

EMPFEHLUNGEN DER
"KOMMISSION BODENSCHUTZ
BEIM UMWELTBUNDESAMT"

**BODENSCHUTZ BEIM
ANBAU NACHWACHSENDER
ROHSTOFFE**

Impressum

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06844 Dessau-Roßlau
Telefax: (0340) 21 03 22 85
E-Mail: info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Redaktion: Geschäftsstelle der KBU
Fachgebiet II 2.7

Stand: April 2008

Gestaltung: Umweltbundesamt

Titelbild: © Michael Hüllenkrämer

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100% Altpapier.

**EMPFEHLUNGEN DER
„KOMMISSION BODENSCHUTZ
BEIM UMWELTBUNDESAMT“**

**BODENSCHUTZ BEIM
ANBAU NACHWACHSENDER
ROHSTOFFE**

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	5
Kommissionsmitglieder	7
Abkürzungsverzeichnis	8
1 Einleitung	11
2 Energiepolitische Rahmenbedingungen	14
3 Empfehlungen	26
3.1 <i>Böden gemäßiger Klimate hinsichtlich vielfältiger Bodenfunktionen schützen</i>	26
3.2 <i>Bodenqualität und ökologische Bodenfunktionen dauerhaft sichern</i>	30
3.3 <i>Optimale Humusgehalte an den Produktionsstandorten sichern</i>	38
3.4 <i>Ausgeglichene Stoffkreisläufe und neue Techniken zur umweltverträglichen Nutzung der Rückstände schaffen</i>	43
3.5 <i>Rechtliche Grundlagen optimieren</i>	51
3.6 <i>Forschung initiieren und Entwicklung befördern</i>	63
4 Literatur	70
Abbildungsverzeichnis	80
Tabellenverzeichnis	81

VORWORT

Der Klimawandel ist real

Im letzten Jahr haben zu diesem Thema verschiedene Treffen von Staats- und Regierungschefs und der Umweltminister auf G8- und EU-Ebene stattgefunden. Einigkeit bestand darin, die CO₂-Emissionen zu senken. Deutschland hat sich ambitionierte Klimaschutzziele gestellt. Bis 2020 geht es um eine Senkung von 40% der Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Basisjahr 1990, d.h., bis 2012 um 21% und in den verbleibenden 8 Jahren noch einmal um 19% (Regierungserklärung, 2007).

Mit Einzelmaßnahmen ist dies nicht zu schaffen. Das am 5.12.07 beschlossene Energie- und Klimapaket der Bundesregierung (Bundesregierung, 2007) weist ein 30-Punkteprogramm aus, welches neben der Energieeinsparung, Verbesserung der Energieeffizienz in Produktion und Wärmenutzung, Maßnahmen zur Verbesserung der CO₂-Bilanz im Verkehr auch die Erhöhung des Anteils regenerativer Energien vorsieht. Wesentliche regenerative Energieträger sind Wasserkraft, Wind und nachwachsende Rohstoffe.

Nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo) sind land- und forstwirtschaftlich erzeugte Produkte, die einer stofflichen oder energetischen Verwendung, also nicht der Ernährung von Mensch oder Tier, dienen.

Für folgende der 30 Beschlüsse des Energie- und Klimapaketes der Bundesregierung können NaWaRo Beiträge leisten:

- ▶ Der Anteil der **erneuerbaren Energien** an der Stromproduktion von derzeit 13 Prozent soll bis 2020 auf 25 bis 30 Prozent steigen.
- ▶ In die Erdgasleitungen kann auch **Biogas** eingespeist werden; bis 2030 könnten bereits 10 Prozent erreicht werden.
- ▶ Bis 2020 soll die Zumischung von etwa **20 Volumenprozent Biokraftstoff** im normalen Kraftstoff Pflicht werden.
- ▶ Der Umstieg auf **erneuerbare Wärmeenergie** wird gesetzlich vorgeschrieben. Bis 2020 sollen 14 Prozent der Heizenergie in Neubauten aus diesen Quellen stammen.

Das bedeutet verstärkte Anstrengungen in den Bereichen:

- ▶ Verstromung,
- ▶ Biogas,
- ▶ stoffliche Nutzung,
- ▶ Biokraftstoffen und
- ▶ Wärmegewinnung aus Biomasse.

Produktion und Verwendung von NaWaRo als Energieträger sind zu befürworten, soweit sie

- a) eine positive Klimabilanz über die gesamte Wertschöpfungskette aufweisen,
- b) keine unverträglichen Belastungen des Naturhaushalts bewirken und
- c) die Nahrungsmittelproduktion nicht gefährden (auch nicht in Entwicklungsländern).

Boden als Schutzgut

Als absolut begrenzte verfügbare Ressource benötigt das Produktionsmittel Boden besonderen Schutz und steht im Mittelpunkt dieser Empfehlungen. Der Präsident des Umweltbundesamtes bat deshalb im Jahr 2006 die Kommission Bodenschutz (KBU), die Wirkungen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf Böden zu bewerten und Empfehlungen auszusprechen. Empfehlungen sind aus der Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes darauf auszurichten, die im Bundesbodenschutzgesetz § 2 Abs. 2 genannten natürlichen Bodenfunktionen dauerhaft zu schützen.

Ihre Grundaussagen diskutierte die KBU am 5.12.06, am Tag des Bodens, auf einer Tagung im Umweltbundesamt in Dessau mit Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft. Die Diskussionsergebnisse flossen in diese Empfehlungen ein. Die vorliegende Stellungnahme der KBU beschreibt Risiken für Böden, die aus einem verstärkten Anbau bestimmter NaWaRo-Kulturen resultieren können. Sofern es sich dabei um Kulturpflanzen handelt, die auch als Nahrungs- oder Futtermittel dienen, betreffen diese Risiken nicht allein den NaWaRo-Anbau, sondern einen Ausbau der Anbaufläche dieser Kulturen insgesamt.

Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhardt F. Hüttl

Vorsitzender der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt (2004-2007)

KOMMISSIONSMITGLIEDER

- Dr. Wolf Eckelmann; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Fachgruppe Mineralogie und Bodenkunde
- Prof. Dr. Felix Ekardt; Universität Bremen; Forschungsstelle für Europäisches Umweltrecht und Bremer Institut für Transnationales Verfassungsrecht
- Prof. Dr. Jens-Uwe Fischer; Deutsche Bahn AG; Sanierungsmanagement
- Prof. Dr. Klaus Fricke; TU Braunschweig; Leichtweis-Institut für Wasserbau und Abfall
- Prof. Dr. Peter Grathwohl; Universität Tübingen; Institut für Geowissenschaften; Center for Applied Geoscience
- Prof. Dr. Jürgen Heß; Universität Kassel – Witzenhausen; Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften
- Dr. Kerstin Hund-Rinke; Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie (IME), Schmallenberg
- Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhard F. Hüttel; Geoforschungszentrum Potsdam und BTU Cottbus; Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung
- Prof. Dr. Ulrich Köpke; Universität Bonn; Institut für Organischen Landbau
- Prof. Dr. Yeong Heui Lee; Technische Universität Berlin; Institut für Stadt- und Regionalplanung
- Prof. Dr. Franz Makeschin; Technische Universität Dresden; Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften; Institut für Bodenkunde und Standortlehre
- Prof. Dr. Rainer Marggraf; Georg-August-Universität Göttingen; Institut für Agrarökonomie; Abteilung Ressourcenökonomie
- Prof. Dr. Friedrich Rück; Fachhochschule Osnabrück; Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur; Bodenwissenschaften
- PD. Dr. Margret Schlumpf; Universität Zürich; Institut für Pharmakologie und Toxikologie
- Prof. Dr. Dr. Ewald Schnug; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft; Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Braunschweig
- Prof. Dr. Hubert Wiggering; Direktor des Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Müncheberg
- Prof. Dr. Jutta Zeitz; Humboldt-Universität zu Berlin; Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät; Fachgebiet Bodenkunde und Standortlehre

Redaktion:

Peter Dominik

unter Mitarbeit von:

Harald Ginzky, Frank Glante, Dietrich Schulz, Frank Repmann und
Claus Bannick (alle UBA)

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AbfklärV	Klärschlammverordnung
B(a)P	Benzo(a)pyren
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutzverordnung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BioAbfV	Bioabfallverordnung
BioKraftQuG	Biokraftstoffquotengesetz 2006
BiomasseV	Biomasseverordnung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMU cherheit	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BNatSchG	Bundes-Naturschutzgesetz
BtL	Biomass to Liquid: Herstellung von flüssigen Treibstoffen nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren aus Lignozellulosen (SunDiesel® oder SunFuel®)
C	Kohlenstoff
C _{org}	Organischer Bodenkohlenstoff = Maß für Humusgehalt
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
EEA	European Environment Agency
EE	erneuerbare Energien
EEG	deutsches Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien
EU	Europäische Union
FAO	Food and Agriculture Organisation der Vereinten Nationen
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik (der EU)
gfP	gute fachliche Praxis des nationalen Rechts
GVP	gentechnisch veränderte Pflanzen
GJ	Gigajoule, Energieeinheit = 10 ⁹ Joule = 278 kWh
ha	Hektar
IE-Leipzig	Institut für Energetik und Umwelt gemeinnützige GmbH
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH

KAK	Kationenaustauschkapazität von Böden
kg	Kilogramm
KUP	Kurzumtriebsplantagen von schnell wachsenden Baumarten, die aus dem Stock ausschlagen und daher mehrfach geerntet werden können
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung, Nutzung der Abwärme zu Heizzwecken bei der Stromerzeugung, der Wirkungsgrad der Primärenergie wird so von 40 auf 80-90% gesteigert
Mio.	Million(en)
mg	Milligramm
MJ	Megajoule, Energieeinheit = 10^6 Joule = 0,278 kWh
MW	Megawatt, Leistungseinheit = 10^3 Kilowatt
N	elementarer Stickstoff
N ₂	Luftstickstoff
N ₂ O	Distickstoffoxid, Lachgas
NH ₃	Ammoniak
NaWaRo	nachwachsende Rohstoffe
PAK	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe
PCDD/F	Polychlorierte Dioxine und Furane
PflSchG	Pflanzenschutzgesetz
PJ	Petajoule, Energieeinheit = 10^{15} Joule = 0,278 TWh
PSM	Pflanzenschutzmittel
RME	Rapsmethylester (Biodiesel)
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
t	Tonne
t _{TM}	Tonnen Trockenmasse
THG	Treibhausgase, insb. CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O (1 g CH ₄ entspricht in der Wirkung 23 g CO ₂ ; 1 g N ₂ O entspricht 280 g CO ₂)
TWh	Terawattstunden, Energieeinheit = 10^9 Kilowattstunden
USchG	Umweltschadensgesetz

1 EINLEITUNG

Nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo) können einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz und zur Versorgungssicherheit mit Energie liefern. Als sich ständig erneuernde Rohstoff- und Energiequellen gehören sie zu den natürlichen Ressourcen, die auch in Deutschland zur Verfügung stehen. Sofern sie positive Ökobilanzergebnisse aufweisen, können sie Umweltbelastungen, insbesondere die CO₂-Anreicherung in der Atmosphäre, reduzieren (EWSA 2006). Der Anbau und die Nutzung dieser Stoffe ist in Deutschland Bestandteil einer breiteren Diskussion um Ressourcenverfügbarkeit, -knappheit und -effizienz (SRU, 2005 & 2007) und Teil aktueller Überlegungen zu einer deutschen und EU-Strategie zur Schonung der natürlichen Ressourcen (Bundesregierung, 2002; EU, 2001 & 2007a).

Nachwachsende Rohstoffe sind land-, forst- und fischereiwirtschaftliche Erzeugnisse, die nicht der Ernährung des Menschen oder der Tiere dienen. Dazu gehören alle Stoffe, die grüne Pflanzen (oder Tiere und Mikroorganismen, die erstere verwerten) bilden. Die Nutzung der Biomasse kann sowohl stofflich als auch energetisch erfolgen (EWSA, 2006), (Abbildung 1).

Zurzeit stehen vor allem die Herstellung und der Einsatz von Treibstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen im Mittelpunkt der öffentlichen Diskussion in Deutschland. Diskutiert werden verschiedene Verfahren und deren Effizienz zur Herstellung der Biokraftstoffe als Ersatz für herkömmliche, aus Mineralöl hergestellte Otto- und Dieselmotorkraftstoffen. Zu nennen sind: Biodiesel (Rapsmethylester, RME), Bioethanol, SunDiesel (Biomass to Liquid, BtL) und Biogas (Methan). Raps wurde in Deutschland 2007 auf ca. 1,5 Millionen Hektar (Mio. ha) angebaut (Statistisches Bundesamt, 2007a).

Nach Eurostat-Schätzungen, sowie von den Mitgliedstaaten Anfang Juni übermittelten Schätzungen, nahmen 2007 die Rapsanbauflächen deutlich zu (+13,5% gegenüber 2006, +31,5% gegenüber dem Durchschnittswert der letzten fünf Jahre). Dies ist auf die steigende Nachfrage nach Bioenergie, besonders nach Rapsölmethylester zurückzuführen (Eurostat, 2007).

Ebenso wie andere erneuerbarere Energien schonen NaWaRo fossile Ressourcen und mindern die Importabhängigkeit im Energiesektor (Hennicke und Supersberger, 2006). Die Verwendung der NaWaRo als Energieträger ist zunächst einmal „klimaneutral“, da NaWaRo die Menge an CO₂, die sie während ihrer Verbrennung freisetzen, vorher der Atmosphäre entzogen haben. Im Rahmen einer ökologischen Gesamtbilanzierung sind jedoch auch die Produktionsverfahren (Maschineneinsatz, Herstellung der Pflanzenschutz- und Düngemittel sowie mikrobielle Prozesse in Böden) und die damit verbundenen Treibhausgas (THG)-Emissionen zu berücksichtigen.

Aus dem Anbau von NaWaRo und dessen Intensivierung können Konflikte mit anderen Feldern des Umweltschutzes, insbesondere des Naturschutzes, des Gewässer- und des Bodenschutzes, erwachsen (IFEU, 2006).

