogasproduktion, Institut für Technologie und Biosystemtechnik Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Vortrag 25.02.2004, Fachgespräch Energiepflanzen „Anbau und Nutzung von Energiepflanzen in Deutschland – Status quo“, online unter <http://fnr-server.de/cms35/index.php?id=570>, zuletzt aufgerufen am 30.06.2005
- Wichtmann, W.; Koppisch D. 1998 – Nutzungsalternativen für Niedermoore am Beispiel Nordostdeutschlands – Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 41
- Wichtmann, W. 2003: Verwertung von Biomasse von Niederungsstandorten. – Greifswalder Geographische Arbeiten (Vorlage als unveröffentlichtes Manuskript)
- Winkel, G. & Volz, K.-R. (2003): Naturschutz und Forstwirtschaft. Kriterienkatalog zur Guten fachlichen Praxis. – Bonn (Bundesamt für Naturschutz) – Angewandte Landschaftsökologie 52
- ZALF o.J. : Merkblätter zur Bodenerosion im Land Brandenburg. Müncheberg