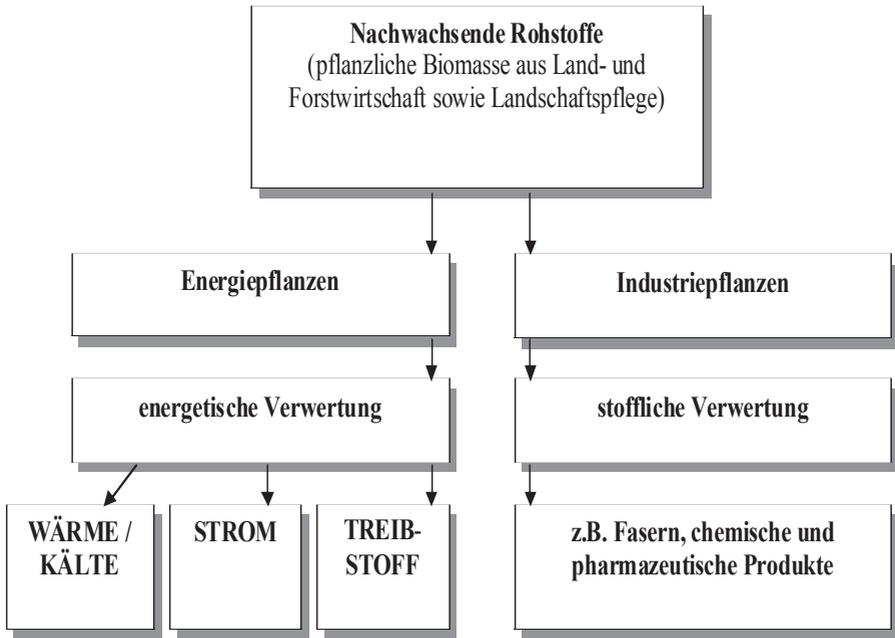


Abbildung 1: Nutzungsmöglichkeiten nachwachsender Rohstoffe (Schlegel et al., 2005)

Aus Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes birgt der Anbau von NaWaRo auch Risiken für die Bodenqualität und angrenzende Umweltmedien. Zu nennen sind:

- 1) erhöhte Schadstoffeinträge und Spurengasemissionen aus Dünge- und Pflanzenschutzmitteln infolge hoher Ertragsziele,
- 2) Humusverlust infolge vollständiger Aberntung und vollständiger Abfuhr organischen Materials vom Acker,
- 3) Erosion wegen nicht standortangepassten Anbaus,
- 4) Verlust ökologischer Bodenfunktionen als Folge der genannten Wirkungen sowie der Bodenschadverdichtung,
- 5) Verringerung der Biodiversität infolge Einschränkung des Anbaus auf wenige Fruchtarten oder ausgedehnter Monokulturen,
- 6) Veränderung des Landschaftsbildes.

Die Bodenschutzkommission diskutiert und bewertet diese Risiken nachfolgend unter Berücksichtigung der energiepolitischen Relevanz der NaWaRo, der energiepolitischen Ziele der Bundesregierung, des *Status Quo* und der Entwicklungstendenzen der Energieversorgung in Deutschland sowie der Potenziale der erneuerbaren Energien. Anschließend gibt die KBU Empfehlungen, die dazu beitragen sollen, den Anbau von NaWaRo, insbesondere ihren Ausbau, nachhaltig zu gestalten.

Hauptforderungen der KBU beim Anbau nachwachsender Rohstoffe sind:

- ▶ positive Klimabilanz über die gesamte Kette vom Anbau bis zur Reststoffverwertung,
- ▶ keine Verschlechterung des Bodenzustands,
- ▶ Einhaltung tolerabler Stoffein- und -austräge über alle Pfade,
- ▶ Anbau, Verarbeitung und Verwertung der Reststoffe in geschlossenen Stoffkreisläufen.

Da die KBU die Risiken gentechnisch veränderter Pflanzen für die Qualität von Böden kontrovers diskutiert, klammert diese Stellungnahme dieses Thema aus.

Wissenslücken, die die KBU bei der Behandlung des Themas identifizierte und die durch Bündelung der Forschungsbemühungen und durch Initiierung weiterführender Forschung im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe zu schließen sind, bilden den Abschluss der Empfehlungen.

2 ENERGIEPOLITISCHE RAHMENBEDINGUNGEN

Strategische Ziele

Ziel der Bundesregierung ist es unter anderem, den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bis 2010 auf mindestens 12,5% und bis 2020 auf mindestens 27% zu steigern. Der Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch¹ soll von heute 5,8% bis 2020 auf mindestens 16% und bis 2050 auf mindestens 50% steigen (Regierungserklärung, 2007). Der Marktanteil der Biokraftstoffe am Kraftstoffbedarf im Verkehrssektor soll gemäß Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG) bis 2010 auf 6,75% und bis 2015 auf 8% steigen. Die Beschlüsse des Bundeskabinetts zum Klimaschutz am 5.12.2007 gehen sogar noch weiter:

„Beim Strom aus erneuerbaren Energien haben wir uns auf ein Ausbauziel von 25-30% bis 2020 verständigt. Gleichfalls haben wir uns darauf verständigt, bis 2020 den Anteil der erneuerbaren Energien am Wärmebedarf auf 14 Prozent zu steigern. Abgerundet werden die Maßnahmen im Bereich der Erneuerbaren Energien durch ein Biogaseinspeisegesetz. Damit erreichen wir, dass in Zukunft Biogas verstärkt als Kraftstoff und in Kraftwerken eingesetzt werden kann.“ (Pressemitteilung des BMU vom 24.08.07). Bis zum Jahr 2020 sollen allen Treibstoffen ca. 20 vol% Biokraftstoffe beigemischt werden (Bundesregierung, 2007).

Exkurs 1: Strategien der EU zu erneuerbaren Energien

Bereits das sechste Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaft (2001-2010) (Beschluss Nr. 1600/2002/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22.07.2002) nannte den Klimaschutz als einen der vier prioritären Bereiche und bezeichnete Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien als dringend erforderlich. Das siebte Rahmenprogramm der Europäischen Gemeinschaft für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration (2007-2013) (Beschluss Nr. 1982/2006/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18.12.2006) nennt den Bereich der Energie als eines der prioritären Themen und weist darauf hin, dass die Transformation der derzeitigen, auf fossilen Brennstoffen beruhenden Energiewirtschaft in eine stärker auf den Nachhaltigkeitsgrundsatz ausgerichtete Struktur erforderlich ist.

Die Europäische Kommission schlug am 10.01.2007 in der Mitteilung an den Rat und das Europäische Parlament „Fahrplan für erneuerbare Energien - Erneuerbare Energien im 21. Jahrhundert: Größere Nachhaltigkeit in der Zukunft (KOM(2006) 848 endgültig)“ das verbindliche Ziel vor, den Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergiemix in der EU von 7% auf 20% bis zum Jahr 2020 zu erhöhen. Weiterhin schlägt sie vor, in neue Vorschriften verbindliche Mindestziele für Biokraftstoffe aufzunehmen. Das für 2020 für Biokraftstoffe geltende Mindestziel sollte auf 10% des Gesamtverbrauchs von Benzin und Diesel im Verkehrssektor festgelegt werden. Um eine reibungslose Umsetzung dieses Ziels sicherzustellen, beabsichtigt die Kommission, gleichzeitig Änderungsvorschläge zur Richtlinie über

¹ Die gesamte einer Volkswirtschaft zugeführte Energiemenge, die insbesondere zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt wird und die auch die Treibstoffe einschließt.

die Qualität von Kraftstoffen (98/70/EG) sowie zur Einbeziehung des Anteils von Biokraftstoffen vorzulegen. Außerdem hat die Europäische Kommission am 10.01.2007 die Mitteilung an den Europäischen Rat und das Europäische Parlament „Eine Energiepolitik für Europa“ (KOM(2007) 0001 endgültig) vorgelegt. Darin wird zum Ausdruck gebracht, die EU müsse an Tempo zulegen und eine glaubwürdige langfristige Vision der Zukunft der erneuerbaren Energien in der EU entwickeln, aufbauend auf den vorhandenen Instrumenten, insbesondere auf der Richtlinie über Strom aus erneuerbaren Energiequellen. Die Erfüllung der Zielvorgabe eines Anteils von 20% erfordert auf den ersten Blick ein massives Wachstum in allen drei Bereichen der erneuerbaren Energie: Elektrizität, Biokraftstoffe, Wärme- und Kälteerzeugung. Die weitere Entwicklung bedarf noch genauer Analyse; das neue generelle Klimaschutzziel der EU - minus 20% bis 2020 - ist jedenfalls weniger ambitioniert, als es scheint, da minus 15% in Relation zum Basisjahr allein schon durch die Deindustrialisierung in den neuen Mitgliedstaaten (und in der ehemaligen DDR) erbracht werden. Die Kommission will ihr Energiekonzept im Jahr 2007 in einem neuen Legislativpaket zum Thema „erneuerbare Energien“ vorlegen. Schließlich ist noch auf die Mitteilung der Kommission - Aktionsplan für Biomasse (KOM(2005) 628 endgültig), die Mitteilung - Förderung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen (KOM(2005) 627 endgültig) und die Mitteilung zu Biokraftstoffen - Eine EU-Strategie für Biokraftstoffe (KOM(2006) 34 endgültig) hinzuweisen.

Tabelle 1: Energiepolitische Ziele der Bundesregierung bis zum Jahr 2050 (Quellen siehe Text)

Jahr	Primärenergieverbrauch	Stromerzeugung	Kraftstoffe
2006 gesamt Ist	14.464 PJ	634,6 TWh	54,3 Mio. t = 2.294 PJ
2006 erneuerb. Ist	5,8% = 838,9 PJ	11,6% = 73,9 TWh	6,3% ² = 144,5 PJ
2010		12,5% ³ = 79,3 TWh	6,75% = 155 PJ
2020	16% = 2.314,24 PJ	27% = 171,3 TWh	20% = 459 PJ
2050	50% = 7.232 PJ		

- ² Die Biokraftstoffrichtlinie (Richtlinie 2003/30/EG vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor (ABl. L 123 vom 17.05.2003) legt als "Bezugswert" Marktanteile der Biokraftstoffe von 2% im Jahr 2005 fest. KOM(2006; 34 endgültig vom 8.2.2006, S. 8.) Deutschland hatte bereits im Jahr 2005 das angestrebte Ziel von 2% Anteil Biokraftstoffen am Gesamtkraftstoffverbrauch deutlich übertroffen. Mit einem Anteil von 6,3% (bezogen auf den Energiegehalt) ist Deutschland 2006 in Europa Spitzenreiter (Kliem, 2007).
- ³ Die EU plant, dass bis 2010 21% des in der EU verbrauchten Stroms aus erneuerbaren Energiequellen stammen. Vgl.: Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Grünbuch. Eine europäische Strategie für nachhaltige, wettbewerbsfähige und sichere Energie, KOM(2006) 105 endgültig vom 8.3.2006, S. 13.

Tabelle 1 gibt, neben den Zielvorgaben in Prozent, unter der Annahme eines bis in das Jahr 2050 konstant bleibenden Energiebedarfs, die daraus resultierenden jeweiligen Energiemengen in PJ oder in TWh an, die mit erneuerbaren Energien zu ersetzen sind.

Die Bundesregierung rechnet - wegen des technischen Fortschritts bei der Energieerzeugung und bei der Endenergienutzung sowie einer möglichen Änderung des Verbraucherverhaltens - mit einer Steigerung der Energieeffizienz. So kommt die EWI/Prognos Studie (2005) zur Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030 zu dem Ergebnis, dass der Primärenergieverbrauch in Deutschland - selbst unter den heutigen Rahmenbedingungen - langfristig abnehmen dürfte und zwar bis 2020 um 9% und bis 2030 um 15%. Die Bruttostromerzeugung würde bis zum Jahr 2020 auf 594 TWh und bis 2030 auf 584 TWh sinken. Der Endenergieverbrauch im Verkehrssektor würde wegen weniger verbrauchsintensiver Fahrzeuge bis 2030 um knapp 4%, bezogen auf das Jahr 2002, sinken.

Szenarien, die einen ambitionierten Klimaschutz in Deutschland und einen starken Ausbau der erneuerbaren Energien vorsehen, erwarten sogar einen noch niedrigeren Energieverbrauch. So soll der Primärenergieverbrauch gemäß einer Studie des BMU (2007a) bis 2030 gegenüber 2000 um 27%, bis zum Jahr 2050 sogar um 45% sinken. Die neuesten Zahlen zeigen jedoch, dass es sich bei der Senkung des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen keinesfalls um einen Automatismus handelt: Wegen des Wirtschaftswachstums stiegen der Energieverbrauch und auch die THG-Emissionen Deutschlands im Jahr 2006 wieder leicht an (UBA, 2007a).

Energieversorgung in Deutschland

Primärenergieverbrauch

Der Primärenergieverbrauch betrug in Deutschland im Jahr 2006 14.464 PJ. Er wird zurzeit im Wesentlichen aus fossilen Energieträgern und der Kernenergie gedeckt (Abbildung 2).

Die erneuerbaren Energien (EE) hatten 2006 einen Anteil von ca. 5,8% am Primärenergieverbrauch (ca. 840 PJ), wobei sie 361 PJ zur Strom-, 317 PJ zur Wärmeerzeugung und 144 PJ zu den Kraftstoffen beitrugen.

Stromerzeugung

Die Bruttostromerzeugung in Deutschland betrug im Jahr 2006 ca. 634 TWh oder 2.282 PJ (plus 0,6% zum Vorjahr) (Abbildung 3), zu deren Erzeugung ca. 5.556 PJ Primärenergie erforderlich waren (AG Energiebilanzen, 2007). Der

durchschnittliche Gesamtwirkungsgrad bei der Stromerzeugung liegt demnach bei ca. 41%.

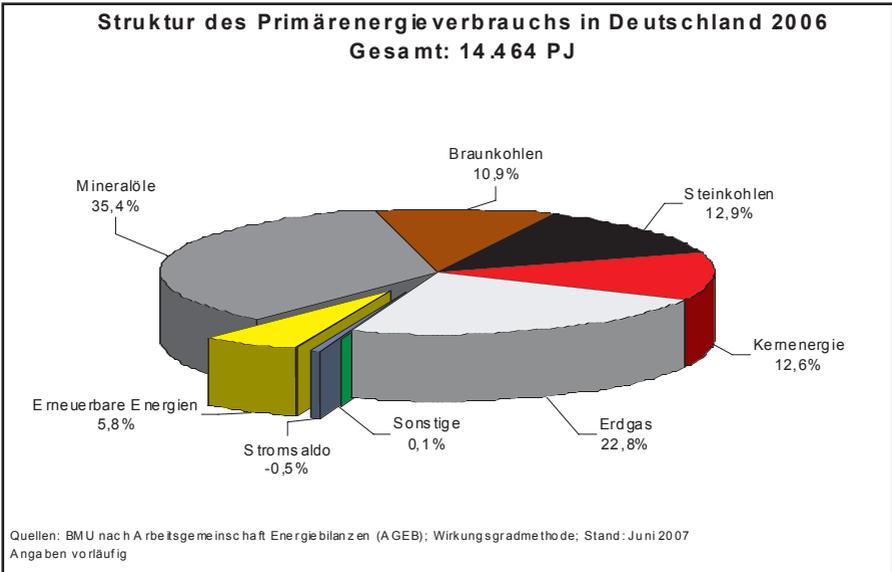


Abbildung 2: Primärenergieverbrauch in Deutschland für das Jahr 2006 nach Energieträgern, nach BMU (2007c)

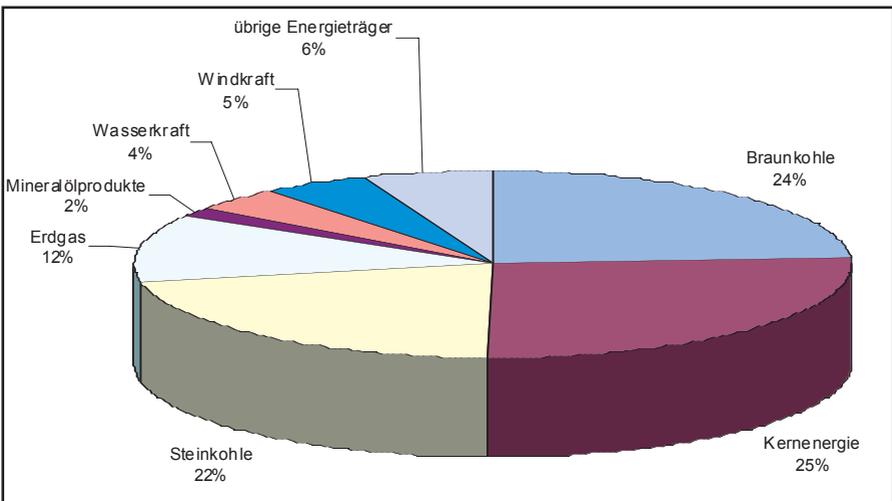


Abbildung 3: Bruttostromerzeugung in Deutschland für das Jahr 2006 (634 TWh) nach Energieträgern, nach AG Energiebilanzen (2007)

Von der Bruttostromerzeugung basierten 86% auf fossilen Energieträgern und der Kernenergie. Wind- und Wasserkraft haben zusammen einen Anteil von ca. 9% an der Bruttostromerzeugung. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung (619 TWh) betrug 2005 10,1% (BMWi, 2006) und 2006 schon 11,6% (BMU, 2007b).

Insgesamt wurden 2006 ca. 73,9 TWh mit Hilfe erneuerbarer Energien erzeugt (Abbildung 4). Die Wind- und die Wasserkraft stellen mit ca. 41% und 29% die Hauptanteile. Biogene Brennstoffe (feste, flüssige und Biogas) erreichten 2006 einen Anteil von 19,2% an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien.

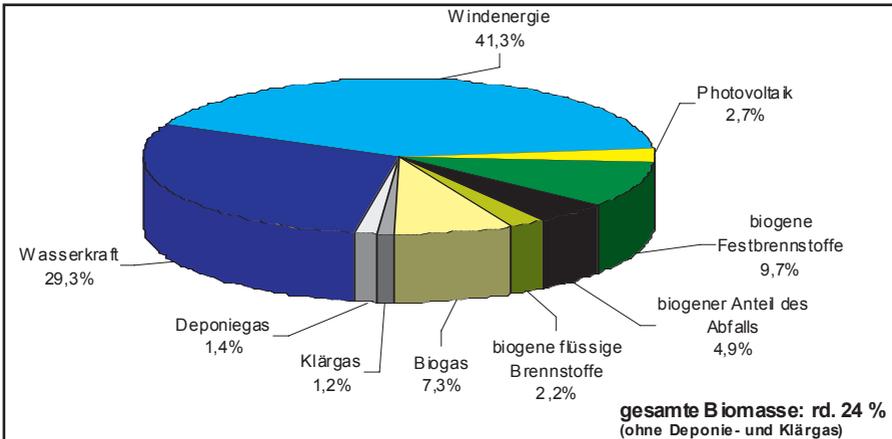


Abbildung 4: Zusammensetzung der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung (73,9 TWh) in Deutschland, nach BMU (2007b)

Wärmeverbrauch

Der Endenergieverbrauch für Raumwärme, Warmwasser und sonstige Prozesswärme betrug im Jahr 2004 etwa 5.460 PJ (BMWi, 2006). Der Anteil der erneuerbaren Energien betrug mit 290 PJ im Jahr 2005 5,3%, im Jahr 2006 5,8% (Abbildung 5).

Bei den für die Wärmeerzeugung eingesetzten erneuerbaren Energien handelte es sich zu 94%, dies sind 303 PJ (84,1 TWh), um biogene feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe. Der Hauptanteil (69%) der biogenen Festbrennstoffe für die Wärmeerzeugung wurde in privaten Haushalten eingesetzt.

Kraftstoffverbrauch

Der Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr umfasste in Deutschland im Jahr 2006 etwa 2.294 PJ - das sind ca. 54,3 Mio. t Benzin, Diesel- und Biokraftstoff (Abbildung 6). Die erneuerbaren Energien hatten 2006 einen Anteil von 6,3%

am Kraftstoffverbrauch (bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch von 2.294 PJ). Davon macht allein Biodiesel 4%-Punkte aus.

Die Biodieselproduktion betrug in Deutschland im Jahr 2005 etwa 2,3 Mio. t; der Inlandabsatz 1,8 Mio. t. 2006 betrug die Inlandsverarbeitungskapazität 4,8 Mio. t (bioSicherheit, 2007). Insgesamt wurden im Jahr 2005 in Deutschland 833,7 PJ - Primärenergieäquivalent (5,8%) aus erneuerbaren Energien erzeugt (Abbildung 7). Rund 74% der Endenergie aus erneuerbaren Energiequellen wurde im Jahr 2006 durch Biomasse bereitgestellt (BMU, 2007b).

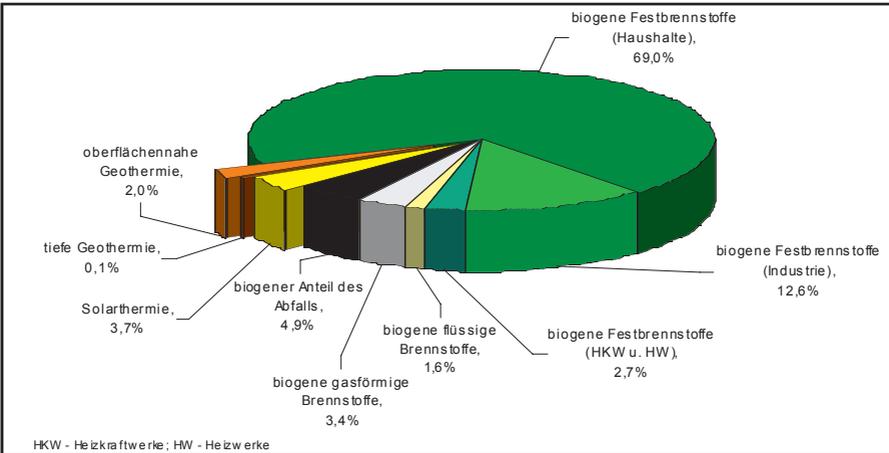


Abbildung 5: Anteile der verschiedenen Energieträger an der Wärmeerzeugung in Deutschland aus erneuerbaren Energien (89,3 TWh) für das Jahr 2006 in Prozent, (BMU, 2007b)

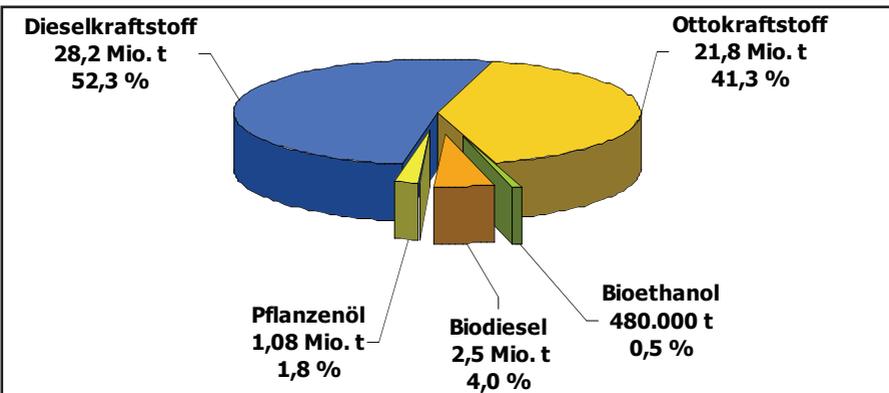


Abbildung 6: Kraftstoffverbrauch in Deutschland 2006 (%-Angaben bezogen auf den Energiegehalt) (Kliem, 2007)

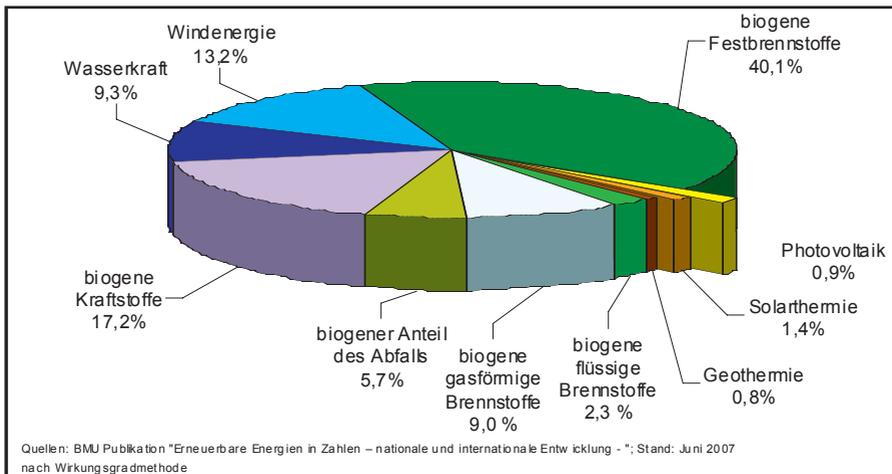


Abbildung 7: Anteile der erneuerbaren Energien an der Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2006 (insgesamt 833,7 PJ) (BMU 2007)

Bioenergiepotenzial

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen setzt sich ausführlich mit dem Angebot an Biomasse zur energetischen Nutzung auseinander (SRU, 2007). Um das zukünftige Potenzial an Biomasse abschätzen zu können, wertet er verschiedene Studien aus (ebenda S. 29) und bewertet Szenarien der möglichen Entwicklung auf dem Biomassektor. Der EEA Report 7/2006 (Wiesenthal et al., 2006) prognostiziert für Deutschland ein - über die Jahre 2010 bis 2030 ansteigendes - Biomassepotenzial (Abbildung 8). Danach beträgt das Primärenergiepotenzial im Jahr 2010 etwa 1.100 PJ, im Jahr 2020 ca. 1.400 PJ und im Jahr 2030 ca. 1.800 PJ.

Das Gesamtpotenzial setzt sich aus der land- und forstwirtschaftlichen Produktion sowie aus der Verwertung biogener Abfälle zusammen. In der o.g. Studie stellt langfristig die landwirtschaftliche Produktion mit 980 PJ den größten Anteil des Gesamtbiomassepotenzials. Nach der Studie wäre das in Tabelle 1 formulierte Ziel, 10% des Primärenergieverbrauchs - 1.423 PJ - bis 2020 durch erneuerbare Energien zu substituieren, allein durch den Einsatz von Biomasse erreichbar.

Die Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse auf der Basis eines Nachhaltigkeitszenarios ergab, dass mit regenerativen Energien ab 2030 ca. 2.500 PJ/a Primärenergie zu erzeugen wären (Abbildung 9).

Danach dürften Wind, Wasser, Sonne und Geothermie ab 2030 zusammen knapp 1.000 PJ/a liefern. Biomasse (biogene Reststoffe und Energiepflanzen) könnte ab 2030 eine Energiemenge von ca. 1.500 PJ/a beisteuern. Das Primärenergiepotenzial aus Biomasse bewertet das Öko-Institut somit deutlich höher

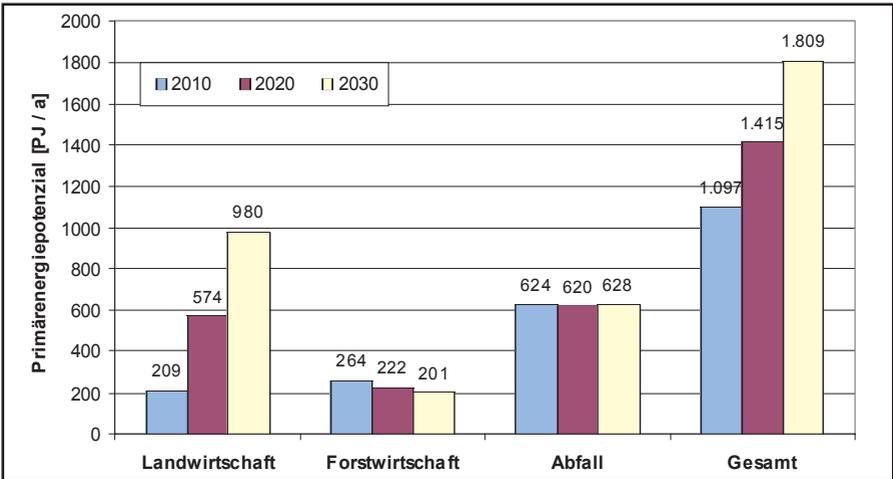


Abbildung 8: Prognostiziertes Primärenergiepotenzial aus Bioenergie für Deutschland von 2010 bis 2030 (Wiesenthal et al., 2006)

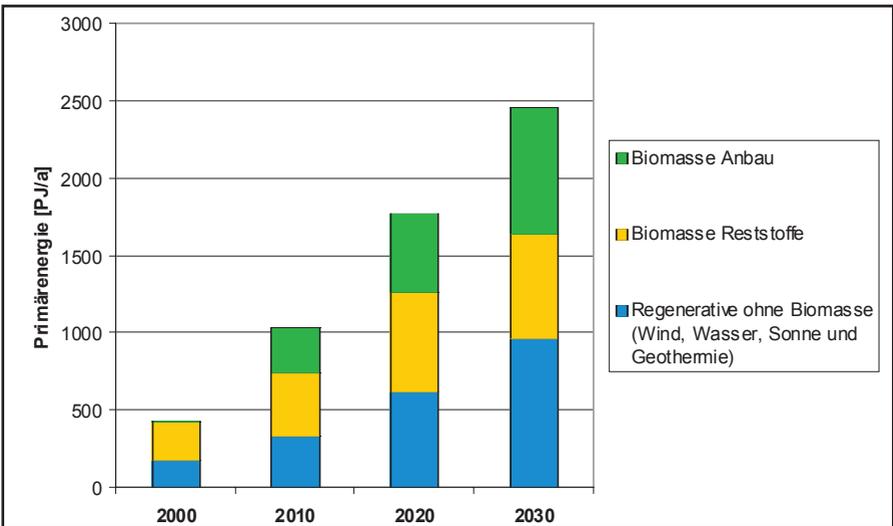


Abbildung 9: Regenerative Primärenergie im Szenario "NACHHALTIG" für die Jahre 2000 bis 2030 (Öko-Institut 2004)

als dasjenige der übrigen regenerativen Energien. Auch nach dieser Studie wäre das vorab in Tabelle 1 formulierte Ziel erreichbar, 16% des Primärenergieverbrauchs - 2.314,24 PJ - bis 2020 mit Hilfe erneuerbarer Energien zu substituieren, zwar nicht allein aus Biomasse, aber zusammen mit den anderen regenerativen Energien.

Für das Jahr 2030 schätzt die Studie des Öko-Institut (1994) das Primärenergiepotenzial aus gezielt angebaute NaWaRo-Biomasse auf 820 PJ. Um zu veranschaulichen, wie viel Fläche benötigt würde, um diese angenommenen 820 PJ bereitzustellen, berechnen wir am Beispiel der Energiepflanzen Pappel (Kurzumtriebsplantage, KUP) und Weizen den dazu erforderlichen Flächenbedarf (Tabelle 2).

Tabelle 2: Schätzung des Flächenbedarfs zur Bereitstellung von 820 PJ Primärenergie pro Jahr aus Energiepflanzen am Beispiel von Kurzumtriebsholz und Getreideganzpflanzen, Quellen und Annahmen siehe Text

	Ertrag	Heizwert Hu	Energieertrag	Fläche	Masse
	Mittel		(brutto)	(erforderlich)	(erforderlich)
	$t_{TM}^4 / (ha \ a)$	MJ / kg	GJ / (ha a)	Mio. ha	Mio. t_{TM} / a
Pappel (KUP)	10	18,5	204	4,4	44
Weizen (Ganzpflanze)	14	17,1	239	3,4	48

Für den Flächenertrag und den Heizwert nehmen wir mittlere Werte der FNR (2007a) an, wobei der höhere Flächenertrag des Weizens jedoch zum Teil auf seine höheren Ansprüche an den Standort zurückzuführen ist. Trotz des höheren Heizwertes benötigen KUP zur Erzeugung von 820 PJ mit 4,4 Mio. ha deutlich mehr Fläche als z.B. Weizen (3,4 Mio. ha), da ihr Flächenertrag geringer ist. Diese Rechnung verdeutlicht, dass es zu einer erheblichen Flächeninanspruchnahme kommen wird, nämlich 37% (KUP) oder 28% (Weizen) der Ackerfläche in Deutschland, falls der Anteil der NaWaRo an der Energieversorgung spürbar (im Beispiel auf knapp 6% des derzeitigen Primärenergiebedarfs) steigen sollte. Für den im Energie und Klimapaket der Bundesregierung (2007) angestrebten Beimischungsanteil der Biokraftstoffe von 20 Volumenprozent bis 2020 würden mit heutigen Erträgen und Technik zusätzlich je 3,5 Mio. ha Raps (RME) und Getreide (Bioethanol) benötigt.

Flächennutzung und Flächenpotenzial

Von der gesamten Fläche Deutschlands (35,7 Mio. ha) nahmen im Jahr 2004 die Landwirtschaft 18,9 Mio. ha (53%) und der Wald 10,6 Mio. ha (29,8%) ein (Statistisches Bundesamt, 2007b). Die landwirtschaftlich genutzte Fläche umfasste im Jahr 2005 ca. 17 Mio. ha⁵, davon ca. 11,9 Mio. ha Ackerland. Der Anteil des Dauergrünlandes betrug ca. 4,9 Mio. ha (Statistisches Bundesamt, 2007b). Die

⁴ Trockenmasse

⁵ Bei den zu 18,9 Mio. ha fehlenden Flächen handelt es sich um Flächenstilllegung und Betriebsgelände.

gesamte Biomasseproduktion in der Landwirtschaft und im Wald Deutschlands beträgt rd. 220 Mio. t Trockenmasse pro Jahr, das entspricht etwa 28% des deutschen Primärenergiebedarfs.

Im Jahr 2005 dienten ca. 1,4 Mio. ha dem Anbau nachwachsender Rohstoffe - also ca. 11,8% der Ackerfläche Deutschlands. 2006 hatte sich der Anbau auf 1,6 Mio. (13%) erhöht. Der überwiegende Teil dieser Fläche - ca. 1 Mio. ha (2005) bzw. 1,2 Mio. ha (2007) - diente dem Rapsanbau, und zwar im Wesentlichen zur Weiterverarbeitung zu Biodiesel. Mit 0,3 Mio. ha Anbauflächen liegen Energiepflanzen wie Mais, Gräser und Getreide weit dahinter, ca. 0,2 Mio. ha wurden für den Anbau von Pflanzen für die stoffliche Verwertung genutzt (FNR, 2007b).

Unter der Voraussetzung, dass der Anbau nachwachsender Rohstoffe - bei Berücksichtigung der verschiedenen, zur Zeit genutzten oder zukünftig nutzbaren Rohstoffe und ihrer Verwertung - zu positiven Ergebnissen der Energiebilanzen⁶ und CO₂-Bilanzen führt, wäre seine mögliche und sinnvolle Ausweitung ganz wesentlich von der zukünftig verfügbaren Anbaufläche abhängig.

Der Ausbau der Biomasseproduktion zur energetischen Nutzung steht zu anderen Flächennutzungsansprüchen in Konkurrenz:

- ▶ Ernährung,
- ▶ extensive Landwirtschaft, inklusive ökologischer Landbau,
- ▶ Landschafts- und Naturschutzflächen,
- ▶ Flächenbedarf für Siedlung, Erholung und Verkehr.

Darüber hinaus spielt die EU-Agrarpolitik eine wichtige Rolle: Mit der Erweiterung der EU um 10 neue Mitgliedstaaten wuchs die pro Kopf zur Verfügung stehende Ackerfläche⁷. Falls zukünftig aus diesen Ländern verstärkt Lebensmittel importiert würden, ließen sich landwirtschaftliche Nutzflächen in Deutschland für die Nahrungsmittelproduktion aufgeben und für den NaWaRo-Anbau nutzen (IE, 2004; EEA, 2004).

Neben land- und forstwirtschaftlichen sowie Naturschutzflächen lassen sich auch andere Flächen für den NaWaRo-Anbau nutzen. Zu nennen sind Brachen, aufgelassene Infrastrukturf Flächen (z.B. Bahnbrachen), Baulücken, ehemalige Tagebauflächen, Deponien und Altlastenflächen. Dabei wäre mit dem Anbau nachwachsender Rohstoffe auf Altlastenstandorten als Synergieeffekt auch eine Phytoremediation⁸ kontaminierter Böden erreichbar.

Für Folgeflächen des Braunkohletagebaus gibt es bereits Ansätze, um diese für den Energiepflanzenanbau zu nutzen. So sollen im Rahmen eines Forschungsprojekts auf einem ca. 170 ha großen Rekultivierungsgelände in der Nähe von

⁶ Gegenüberstellung der Energieaufwendungen für Produktion und Aufbereitung der NaWaRo mit den Energieerträgen aus der Verwertung der NaWaRo.

⁷ Die EU-Erweiterung führte zu zusätzlichen 65 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche, aber nur gut 100 Mio. zusätzlichen EU-Bürgerinnen und -Bürgern (Lamp 2004)

⁸ Dekontaminierung schwermetallhaltiger Böden durch Pflanzenentzug.

Spremberg (Tagebau Welzow Süd) schnell wachsende Baumarten angepflanzt werden, um die so erzeugte Biomasse im eigens errichteten Heizkraftwerk Sell-essen thermisch - zur Erzeugung von Nahwärme und Strom - zu verwerten (Siefke-Bremkens, 2006).

Aktuelle Prognosen (Wuppertal Institut, 2006; Öko-Institut, 2004; DLR, 2004) für die mittel- bis langfristig zur Verfügung stehenden Flächen zum Anbau von Energiepflanzen gehen von etwa 2,4 bis 4,3 Mio. ha bis zum Jahr 2030 und von bis zu 6,1 Mio. ha bis zum Jahr 2050 aus (Tabelle 3).

Tabelle 3: Flächenpotenziale für den Energiepflanzenanbau in Deutschland - aktueller Stand und Prognosen bis zum Jahr 2050

Jahr	Quelle	Fläche in [Mio. ha]	Anteil Ackerfläche [%]
2005 (Ist)	BMELV	1,4	11,8
2010	Öko-Institut ¹ / DLR ²	0,70 – 1,94 / 2,5	16,3 / 21,0
2020	Öko-Institut ¹ / DLR ²	1,65 – 3,26 / 3,4	27,4 / 28,6
2030	Öko-Institut ¹ / DLR ²	2,47 – 3,94 / 4,3	33,1 / 36,1
2050	DLR ²	6,1	51,3

¹ potenzielle Ackerflächen; kleinere Zahl: Berücksichtigung aller Naturschutzbelange zu 100%; größere Zahl: zusätzliche Flächenfreisetzung durch Abstriche beim Naturschutz

² technisches Potenzial, inkl. Nutzung von Grünland

In Deutschland ist das Potenzial der Wasserkraft weitgehend ausgeschöpft, die Windenergie wird hauptsächlich im Offshore-Bereich noch nennenswert wachsen können, und die Fotovoltaik hat zwar ein erhebliches Ausbaupotenzial, ist aber noch weit von einer Wirtschaftlichkeit entfernt und daher derzeit - relativ zu anderen erneuerbaren Energien - unbedeutend (DRL, 2006). Auch eine neue Studie des BMU (2007) geht davon aus, dass im Zeitverlauf bis 2030 die Stromerzeugung aus großen Wasserkraftwerken und die Verwertung von biogenen Abfällen, die nicht nach dem EEG gefördert werden, wegen der begrenzten Nutzungspotenziale weitgehend unverändert bleiben.

Zusammen mit den oben angestellten Schätzungen zum Flächenbedarf ist absehbar, dass die Nutzung erneuerbarer Energiequellen alleine nicht ausreichen würde, um das langfristige Ziel der Bundesregierung zu erreichen, bis zum Jahr 2050 fossile und kerntechnische Energiequellen zu 50% durch erneuerbare Energiequellen zu ersetzen, falls nicht große Erfolge bei der Energieeinsparung hinzukämen. Energieeinsparung muss keinen Verlust an Lebensqualität bedeuten, denn die Möglichkeiten zur Steigerung der Effizienz der Energienutzung sind groß (BMU, 2007a).

Diese Überlegungen zeigen, dass zur Steigerung des Anteils der Biomasse am Energieverbrauch nur solche Landnutzungssysteme unterstützt werden sollten, die pro Fläche die größten Mengen an nutzbarer Energie liefern, ohne wesentliche zusätzliche Umweltbelastungen hervorzurufen. Daher erscheint die Ausweitung des Rapsanbaues, um die Ziele des Biokraftstoffquotengesetz zu erreichen, gemessen am CO₂-Einsparpotenzial pro Hektar nicht sinnvoll zu sein. Auch bei Bioethanol mindern die Energie-Aufwendungen für die Destillation den energetischen Nutzen dieser Produktionslinie. Die Biogas-Verstromung ohne Nutzung der Abwärme nutzt weniger als 20% der geernteten Energie.

3 EMPFEHLUNGEN

3.1 Böden gemäßigter Klimate hinsichtlich vielfältiger Bodenfunktionen schützen

Die Kommission empfiehlt:

Der Anbau nachwachsender Rohstoffe darf nicht zur Einschränkung bodenbezogener Nutzungsoptionen führen. Das bedeutet, dass der Wechsel von der Lebens- und Futtermittelproduktion zur Erzeugung nachwachsender Rohstoffe Böden in einem Zustand erhält, der die erneute Produktion qualitativ hochwertiger Lebens- und Futtermittel jederzeit möglich macht.

Landwirtschafts- und sonstige Brachen sollten nutzbar gemacht werden. Dazu sollten die Landesbehörden Brachen-Kataster erstellen, die Verfügbarkeit und Nutzbarkeit als Anbauflächen für nachwachsende Rohstoffe ist zu bewerten und Nutzungspläne für den Anbau nachwachsender Rohstoffe sind aufzustellen.

Mit neuen Anlagen zur Lagerung und Verwertung nachwachsender Rohstoffe sollten möglichst geringer Flächenverbrauch und keine Flächenversiegelung einhergehen, beispielsweise indem man Gewerbebrachen und Konversionsflächen nutzt.

Böden der gemäßigten Klimate auf der Nordhalbkugel könnten zukünftig - in Hinblick auf bereits heute beobachtbare Klimaänderungen - die produktivsten Standorte sein und sind deshalb besonders zu schützen. Dies gilt auch für die Böden in Deutschland.

Die in Deutschland politisch langfristig angestrebte Substitution fossiler Energieträger und der bis 2021 vollzogene Verzicht auf die Nutzung der Kernenergie werden vermutlich zu einer erheblichen Ausweitung der NaWaRo-Anbauflächen führen. Geplant ist, den Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch bis 2020 auf 20% zu steigern. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromproduktion soll bis zu diesem Zeitpunkt auf über 27% gesteigert werden. Hinzu kommt eine Steigerung der Biokraftstoffproduktion auf 20% der Gesamtkraftstoffmenge (Bundesregierung, 2007).

Das bedeutet, die zukünftige Bodennutzung wird sich - bei Berücksichtigung dieser energiepolitischen Vorgaben - deutlich in Richtung des Anbaus der NaWaRo verschieben.

Es sind jedoch auch Szenarien denkbar, welche die landwirtschaftliche Erzeugung von Nahrungsmitteln favorisieren: so z.B. neue technische Entwicklungen im Bereich der Energieerzeugung⁹ oder Ausfall von Produktionspotenzialen für Lebens- und Futtermittel in klimatisch weniger begünstigten Regionen. Vor dem Hintergrund einer nachhaltigen heimischen Bodennutzung darf die Vornutzung der Flächen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe diese Rücknut-

⁹ z. B.: Ersatz der Altanlagen von Kohlekraftwerken, Ausbau der Kraft-Wärmekopplung, Verbesserung der Energieeffizienz bei Photovoltaik und Mess- und Regeltechnik.

zungsoption keinesfalls blockieren. Böden sind nicht erneuerbare, natürliche Ressourcen, die für die Lebens- und Futtermittelerzeugung eine notwendige Voraussetzung darstellen. Eine nachhaltige Wirtschaftsweise zeichnet sich dadurch aus, dass sie Böden nicht - wie andere Produktionsmittel - verbraucht, da Böden mit ihren natürlichen Funktionen, einmal geschädigt, nur schwierig und in extrem langen Zeiträumen wiederherzustellen sind.

Beim Anbau der NaWaRo können sich Wirkungen ergeben, welche die Bodenqualität und damit auch die Bodenfruchtbarkeit dauerhaft herabsetzen. Zu nennen sind insbesondere:

1. Beeinträchtigung der chemischen Bodenbeschaffenheit,
2. Beeinträchtigung der physikalischen Bodenbeschaffenheit ,
3. Beeinträchtigung der biologischen Bodenbeschaffenheit,
4. Flächenkonkurrenz.

Die unter 1-3 behandelten Beeinträchtigungen werden in den Kapiteln 3.2 und 3.3 behandelt;

Flächenkonkurrenz: Eine Steigerung des Anbaus von NaWaRo konkurriert direkt mit der Fläche, die bisher für die Produktion von Lebensmittel und Futtermitteln genutzt wurde.

Minderungen dieser Konkurrenzen können sich in Deutschland durch Ertragssteigerungen bei der Nahrungsmittelproduktion und einer tendenziell abnehmenden Bevölkerung ergeben, die nicht nur einen geringeren Bedarf an Agrarprodukten, sondern auch an Siedlungsflächen zur Folge haben kann.

Bisher ist es nicht gelungen den Verbrauch an Siedlungs- und Verkehrsfläche von der wirtschaftlichen Entwicklung abzukoppeln. Das 30-ha-Ziel der Bundesregierung, also den täglichen Flächenverbrauch bis 2020 auf 30 ha zu begrenzen, ist auch aus Sicht der Flächenkonkurrenz zu den o. g. Nutzungen einzuhalten.

Neben den land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen stehen mit Brachen erhebliche Flächenpotenziale zur Verfügung. Dazu gehören u. a.:

- ▶ stillgelegte landwirtschaftliche Nutzflächen (Landwirtschaftsbrache),
- ▶ ehemalige und noch genutzte Truppenübungsplätze,
- ▶ Straßenseitenräume,
- ▶ Altlastenflächen, Industriebrachen,
- ▶ aufgelassene Infrastrukturfächen (Siedlung und Verkehr) und
- ▶ naturnahe und bewirtschaftete Flächen in Schutzgebieten.

Die Nutzung solcher Flächen zum NaWaRo-Anbau würde die Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungs- und Futtermitteln einerseits sowie Biomasse zur energetischen Verwertung andererseits und den Zwang zu einer Produktion auf Maximalerträge verringern. Neben der Bevorzugung effizienterer Kulturen und Konversionstechniken würde die Nutzung solcher Brachen dazu beitragen, dass

auch weiterhin die Ziele der Extensivierung und der Förderung des ökologischen Landbaus verfolgt werden könnten.

Stilllegungsflächen (Landwirtschaftsbrachen) die wieder in landwirtschaftliche Nutzung genommen werden, sind ebenso zu schützen, wie derzeit genutzte landwirtschaftliche Flächen.

Im Unterschied zu landwirtschaftlichen NaWaRo lässt sich die auf Naturschutzflächen geerntete Biomasse nur dann energetisch verwerten, wenn diese Nutzung durch die jeweilige Gebietsverordnung vorgesehen ist. Es sollten jedoch alle Schutzgebiete darauf geprüft werden, ob die Abfuhr des Mähgutes nicht sogar erwünscht ist, um das Nährstoffpotenzial der Flächen zu verringern. Falls erforderlich ließe sich die Gebietsverordnung ändern. Der Deutsche Rat für Landschaftspflege schätzt, dass auf deutschen Biotop- und Naturschutzflächen jährlich ca. 2,5 Mio. Tonnen Trockenmasse Mähgut anfällt, das sich zu Biogas oder Brennstoffen verarbeiten oder als Rohstoff für BtL nutzen ließe (DRL, 2006).

Alle weiteren Brachen (inklusive Industriebrachen) bezeichnet die KBU nachfolgend als Siedlungsbrachen. Bislang fehlt ein länderübergreifendes Kataster solcher Siedlungsbrachen. Nach ersten Erhebungen (UBA, 2007b) nehmen diese in Deutschland eine Fläche von etwa 0,53 Millionen Hektar ein, wobei der größte Teil auf ehemalige Truppenübungsplätze entfällt. Diese Flächen weisen zum Teil Kontaminationen auf, so dass sie für die Produktion von Nahrungs- oder Futtermitteln nicht nutzbar sind. Auch ist eine Rückführung in eine infrastrukturelle Nutzung oft kurzfristig nicht möglich. Insofern bietet sich die Nutzung zur Erzeugung nachwachsender Rohstoffe an. Mit dem Anbau geeigneter Pflanzen auf diesen Flächen lässt sich der Wasserhaushalt so beeinflussen, dass die Gefährdung des Grundwassers durch erhöhte Verdunstung und die Versickerung (von Schadstoffen) vermindert wird. Zudem entziehen die angebaute Pflanzen den Böden Schwermetalle und können so langfristig zu verringerten Schadstoffgehalten der Böden beitragen (Phytoremediation⁸). Dies verbessert den Bodenzustand und verringert die Gefahr des Schadstoffaustrags in andere Umweltkompartimente wie Grundwasser und Luft.

Allerdings sind die Schadstoffgehalte in den Ernteprodukten zu betrachten und ggf. zu mindern, indem man die Reststoffe reinigt oder deponiert.

Anbaumethoden, die auf eine Verbesserung des Bodenzustandes hinwirken, können auch die Biodiversität günstig beeinflussen, wie zum Beispiel die Laufkäferfauna in Agroforstsystemen auf einem Kippenstandort zeigt (Grünewald et al., 2005). Vor diesem Hintergrund werden in städtischen, peri-urbanen und ländlichen Räumen neue Formen der Flächennutzung benötigt, um solche Stoffkreisläufe zu entwickeln, die auf kommunaler, betrieblicher und privater Ebene helfen, den Grad der energetischen und stofflichen Eigenversorgung zu steigern und dabei den energetischen Aufwand für Produktion und Bereitstellung zu vermindern. Für die oben genannten Flächen sind neue Formen der Landnutzung zu entwickeln und zu optimieren.

Falls verstärkt Brachflächen für den Anbau von NaWaRo verwendet werden sollen, ist dies mit den dafür zuständigen Behörden abzustimmen, um zu verhin-

dern, dass sich durch nicht verträgliche Bewirtschaftungsmaßnahmen mögliche Umweltbelastungen verstärken. Hierzu sollten die Landesbehörden folgende Maßnahmen ergreifen:

- ▶ Erstellung von Brachflächenkatastern¹⁰,
- ▶ integrierte standörtliche Bewertung der Flächen (Klima, physikalische, chemische und biologische Bodenbeschaffenheit, Art der Belastung, Flächengröße und -struktur, historische und geplante Nutzung),
- ▶ Auswahl geeigneter Standorte unter Berücksichtigung der ökologischen und ökonomischen Bedingungen durch
 - ▷ Ermittlung der regionalen energetischen Nachfrage,
 - ▷ Vorschläge für standortspezifische Anbaukonzepte für NaWaRo und
 - ▷ Entwicklung getrennter Verwertungswege für mit Schadstoffen belastete und unbelastete Biomasse,
- ▶ experimentelle Überprüfung der infrage kommenden Anbau- und Verwertungsstrategien und
- ▶ Klärung der rechtlichen Rahmenbedingungen und ggf. Schaffung von Handlungsspielräumen, insbesondere Klarstellung im Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft bezüglich der rechtlichen Einordnung von Agroforstkulturen.

¹⁰ Brachflächenkataster führen einige Bundesländer bereits, bisher besonders für Fragestellungen des Flächenrecyclings. Diese lassen sich auf die neuen Fragestellungen erweitern, um so Zahlen zur Potenzialschätzung und Planung für die verschiedenen Fragestellungen zur Verwendung der Brachen zu liefern. Nachteilig ist das Fehlen eines länderübergreifenden Katasters, was die Zusammenführung und Auswertung der Daten auf Bundesebene schwierig gestaltet.

3.2 Bodenqualität und ökologische Bodenfunktionen dauerhaft sichern

Die Kommission empfiehlt:

Der Anbau von NaWaRo darf nicht zu einer Zunahme der Belastungen von Boden, Wasser und Luft führen, er sollte vielmehr nachhaltig und in der umweltschutzbezogenen Gesamtbetrachtung sinnvoll sein.

Die Anforderungen an den Anbau von NaWaRo haben sich im Hinblick auf den Schutz der Böden am Vorsorgeprinzip zu orientieren.

Nachwachsende Rohstoffe dürfen nur unter strikter Beachtung der standörtlichen Eignung und der natürlichen Leistungsfähigkeit der Böden angebaut werden - ohne Boden, Wasser, Luft und Klima sowie Folgekulturen zu beeinträchtigen.

Die ökologischen Funktionen der Böden als Lebensgrundlage und Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Bodenorganismen, als Bestandteil des Naturhaushalts (insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen) sowie als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen sind aufrecht zu erhalten und zu fördern.

Anbausysteme mit geringem Bedarf an Düngung und chemischem Pflanzenschutz sowie mit geringer Gefahr für Erosion und Bodenschadverdichtung sind zu bevorzugen. Die Biodiversität ist zu bewahren und zu fördern.

Neben der oberirdischen Biodiversität von Flora und Fauna (geplante und assoziierte Biodiversität) ist der Biodiversität im Boden in Abhängigkeit vom Bodennutzungssystem mehr Aufmerksamkeit zu widmen.

Der Anbau von Kulturpflanzen und deren Nutzung verursacht, wie jeder menschliche Eingriff in natürliche Ökosysteme, Wirkungen, die – je nach betrachtetem Gegenstand - positiver oder negativer Natur sein können - auf alle Umweltkompartimente. Die Einflüsse einer landwirtschaftlichen Kultur auf die Umweltkompartimente ergeben sich aus der Summe aller Maßnahmen zu ihrer Erzeugung und Ernte und hängen weiterhin von den Standortbedingungen (z.B. Bodentyp, Hangneigung, Klimabedingungen und Nutzungsgeschichte) ab. Im Vergleich zu den konventionellen Anbauverfahren im Nahrungs- und Futterbereich steht beim NaWaRo-Anbau zur energetischen Nutzung eher die erzeugte Menge als deren Qualität im Vordergrund. Um Anbauverfahren zu identifizieren, die bei der Biomasse-Erzeugung möglichst geringe Beeinträchtigungen der Umweltschutzgüter verursachen, sind Kulturarten, die sich zur Verwertung als NaWaRo eignen, einschließlich ihrer Anbauverfahren, miteinander zu vergleichen, um die umweltverträglichsten Landnutzungssysteme auswählen zu können.

Reinhardt und Scheurlen (2004) nahmen eine vergleichende Bewertung der Umweltwirkungen des Anbaus NaWaRo in Deutschland vor, Wiesenthal et al. (2006) für die gesamte EU. Folgende Gefährdungen wurden dabei für den Anbau von NaWaRo als relevant eingestuft und in der vergleichenden Bewertung berücksichtigt:

- 1) Bodenerosion,
- 2) Bodenschadverdichtungen,
- 3) Belastungen der Grund- und Oberflächengewässer sowie der Nachbarbiotope mit Nährstoffen (Eutrophierung),
- 4) Belastung des Bodens und Wassers mit Pflanzenschutzmitteln und
- 5) Verlust an Artenvielfalt.

Zu 1) Bei Bodenerosion handelt es sich um den Abtrag von Bodenpartikeln. Mit dem Verlust an Bodenpartikeln geht ein Verlust an Nährstoffen, Lebensraum für Bodenorganismen und Wurzeln sowie an Nährstoff- und Wasserspeichervermögen einher. Man unterscheidet Wassererosion, wobei oberflächlich abfließendes Wasser Bodenpartikel mit sich reißt, und Winderosion. Von Wassererosion sind insbesondere lehmige Sande, sandige Lehme sowie Schluffe auf größeren Schlägen¹¹ (Hanglängen > 50 m) mit Hangneigungen > 4% bei Regenereignissen über 7,5 mm Niederschlag oder Intensitäten größer als 5 mm/h (Starkregenereignis) betroffen (Frielinghaus et al., 2001). Auf Winderosion reagieren dagegen besonders offene Flächen aus Feinsand oder Anmoor¹² in trockenem Zustand empfindlich. Winderosion tritt bei Windgeschwindigkeiten über 6-8 m/s (in 10 m Höhe gemessen) auf (Frielinghaus et al., 2001).

Will man eine Verschlechterung des Standortes durch Erosion vollständig ausschließen, so darf der Bodenabtrag die Rate der Bodenneubildung nicht überschreiten. Die Rate der Bodenneubildung ist standort-, nutzungs- und klimaabhängig und nimmt mit zunehmendem Alter der Böden immer weiter ab. Sie liegt für bereits entwickelte Böden in Europa bei etwa 0,5 t pro ha und Jahr (Alexandrovskiy, 2007; Sauer et al., im Druck). Die durchschnittliche jährliche Bodenerosionsrate auf deutschen Ackerflächen beträgt derzeit aber ca. 2 t pro ha und Jahr, in besonders gefährdeten Gebieten auch wesentlich mehr (EEA, 1999). Eine weitere Erhöhung der Erosion ist daher unbedingt zu vermeiden indem man folgende landwirtschaftlichen Praktiken fördert

- ▶ hohe Bodenbedeckung,
- ▶ reduzierte Bodenbearbeitung¹³
- ▶ Bearbeitung und Bestellung quer zum Hang,
- ▶ Anbausysteme mit positiver Humusbilanz, (s. Kap. 3.3).

Besonders erosionsfördernd sind Kulturpflanzen, die - nach intensiver Bodenbearbeitung - in weiten Reihenabständen angebaut und wegen spätem Bestandes-

¹¹ Zusammengehörige Ackerfläche, die mit nur einer Kultur bestellt ist.

¹² Unter Grundwassereinfluss entstandene Substrate mit 15-30% organischer Substanz

¹³ Mittlerweile sind verschiedene Verfahren zur Reduktion der Bodenbearbeitung (BB) erprobt worden: Anfangen mit dem Ersatz des Pfluges durch Grubber (nicht wendende BB) bis hin zur Minimal-BB und Direktsaat, bei der die BB unterbleibt und das Saatgut in Säschlitz in den Boden abgelegt wird.

schluss¹⁴ (späte Aussaat oder Pflanzung oder langsame Jugendentwicklung) oder früher Ernte die Bodenoberfläche über längere Zeiträume ungenügend vor Regen und Wind schützen. Beispiele hierfür sind Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln, in geringerem Maße auch Sonnenblumen, Ackerbohnen, Körnererbsen, Lein und Flachs. Raps benötigt aufgrund seiner kleinen Samen ein sehr feines Saatbett und ist daher im ersten Monat nach der Saat potenziell erosionsgefährdet; danach bedeckt er den Boden wie kaum eine andere Kulturpflanze. Von den NaWaRo stellt Mais die größte flächenbezogene Erosionsgefahr dar. Es liegen umfangreiche Empfehlungen für Maßnahmen gegen Bodenerosion durch Wasser und Wind für den klassischen Pflanzenbau vor, die auch für die NaWaRo gelten. Beispielhaft sind zu nennen: reduzierte Bodenbearbeitung, Ausbildung einer Mulchschicht¹⁵ und Bestellung der Schläge entlang der topografischen Höhenlinien. So könnte die Bestellung von Mais zwar mittels Mulch- oder Direktsaat¹³ erfolgen, jedoch kam nach einer Studie der European Conservation Agriculture Federation (ECAAF) im Jahr 1999 die konservierende Bodenbearbeitung nur auf einem sehr geringen Teil aller europäischen Anbauflächen zur Anwendung. Mulchsaat oder Direktsaat bewirken allerdings, dass im Vergleich zu herkömmlichem Anbau deutlich mehr Pestizide eingesetzt werden müssen, um und Pilzerkrankungen an der Stängelbasis zu bekämpfen.

Mehrwährige Kulturen wie *Miscanthus*¹⁶ oder KUP (Pappel oder Weide) sind zwar im ersten Jahr erosionsanfällig, bewirken aber schon ab dem zweiten Jahr wegen des dichten Wurzelwerks und der Mulchschicht aus abgefallenen Blättern einen guten Erosionsschutz (Lewandowski et al., 2003; Werner, 1995; Hartmann & Strehler, 1994; Pröbster, 1990).

Zu 2) Bodenschadverdichtungen stellen ein zunehmendes Problem dar (Dürr et al., 1995). Mit der Leistungszunahme der Landmaschinen stiegen auch die Radlasten. Leistungsstarke Zugmaschinen sind mit Radlasten von mehr als 4 t verbunden, selbstfahrende Erntemaschinen sogar mit 12 t. Bodenverdichtungen treten infolge hoher Drücke an der Kontaktfläche zwischen Boden und Fahrzeugreifen auf. Sofern diese Drücke die Grenze zur plastischen Verformung überschreiten verringern sie das Porenvolumen des Bodens. Dadurch nimmt das Grobporenvolumen zugunsten des Volumens der Klein- und Mittelporen ab. Der Grenzdruck zur plastischen Verformung eines Bodens steigt mit zunehmender Aggregatstabilität und sinkt mit zunehmendem Wassergehalt. Es lassen sich keine standortübergreifenden minimalen Porengehalte oder maximalen Bodendrücke definieren. Man bezeichnet als Bodenschadverdichtung daher diejenige Bodenverdichtung, die negative Wirkungen auf die natürlichen Bodenfunktio-

¹⁴ Entwicklungszustand der Pflanzen, ab dem sich die Blätter von Pflanzen benachbarter Reihen berühren.

¹⁵ Organisches Material wie Stroh, Blätter, abgestorbene Reste einer Zwischenfrucht, das auf der Bodenoberfläche dünn und gleichmäßig verteilt wird. Dieses Mulchen unterdrückt Unkräuter und vermindert die Bodenerosion.

¹⁶ Chinaschilf, *M. sinensis* ‚Giganteus‘ wird oft fälschlicherweise als Elefantengras bezeichnet. Liefert als C-4-Pflanze hohe Erträge faserreicher Biomasse.

nen (Infiltration, Stoffverlagerung oder -umwandlung oder die Lebensraumfunktion für Bodentiere) oder die Produktionsfunktion hat (Sommer et al., 2001). Bodenschadverdichtungen führen wegen einer Abnahme der Luftkapazität und Luftdurchlässigkeit, einer deutlichen Einschränkung der Durchwurzelbarkeit oder einer verringerten Wasserleitfähigkeit und Pflanzenverfügbarkeit des Wassers zu Ertragsminderungen. Mit verringerten Infiltrationsraten steigt auch der Oberflächenabfluss und damit die Erosionsanfälligkeit und Hochwassergefahr. Zwar kann der Landwirt bei großen Auflasten die Drücke im Boden durch größere Reifen und geringeren Reifendruck vermindern, jedoch wirken die Drücke mit größerer Aufstandsfläche auch tiefer in den Boden hinein. Während Verdichtungen des Oberbodens durch Bodenbearbeitung wieder behoben werden können, sind Verdichtungen der Krumbasis und des Unterbodens dauerhaft oder nur mit großen Anstrengungen und Zeitaufwand zu beheben (Brandhuber, 2006).

Häufiges Hacken kann Humusabbau und demzufolge eine Verschlechterung der Bodenstruktur bewirken. Böden sind dann besonders verdichtungsempfindlich, wenn sie feucht oder nass sind. Im Herbst zu erntende Kulturen, die ein wasserreiches Erntegut aufweisen, erhöhen deshalb das Risiko für Schadverdichtungen, da manchmal das Befahren bei feuchtem Boden mit schweren Maschinen nicht zu vermeiden ist. Kritisch zu betrachten sind daher Zuckerrüben, Kartoffeln und in geringerem Maße auch Mais. Kulturen, die bei trockenem Boden geerntet werden, haben dagegen ein vergleichsweise geringeres Risiko für Schadverdichtungen. Die bisherigen Erfahrungen aus dem Anbau von Lebens- und Futtermitteln sind prinzipiell auf die NaWaRo übertragbar. Da jedoch beim NaWaRo-Anbau – verglichen mit Lebens- und Futtermitteln – weniger eine hohe Qualität des Ernteguts denn hohe Erträge angestrebt werden, könnte sich die Gefahr schädlicher Bodenverdichtung beim NaWaRo-Anbau erhöhen. Hinzu kommen möglicherweise logistische Erfordernisse, z.B. die kontinuierliche Versorgung der verarbeitenden Industrie, die eine Befahrung der Böden auch bei ungünstiger Witterung nötig macht.

Miscanthus und KUP fördern als mehrjährige Kulturen zwar das Bodengefüge, aber bei ihrer Pflanzung und Ernte kommen gleichfalls häufig schwere Maschinen zum Einsatz. Die Ernte erfolgt in den Wintermonaten, in denen der Boden feucht und somit verdichtungsanfällig ist. Bei ungefrorenem Boden besteht somit bei der Ernte auch dieser Kulturen das Risiko von Schadverdichtungen.

Zu 3) Zu einer Belastung des Grundwassers, von Oberflächengewässern sowie von Nachbarbiotopen mit Nährstoffen (Eutrophierung) kann es - abgesehen von Erosionsereignissen - insbesondere dann kommen, wenn Nährstoffe in zu hohen Mengen oder zum falschen Zeitpunkt auf die Fläche aufgebracht oder zu anderer Zeit mineralisiert werden, als die Kultur diese aufnehmen oder der Boden Nährstoffe speichern kann. Daher muss sich die Düngung jeder Kultur, auch von NaWaRo, am Entzug von Nährstoffen durch die Ernteprodukte orientieren.

Generell sind Kulturen mit geringem Nährstoffbedarf zu bevorzugen. Sofern das Erntegut direkt thermisch verwertet werden soll, sind - aus Gründen der Ver-

brennungstechnik, Emissionsminderung und des Bodenschutzes - solche Kulturen zu bevorzugen, deren Ernteprodukt möglichst wenig Nährstoffe enthalten. Diese NaWaRo lassen sich relativ unabhängig von der Düngemittelzufuhr anbauen und so die Gefahr des Nährstoffaustrages minimieren. Extensive Bewirtschaftungssysteme, die mit vergleichsweise geringen Pflanzenschutz- und Düngemittelaufwendungen auskommen, sind aus der Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes für den Anbau von NaWaRo zu bevorzugen (siehe Exkurs 2 und Exkurs 3).

Exkurs 2: Intensivfeldfrüchte als NaWaRo: Mais, Raps, Zuckerrüben, Kartoffeln haben einen besonders hohen Stickstoffbedarf und hinterlassen - im Unterschied zu Getreide - größere Mengen an Stickstoff, der dann flüssig oder in der Gasphase emittieren kann (Gäth, 1997 Döhler und Schultheiss, 1994). Vor allen anderen Ackerkulturen erhält Mais in Viehhaltungsbetrieben meist hohe Gaben von Wirtschaftsdüngern (Gülle & Mist), die bedeutende Anteile organisch gebundenen Stickstoffs enthalten, die Gabe orientiert sich jedoch an der Aufnahme der Pflanzen und dem mineralischen Stickstoff im Wirtschaftsdünger. Da aber die organischen Anteile des Düngers im Lauf der Zeit mineralisieren, treten bei Mais besonders hohe Nitrat-Auswaschungen über den Winter auf. So befürchten Bahrs und Held (2007) als Folge des Maisanbaus für die Biogasnutzung eine weitere Zunahme der Nährstoffüberschüsse. Die Ernte des Kartoffeln, Mais und Zuckerrüben erfolgt so spät im Jahr, dass der Anbau von Zwischenfrüchten, die die Nitratauswaschung mittels Aufnahme über den Winter reduzieren können, oft nicht möglich ist. Eine Ausweitung des Anbaus der genannten Kulturen ist nur zu befürworten, falls extensive, nährstoffreduzierte Anbausysteme - also mit niedrigen N-Bilanzüberschüssen - zum Einsatz kämen. Das würde jedoch bei den genannten Kulturen Ertragsseinbußen bedeuten.

Exkurs 3: Intensität der N-Düngung:

Im Vergleich zu Getreide-Ganzpflanzen enthält das Erntegut der KUP und des *Miscanthus* wenig Stickstoff, weil deren stickstoffreiche Blätter im Herbst auf den Boden fallen. So zeigten Pappeln, die in den ersten 10 Jahren keinerlei Düngung erhielten, keine signifikanten Ertragsseinbußen (Scholz et al.; 2001, Hoffmann-Schielle et al., 1999). Für Holzgewächse liegen Informationen der für die jeweiligen Baumarten und Klone notwendigen Nährstoffentzüge oder der Nährstoffbedarf in Abhängigkeit vom Ertragsniveau vor (Jug et al., 1999a). Da diese Kulturen dennoch etwas mehr Stickstoff entziehen als in den meisten Gebieten Deutschlands derzeit über die Luft in die Böden gelangt, könnte in Zukunft eine geringe N-Düngung (20-40 kg/ha*a) nötig werden. Tatsächlich verringern Energiewälder die Nitratauswaschung gegenüber Ackerflächen erheblich (Burger, 2006). Die Herstellung von 150 kg mineralischen Düngerstickstoff verbraucht 5-10% der Energie, die - je nach Kultur - auf einem ha jährlich aufwächst. Da Ackerböden im Durchschnitt jährlich etwa 1,5% des gedüngten N als Lachgas (N₂O) freisetzen (Butterbach-Bahl et al., 2004, Jungkunst et al., 2006), entsteht als Folge der Düngung von 150 kg N pro Hektar jährlich etwa die Emission von 1 Tonne CO₂-Äquivalenten als N₂O. Dieser Effekt vermindert also die CO₂-Emissionsminderung der NaWaRo in diesen Anbausystemen. Hinzu kommen weitere Umwelteffekte durch die Nitratauswaschung.

Zu 4) Belastung des Bodens und der Gewässer mit Pflanzenschutzmitteln: Die verschiedenen, als NaWaRo in Frage kommenden Kulturarten sind gegenüber der Konkurrenz durch Wildkräuter oder gegenüber dem Befall mit pathogenen

Pilzen, Insekten oder Nematoden unterschiedlich empfindlich. Sie sind jeweils einem unterschiedlichen Belastungsdruck durch diese Organismen ausgesetzt. So sind manche Kulturen - wegen ihrer langsamen Jugendentwicklung - auf chemische (oder mechanische) Wildkrautbekämpfung angewiesen (z.B. die Intensivfeldfrüchte Kartoffeln, Zuckerrüben, Mais). Einige werden stark von Pilzkrankheiten (Raps, Getreide), andere von Insekten (Mais, Raps) oder von Nematoden (Zuckerrübe) befallen und daher intensiv mit Fungiziden, Insektiziden oder Nematiziden behandelt. Daraus ergeben sich für die Kulturen im konventionellen Anbau sehr unterschiedliche Intensitäten beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln.

Gleichwohl werden schon heute Kulturen, die hohe Erträge liefern, in Bodennutzungssystemen angebaut ohne dass Pflanzenschutzmittel benötigt werden wie zum Beispiel die sog. Zweikulturnutzung oder KUP. Diese Verfahren eignen sich daher für extensive Bewirtschaftung und ökologischen Landbau (Grass und Scheffer; 2005, Makeschin, 1999; Scholz et al., 1999).

Bisher liegen keine Erfahrungen zum Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP) zu Energiezwecken vor. Die KBU sieht Forschungsbedarf dazu, ob die Anwendung gentechnisch veränderter Pflanzen als NaWaRo sinnvoll ist und welche Umweltwirkungen hieraus resultieren.

Zu 5) Die Reduzierung der Artenvielfalt hängt hauptsächlich von der Anbauintensität der Kulturen und der jeweiligen Bodennutzungssysteme ab. Damit ist insbesondere gemeint, wie viel Begleitflora im Bestand akzeptabel ist, und wie divers diese Begleitflora sein darf. Ferner: Wie häufig wird die Kultur gemäht? Wie lange bleibt sie bestehen? Wieviel Streu fällt an? Wie hoch sind die Pflanzenschutzmittelaufwendungen? Je geringer die Zahl der Pflanzenarten auf einem Standort, je weniger Pflanzenreste diese zurücklassen, je häufiger der Boden wendend bearbeitet/gepflügt, je stärker er verdichtet wird und je mehr Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden, desto geringer sind Diversität und/oder Häufigkeit von Bodentieren und Bodenmikroorganismen.

Auf Wiesen kann sich, da sie nicht mit Pflanzenschutzmitteln behandelt werden und als Folge von Bodenruhe, eine Vielzahl verschiedener Pflanzen und Tieren ansiedeln. Demgegenüber hält man Mais nahezu beikrautfrei, ebenso Raps, der dann - wegen seines dichten Bestandes kaum Beikräuter aufkommen lässt. Da diese beiden Intensivkulturen derzeit den flächenmäßig bedeutsamsten Anteil der NaWaRo in Deutschland darstellen, ist hier besondere Vorsorge zu treffen. Zuckerrüben und Kartoffeln behandelt man vglw. intensiv mit Pflanzenschutzmitteln und Herbiziden. Auch Miscanthus und KUP sind, um sich etablieren zu können, im ersten Jahr von Beikräutern frei zu halten. Dies kann mechanisch geschehen. In den Folgejahren kann sich dann eine vielfältige Begleitflora und Arthropoden-, Vögel- und Säugetierfauna entwickeln (Burger, 2006; Reinhardt und Scheurlen, 2004; Heilmann et al., 1994). Die Biodiversität in und über dem Boden ist aber nicht nur von der Kultur und der Vielfalt der Kulturarten in der Fruchtfolge auf einem Schlag, sondern auch von der Vielfältigkeit der Nutzungen in einer Landschaft abhängig. So würden großflächige KUP nicht nur

eine geringere Biodiversität, sondern auch einen geringeren Erholungswert und Landschaftsaspekt aufweisen.

Die Überlegungen zu allen Gefährdungen zeigen, dass die tatsächlichen Wirkungen der Kulturarten und Bodennutzungssysteme auf die Schutzgüter nicht für alle Standorte und Anbauverfahren exakt zu prognostizieren sind, aber dass grundsätzliche Unterschiede zwischen den einzelnen Kulturen hinsichtlich ihrer Belastungspotentiale bestehen.

Gestützt auf das Umweltgutachten 2004 (SRU, 2004) und die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (2002) stellt die KBU fest, dass die Umweltbelastungen in den genannten Bereichen 1-5 durch die Landwirtschaft derzeit als hoch zu beurteilen sind und empfiehlt daher, mit geeigneten Maßnahmen zu verhindern, dass diese Belastungen weiter zunehmen, sondern sinken. Soll die Erzeugung der Biomasse keine zusätzlichen negativen Wirkungen auf die Böden und andere Umweltgüter haben, so darf ihr Anbau die Umwelt nicht stärker beeinträchtigen, als die bisher bestehende Landnutzung. Wenn der Flächenanteil einer Kultur als NaWaRo oder als Lebens- oder Futtermittel zunimmt oder eine NaWaRo-Kultur mit einer neuen Bodennutzung eingeführt wird, sollte diese neue Kultur also weniger negative Umweltwirkungen aufweisen als die verdrängte Kultur oder das vormalige Bodennutzungssystem. In den vergangenen Jahren wurden insbesondere Rotations- oder Dauerbracheflächen¹⁷ zum Anbau von NaWaRo umgewidmet, zukünftig werden je nach Preisentwicklung möglicherweise auch die Anbauflächen von Marktfrüchten oder Futterpflanzen zugunsten von NaWaRo abnehmen.

Reinhardt und Scheurlen (2004) sowie Wiesenthal et al. (2006) bewerteten die Wirkungen des NaWaRo-Anbaus unterschiedlicher Kulturen relativ zueinander (Tabelle 4). Die Bewertung stützt sich sowohl auf Literaturrecherchen als auch auf eine Delphi-Expertenbefragung.

Aus Tabelle 4 wird deutlich, dass von mehrjährigen Kulturen vergleichsweise geringe Gefährdungen ausgehen. Der ausgeweitete Anbau einjähriger Kulturen - wie Zuckerrüben, Mais, Kartoffeln und Raps - als NaWaRo verschärft hingegen aus der Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes die bestehenden Probleme.

Daher sind nicht nur für den ökologischen, sondern auch für den konventionellen Landbau extensive Anbaukonzepte für NaWaRo zu entwickeln, die auch mehr- und überjährige Kulturen, wie das Zweikultursystem (Grass und Schefler, 2005) zur Biogaserzeugung, umfassen. KUP und *Miscanthus* sollten - wegen ihres hohen CO₂-Einsparpotenzials und möglicher langfristig positiver ökologischer Wirkungen - stärker berücksichtigt werden. Sie machen aber die Anlage und die Erhaltung der Begleitstrukturen, die sich als nachwachsende Rohstoffe eignen (Hecken, Säume, Raine, Agroforstsysteme) nicht entbehrlich. Deren För-

¹⁷ Flächen die für eine bestimmte Zeit oder dauerhaft nicht landwirtschaftlich genutzt werden, auf denen sich eine spontane Begrünung bildet. Aufgrund der u.a. durch NaWaRo entstandenen Konkurrenz um landwirtschaftliche Nutzfläche wurde die verpflichtende Stilllegung von 10% der förderfähigen Fläche zur Herbstsaat 2007 aufgehoben.

derung z.B. über Ökopunkte oder in Flurneuordnungs- und Flächenausgleichsverfahren wird empfohlen. Ab 2010 gehören auch diese Landschaftselemente zur durch EU-Subventionen förderfähigen Fläche.

Tabelle 4: Schätzung der Gefährdungen durch unterschiedliche Kulturen nachwachsender Rohstoffe Synopsis aus mehreren Studien (Reinhardt und Scheurlen, 2004; Wiesenthal et al., 2006, Schütz et al., 2006 sowie Schlegel et al., 2005). relative Werte*

Gefährdungen	1) Erosion	2) Schad- verdichtungen	3) Eutrophierung von Gewässern und Nachbarbiotopen	4) Belastung mit Pflanzenschutz- mitteln	5) Verlust an Artenvielfalt bzw. Lebensräumen
Mais	4	3	4	4	4
Zuckerrüben	4	4	3	3	3
Kartoffeln	4	4	3	3	3
Raps	2 (.3)	2	3	4	2..3
Sonnenblumen	3	2	2..3	2..3	2
Getreide	1 (.2)	1	2	2	2..3
Ackergras	1	1..2	2	2	2..3
Wiese	1	1	1	1	1
Miscanthus	1	2	1	1	1, anfänglich 3
Kurzumtriebs- plantagen	1	2	1	1	1, anfänglich 3

* 1 bedeutet geringe, 4 hohe Gefährdung/Beeinträchtigung.

3.3 Optimale Humusgehalte an den Produktionsstandorten sichern

Die Kommission empfiehlt:

Bei der Produktion nachwachsender Rohstoffe soll das Potenzial zur Sequestrierung von Kohlenstoff in Böden optimal ausgeschöpft werden.

Humusmehrende Kulturen / Anbauverfahren sind humuszehrender Bodennutzung vorzuziehen.

Mit geeigneten Anbauverfahren ist die Freisetzung klimarelevanter Spurengase auf ein Minimum zu begrenzen. Landwirtschaftlich erzeugte Biomasse ist so zu produzieren, dass die Böden mittel- und langfristig keine organische Substanz verlieren.

Vor der Zufuhr organischer Stoffe aus externen Quellen müssen zunächst Erntereste vom Standort genutzt werden, um die Böden ausreichend mit organischer Substanz zu versorgen. Beim Eintrag externer Kohlenstoffquellen aus Wirtschaftsdüngern und Komposten sind die Vorgaben des vorsorgenden Bodenschutzes¹⁸ zu beachten.

Kohlenstoff ist in erheblichen Mengen in der organischen Substanz der Böden gebunden. Global betrachtet ist in der organischen Substanz der Böden etwa doppelt soviel Kohlenstoff gespeichert, wie in der Vegetation oder in der Atmosphäre und damit etwa halb soviel, wie in den derzeit bekannten Vorkommen der fossilen Energieträger (Sabine et al., 2004). Daher ist schon aus Gründen der C-Sequestrierung¹⁹ darauf zu achten, dass der Humusgehalt der Böden nicht abnimmt. Dies gilt umso mehr, als der Humusabbau schneller erfolgt als der Humusaufbau (BMELV, 2006; Körschens, et al., 2004; Leithold und Hülsbergen, 1998). Humusabbau trägt durch CO₂-Emission zur Verstärkung des Treibhauseffektes bei (siehe Exkurs 4).

Exkurs 4: Treibhauseffekt durch Humusabbau:

Zusätzlich zu der Beeinträchtigung der Bodenfunktionen bewirkt der Verlust an Humus einen Treibhauseffekt. Nimmt der Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) in der obersten Schicht eines Ackerbodens um nur 0,1% ab (wegen der räumlichen Variabilität des C_{org} ist diese Abnahme kaum messbar), wird je Flächeneinheit ungefähr die gleiche Menge CO₂ in die Atmosphäre abgegeben, wie innerhalb eines Jahres Biomassepflanzen auf dieser Ackerfläche binden können.

Es gibt derzeit keine gesicherten Erkenntnisse, ob die Humusgehalte der landwirtschaftlich genutzten, grundwasserfernen Böden Deutschlands zu- oder abnehmen. Es ist aber unstrittig, dass auf den entwässerten, landwirtschaftlich genutzten Mooren (etwa 6% der Landwirtschaftsfläche) als Folge des Humusabbaus jährlich ca. 19 Mio. t CO₂, also 1,8% der deutschen Treibhausgase entstehen (Byrne et al., 2004).

¹⁸Keine Anreicherung von toxischen und schwerabbaubaren Stoffen.

¹⁹Festlegung von Kohlenstoff als organische Bodensubstanz.

Über die C-Sequestrierung hinaus trägt die organische Substanz in Böden zur Erfüllung wichtiger Bodenfunktionen bei. Die organische Bodensubstanz

- ▶ ist die einzige Kohlenstoff- und Energiequelle für alle Bodenorganismen und damit die Basis der biologischen Prozesse in Böden (abgesehen von der Pflanzenwurzel); zu diesen Vorgängen zählen der Abbau organischer Schadstoffe sowie die Mineralisierung und Immobilisierung von Nährstoffen;
- ▶ ist in Böden der gemäßigten Breiten für die Aggregation von Bodenpartikeln verantwortlich und erhöht somit die Wasserspeicherung, den Gasaustausch sowie den Schutz vor Erosion und Verdichtung;
- ▶ speichert Nährstoffe (insbesondere N, S und P) und stellt in sandigen Böden nahezu die gesamte Kationenaustauschkapazität²⁰ zur Verfügung;
- ▶ bindet Schadstoffe (insbesondere organische sowie Schwermetalle) und vermindert so deren schädliche Wirkung auf Bodenlebewesen und Grundwasser²¹.

Der Humusgehalt eines Bodens stellt sich langfristig als Fließgleichgewicht zwischen Zufuhr organischer Substanz und deren Abbau durch Bodentiere und Mikroorganismen (Bodenatmung) ein. In sandigen und stärker durchlüfteten Böden findet dieser Abbau in der Regel schneller statt als auf tonigeren Böden. Niedrige Temperaturen und hohe Bodenwassergehalte verlangsamen ihn. Auf Schluffböden führt ausgeprägte Sommertrockenheit zu verringertem Abbau (Ursache für die Entstehung potentiell fruchtbarer Schwarzerden).

Die Verfahren land- und forstwirtschaftlicher Bewirtschaftung können sich stark auf den Humusgehalt des Bodens auswirken. Jeder Bodenbearbeitungsgang regt den Abbau organischer Substanz an. Die Zufuhr an organischer Primärschubstanz ist in natürlichen Ökosystemen von der Produktivität des Standortes abhängig. In Agrar- oder Forstökosystemen greift der Mensch nicht nur über die Wahl der Kultur in die Anlieferung organischen Materials zum Boden ein, sondern auch mit dem Ausmaß der Abfuhr organischer (Rest-) Stoffe. Da mit dem Biomasseanbau möglichst viel Energie gewonnen werden soll, ist zu befürchten, dass organisches Material in höchstmöglichem Umfang aus der Fläche entfernt wird und vergleichsweise wenig organisches Material auf dem Boden zurückbleibt. Bei der Nutzung von NaWaRo würden im Gegensatz zur üblichen Produktion von Marktfrüchten bspw. nicht nur die Körner von Mais, Getreide, Raps oder Sonnenblumen aus der Fläche und dem Betrieb abgeführt, sondern auch die vegetative Masse, also das Stroh, vom Acker entfernt und nicht als organische Dünger dem Boden wieder zugeführt. Diese Vorgehensweise würde zu einer deutlichen Reduktion von Humusgehalt und Humusmenge führen (BMELV, 2006; Körschens, et al., 2004; Leithold und Hülsbergen, 1998).

²⁰Die Menge von am Boden sorbierten Kationen, die durch Austausch mit anderen Kationen freigesetzt werden können. Die KAK ist für die Speicherung und Nachlieferung von positiv geladenen Nähr- und Schadstoffen maßgeblich.

²¹Sofern es sich nicht um gelöste organische Substanzen handelt.

Die einzelnen Kulturarten haben mit dem jeweilig praktizierten Bodennutzungssystem unterschiedliche Auswirkungen auf den Humusgehalt (siehe Exkurs 5).

Exkurs 5: Quantifizierung der kulturartenspezifischen Änderung des Humusgehalts:

Werte für den Humusgewinn oder -verlust der verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen sind in Tabellen und Verfahrenbeschreibungen zur Humusbilanzierung verzeichnet (Körschens et al., 2004; Leithold und Hülsbergen, 1998). Die Verfahren beider Arbeitsgruppen unterscheiden sich darin, dass sie das Ausmaß der Humuszehrung oder -vermehrung der Kulturen und der mit ihnen verbundenen Bodennutzungseffekte sehr unterschiedlich bewerten. Bei Körschens et al. (2004) ist für jede Kultur eine Spanne zwischen zwei Werten angegeben. *Cross Compliance*¹ verwendet jeweils den Wert, der eher zur Berechnung einer Humusmehrung führt (Tabelle 5). Die Humuseinheit (HE)-Methode von Leithold und Hülsbergen (1998) verwendet Werte, die jeder Kultur eine noch stärkere Humuszehrung zuweist, da die Methode für den ökologischen Landbau entwickelt wurde. Sie berücksichtigt, dass bei diesen Anbausystemen keine N-Mineraldüngung erfolgt und daher die N-Ernährung der Pflanze über die Mineralisierung der organischen Bodensubstanz (Humuszehrung) erfolgen muss, wodurch sich ein erhöhter Bedarf an reproduktionswirksamer organischer Substanz ergibt. Tabelle 5 zeigt, wie unterschiedlich die Humuswirkung einzelner Kulturen von Fachleuten derzeit eingeschätzt wird. Der tatsächliche standortspezifische Humusbedarf bzw. die Zufuhr organischer Reststoffe hängen sehr von der Produktivität und den weiteren Eigenschaften des Standorts sowie des Anbausystems ab. Wegen der hohen Standortdiversität besteht, ebenso wie zur Ableitung eines sog. "standortspezifischen" bzw. "optimalen" Humusgehaltes, noch Forschungsbedarf.

Tabelle 5: Jährlicher Verlust (-) oder Gewinn (+) an Humus-Kohlenstoff ($t\ C\ ha^{-1}\ a^{-1}$) verschiedener Kulturen, die als NaWaRo genutzt werden nach zwei Humusbilanzierungsmethoden für verschiedene Anbausysteme. Werte in Klammern bedeuten, dass das Stroh oder Kraut der Kultur auf dem Acker verbleibt.

	Cross Compliance	HE-Methode für ökologischen Anbau (Leithold und Hülsbergen, 1998)
Zuckerrüben	-0,8 (-0,4)	-2,0 (-1,6)
Kartoffeln	-0,8 (-0,8)	-1,6 (-1,6)
Silomais (Körnermais)	-0,6 (+0,2)	-1,2 (-0,6)
Winterraps	-0,3 (+0,3)	-0,6 (-0,1)
Wintergetreide	-0,3 (+0,3)	-0,6 (0)
Sonnenblumen	-0,3 (+0,4)	-0,6 (0)
Ackergras/Wiese	+0,8	+0,6
Miscanthus ¹	+1,2 (Kahle et al., 2001)	
Kurzumtriebsplantagen ²⁴	+1,3 (Strähle et al., 2007); +1,5 (Kahle et al., 2005)	

¹ Ein Teil der Direktzahlungen an die Landwirte wird seit der Änderung der gemeinsamen Agrarpolitik der EU im Jahr 2003 an die Einhaltung von Umweltauflagen geknüpft.

² Da bei den o. g. Verfahren bisher keine Angaben über die Humuswirkung von Miscanthus oder Kurzumtriebsplantagen gemacht werden, sind deren Werte der Literatur entnommen.

Hackfrüchte (Rüben, Kartoffeln und Mais) verringern den Humusgehalt, weil sie den Boden erst spät bedecken und der Boden sich so stärker erwärmt. Zusätzlich wird der Boden in dieser Zeit zur Ausformung von Dämmen im Kartoffelbau, die Regulation von Wildkräutern und zur Mineralisierung von Stickstoff wiederholt bearbeitet, dadurch belüftet und organische Bodensubstanz verstärkt abgebaut.

Demgegenüber sind Kulturen wie Raps oder Getreide mit raschem Bestandeschluss¹⁴ weniger humuszehrend. Zwischenfrüchte²² haben einen positiven Einfluss auf den Humusgehalt. Ebenso bewirken mehrjährige Kulturen i. d. R. steigende Humusgehalte, da während ihres Anbaus keine Bodenbearbeitung erfolgt.

Die Humusvermehrung ist umso stärker, je mehr organische Masse auch in Form von Wurzelrückständen auf der Fläche verbleibt. Dadurch steigt der Humusgehalt, insbesondere unter begrünter Brache, noch stärker unter Dauergrünland oder Wald. Für die Erhaltung oder die Mehrung des Humusgehaltes der Böden sind mehrjährige Kulturen gegenüber solchen, wie Zuckerrüben und Mais zu bevorzugen.

Es ist bislang nicht geklärt, in welchem Ausmaß die Gärreste von Biogasanlagen zum Humuserhalt beitragen können. Die Mikroorganismen in Biogasanlagen bauen die organische Trockenmasse der Substrate - abgesehen von Lignozellulosen²³ - weitgehend ab. Somit enthalten die Gärreste wesentlich weniger organische Substanz als ihre Ausgangssubstrate. Da die Lignozellulosen auch im Boden relativ langsam abgebaut werden, ist die Reproduktion des Humus aus Gärresten allerdings höher einzuschätzen als der Trockenmassegehalt vermuten ließe. Gleichzeitig liefern diese Gärreste nur wenig - oder nur langsam fließende - Energiequellen für die Bodenfauna und -mikroflora und fördern diese daher verglichen mit frischer organischer Substanz nur in geringem Maße.

Bisher liegen keine Ergebnisse zur Humuswirkung von Gärresten aus praxisnahen Versuchen vor. Schätzungen auf der Basis von Humusbilanzierungsmethoden kommen zu widersprüchlichen Ergebnissen. So berechneten Willms et al. (2007) mittels des Computermodells REPRO eine ausgeglichene Humusbilanz, Ahl et al. (2007) dagegen teilweise dramatische Abnahmen der Humusgehalte - in beiden Fällen bei Rückführung der gesamten Gärreste auf die Anbaufläche, von der die Primärsubstrate stammten. Die KBU empfiehlt daher die Anlage landwirtschaftlicher Dauerversuche mit Biogasanlagen-Nutzung und Gärrest-Rückführung²⁴. Dabei sollten sowohl die Humusgehalte als auch die Aktivität

²²Anbau von schnellwachsenden Pflanzen zwischen zwei Hauptfrüchten, wobei die Ernte der Zwischenfrucht nicht zum Verkauf bestimmt ist, sondern als Futter oder zur Gründung verwendet wird.

²³Zellulose wird unter Methanbildung abgebaut, aber lignifizierte - also verholzte - Zellulose kann unter sauerstofffreien Bedingungen nicht abgebaut werden.

²⁴In Niedersachsen wurde im Herbst 2006 der erste Versuch angelegt, der die Humuswirkung von Gärresten aus Ko-Vergärung von Gülle und NaWaRo untersuchen soll (Ahl et al., 2007).

und Biomasse von Bodenorganismen im Vergleich zu herkömmlichen Fruchtfolgen untersucht werden.

Verschiedentlich diskutieren Hersteller und Politik, ob man zur Erhaltung der organischen Substanz auf Flächen mit dem Anbau von NaWaRo mehr oder stärker belastete organische Abfälle (Klärschlamm, Kompost) aufbringen sollte als nach geltenden Regelungen erlaubt ist. Die KBU stellt fest, dass die stoffliche Belastung landwirtschaftlicher Böden durch die Zufuhr organischer Substanz nicht weiter zunehmen darf. Auch auf belasteten Brachflächen, auf denen keine Erzeugung von Lebens- oder Futtermitteln, wohl aber der NaWaRo-Anbau möglich ist, darf die Belastung mit Schadstoffen nicht zunehmen, um die Funktionalität des Bodens nicht noch weiter einzuschränken. Eine solche Praxis würde zudem die allmähliche Sanierung dieser Böden durch getrennte Nutzung belasteten Pflanzenmaterials (Phytoremediation⁸) verhindern.

Der zunehmende Umbruch von Dauergrünland zum Anbau nachwachsender Rohstoffe ist aus Sicht des Boden- und Gewässerschutzes sensibel anzugehen. Dabei ist die starke Umsetzung der organischen Substanz und Stickstofffreisetzung besonders zu berücksichtigen (Jug et al., 1999b).

Für eine NaWaRo-Nutzung sollte großflächiger Dauergrünlandumbruch in der Regel ausgeschlossen werden. Grünland gehört zu den produktivsten Landnutzungssystemen. Mit dem Mähgut lassen sich in Biogasanlagen Methanerträge erzielen, die an diejenigen des Mais heranreichen (Prochnow et al., 2007). Mit dieser Grünlandnutzung lassen sich auch bei veränderten ökonomischen Rahmenbedingungen diese Landnutzungsformen und Lebensräume erhalten.

3.4 Ausgeglichene Stoffkreisläufe und neue Techniken zur umweltverträglichen Nutzung der Rückstände schaffen

Die Kommission empfiehlt:

Die Entsorgung mineralischer und organischer Abfälle (Aschen, Gärreste, Schlempen), die bei der Nutzung NaWaRo anfallen, ist so durchzuführen, dass Schadstoffanreicherungen in Böden sowie Nähr- und Schadstoffausträge in andere Umweltmedien durch entzugsorientierte Zufuhr vermieden werden.

Die Gehalte in diesen Abfällen sind regelmäßig zu untersuchen, die Nährstoffgehalte der NaWaRo in den Flächenbilanzen nach Düngeverordnung vollständig anzurechnen und die zulässigen Nährstoffüberschüsse weiter zu senken.

Von den anfallenden Aschen sind nur die Feuerraumaschen unbehandelter NaWaRo als Düngemittel zuzulassen.

Über die Rechtsverordnungen des Abfall- und Düngemittelrechts ist - u. a. mit der Verankerung einschlägiger Kriterien - zu gewährleisten, dass keine unakzeptablen Nähr- und Schadstoffmengen in die Böden gelangen.

Bei der Nutzung von NaWaRo fallen organische und mineralische Abfälle an. Art und Aufkommen der Abfälle hängen von den eingesetzten NaWaRo und den jeweiligen Produktionstechniken ab. Neben Wertstoffen enthalten die Rückstände auch Schadstoffe (Tabelle 6).

Die Entsorgung der o. g. Abfälle unterliegt grundsätzlich den Anforderungen des Abfallrechts, welches eine ordnungsgemäße und schadlose Verwertung oder umweltverträgliche Beseitigung verlangt. Für die bodenbezogene Verwertung organischer Abfälle (Gärrückstände, Presskuchen, Schlempe) gilt die Bioabfallverordnung. Für mineralische Abfälle (Aschen) stellt die Düngemittelverordnung Anforderungen zur Verwendung als Düngemittel.

Bei einer energetischen Nutzung der Biomasse bleibt oftmals ein großer Teil der Nährstoffe in den Reststoffen erhalten. Daher ist es wünschenswert, diese Reststoffe wieder auf die Anbauflächen zurückzuführen, um Nährstoffkreisläufe zu schließen und natürliche Ressourcen zu schonen. Die auszubringende Menge der Reststoffe muss sich am Entzug der jeweiligen Kultur orientieren. Aus Sicht des Bodenschutzes ist eine Ausbringung nur zu befürworten, soweit die damit ausgebrachten Schadstofffrachten, also Mengen pro Fläche und Zeit, nicht deutlich höher sind als die Austräge (Pflanzenentzug, Auswaschung, Verdampfung und Abbau). Nur so lässt sich auch langfristig eine Anreicherung der Schadstoffe im Boden verhindern (Verschlechterungsverbot).

Rückstände der Festbrennstoffnutzung

Aschen, die bei der direkten thermischen Verwertung der NaWaRo anfallen, enthalten bei Kalium, Phosphat, Calcium und Magnesium die kompletten Nährstofffrachten des Ernteguts. Stickstoff und Schwefel gehen hingegen beinahe

Tabelle 6: Qualitäten anfallender Abfälle (eigene Zusammenstellung)

Produktionsziel	NaWaRo	Abfall	Nutzstoff	Schadstoff
Festbrennstoffnutzung	Holz (Getreide)	Grob- und Rostasche ²⁵ , Zyklonasche ²⁶ , Flugasche ²⁷	Ca, Mg, K, P, Na	Schwermetalle, organische Schadstoffe (Verbrennungsprodukte, PAK und PCDD/F)
Fermentation / Biogas	Biomasse	flüssige Gärrückstände ²⁸ , feste Gärrückstände	N, P, K, organische Substanz	schon in den Substraten enthaltene Schwermetalle (insb. Cu u. Zn) und organische Schadstoffe
Biodiesel	Körnerraps	Presskuchen, Extraktionsschrot	Eiweißfuttermittel	
Bioethanol	Zuckerrüben, Getreide, Kartoffeln	Schlempen ²⁹	Eiweiß, N, P & K	organische Belastung Mykotoxine
synthetische Kraftstoffe	Biomasse, Holz	Schlacken		

vollständig in der Gasphase verloren. Es erscheint grundsätzlich sinnvoll, diese Aschen als Nährstoffquelle auf die Flächen, von denen die Biomasse stammt, quantitativ/äquivalent zurückzuführen. Bei der Beurteilung der Schadstoffgehalte der Aschen ist zwischen verschiedenen Qualitäten zu unterscheiden.

Als biogener Festbrennstoff wird in Deutschland derzeit ausschließlich Holz genutzt, Stroh hat nur sehr geringe Bedeutung (IER, 2000). Nach Thrän (2006) wurden im Jahr 2005 in Deutschland ca. 100 PJ (entspricht etwa 5,4 Mio. t) Holz zur Stromerzeugung eingesetzt. Bei diesen Anlagen handelt es sich um ca. 140 (Block-) Heizkraftwerke mit einer Leistung zwischen 5 und 20 MW, die hauptsächlich Industrierestholz und Altholz unterschiedlicher Herkunft sowie Beschaffenheit, in wechselnden Anteilen verwenden (Kaltschmitt und Hartmann 2001). Weitere 270 PJ (dies sind etwa 15 Mio. t) Holz dienten im Jahr 2005 in ca. 9 Mio. kleinen, meist häuslichen Heizungsanlagen der Wärmeerzeugung. Je nach Art des verwendeten Brennstoffs fallen unterschiedliche Mengen Asche in unterschiedlichen Fraktionen an (Tabelle 7).

²⁵ Grob-, Rost- Kessel- oder Feuerraumasche bleibt im Feuerraum auf dem Rost zurück.

²⁶ Zyklonasche wird aus dem Abgasstrom in sogenannten Zyklonen durch Zentrifugalkräfte abgeschieden.

²⁷ Feinstflugasche verbleibt bei Anlagen ohne weitere Rauchgasreinigung die im Rauchgas, sonst wird sie in, den Zyklonen nachgeschalteten, Elektro- oder Gewebefiltern oder als Kondensatschlamm abgeschieden.

²⁸ unterliegen der Bioabfallverordnung.

²⁹ Geruchsintensive Rückstände der alkoholischen Vergärung und Destillation von stärkehaltigem Material; enthalten sind alle Stoffe, die der Maische zugeführt wurden (Eiweiße, Fette, Mineralstoffe und Säureschutz), aber nur noch ein geringer Teil der Kohlehydrate, da diese in Alkohol umgewandelt wurden.

Tabelle 7: Ascheanfall und Aschefraktionen bei der Verbrennung verschiedener Biomassen (nach Fürst und Makeschin (2006) sowie Holzner (2006))

	Ascheanfall	Grobasche ²⁵	Zyklonasche ²⁶	Feinstflugasche ²⁷
	[% d. Brennstoff-TM]	[% der Gesamtasche]		
Sägespäne	0,5 - 3,0			
Holz ohne Rinde	0,8 - 1,4	20 - 30	55 - 65	10 - 15
Holz mit Rinde	1,0 - 2,5	70 - 90	10 - 30	3 - 6
Rinde	5,0 – 8,0	75 - 85	15 - 25	1 - 4
Stroh	5,0 – 12,0	80 - 90	2 - 5	5 - 15
Abfallholz	6,0 – 12,0			

Wie Tabelle 8 zeigt, unterscheiden sich diese Fraktionen nicht nur in der Menge, sondern auch deutlich in ihrer Zusammensetzung.

Tabelle 8: Spannweite und Mittelwerte von Schwermetallgehalten in den verschiedenen Aschenfraktionen von unbehandeltem Holz (Fürst und Makeschin, 2006)

	Fraktion								
	Grobasche ²⁵			Zyklonasche ²⁶			Feinstflugasche ²⁷		
	min	mittel	max	min	mittel	max	min	mittel	max
	g/ kg								
P	1,6		27,6	0,6		25,8	2,1		22,4
S	0,4		12,4	0,7		34,0	3,2		69,4
K	11,2		135,6	10,9		165,1	5,6		219,6
Ca	105,4		408,1	16,1		438,9	105,6		268,1
Mg	9,6		61,4	2,2		56,9	8,0		41,7
Al	4,2		30,1	1,1		28,5	3,2		46,6
Mn	0,6		34,7	0,8		39,2	1,2		45,1
Fe	3,5		31,9	1,8		531,1	3,4		42,3
	mg/kg								
Cu	14,0		160,0	43,0		493,0	55,0		1.450,0
Mo		2,8			3,8			13,2	
Zn	100,0		200,0	740,0		1.400,0	109,0		6.200,0
V		43,3			40,5			23,6	
Co		21,1			19,2			17,5	
Cl		198,0			1.120,0			5.250,0	
Ni	12,7		367,2	8,6		88,3	12,8		484,4
Cr	1,3		473,6	5,0		419,3	17,0		810,0
Cd	0,2		20,3	2,1		110,3	5,0		113,0
Pb	0,9		218,0	15,7		3.527,0	24,1		7.300,0
Hg	--		--	--		--	0,1		--
As	< 1,0		4,1	2,0		6,7	7,0		37,4
F		68,0			2.100,0			4.860,0	
Cr(VI)	1,3	61,5	473,6...	5,0	71,8	419,6	18,0	113,3	621,0

Vergleicht man die jährlichen Entzüge von KUP durch die Holzabfuhr (Scholz et al., 2001 und Jug et al., 1999b) mit mittleren jährlichen Depositionen an Schwermetallen aus der Luft (Wilcke und Döhler, 1995), so zeigt sich, dass insbesondere bei Kupfer, Zink und Blei die Einträge um etwa eine Größenordnung über den Entzügen liegen. Selbst bei Berücksichtigung der Austräge mit dem

Sickerwasser, kommt es auch ohne Düngung zu Anreicherungen dieser Schwermetalle im Boden (Scholz et al., 2001).

Grundsätzlich sollten daher mit einer Aschedüngung so wenig wie möglich Schwermetalle auf die Fläche gebracht werden, selbst falls alle drei Aschefractionen lediglich die mit dem Erntegut entfernten Schwermetalle enthielten. Die Schwermetallfracht einer Düngung mit Grobasche, welche den Nährstoffentzug durch die Bäume (vergleiche Tabelle 8 mit Scholz et al., 2001 und Jug et al., 1999b) ausgleicht, erscheint - verglichen mit dem dominierenden atmosphärischen Eintrag - vertretbar. Man sollte jedoch darauf verzichten, Zyklonasche als Dünger zu verwenden, da diese in der Regel keine höheren Nährstoffgehalte, aber deutlich höhere Schwermetallgehalte aufweist (Tabelle 8).

Zum Vergleich mit den Frischholzaschen in Tabelle 8 stellt die Tabelle 9 die Schwermetallgehalte von Aschen aus Industrierestholzfeuerung und aus der Altholzfeuerung dar. Bereits Aschen aus Industrierestholz weisen eine deutliche Anreicherung mit Kupfer und Blei auf. In Altholzaschen sind diese beiden Elemente um mehr als den Faktor 10, Zink um den Faktor 6 gegenüber den maximalen Gehalten von Grobaschen aus Frischholz erhöht.

Tabelle 9: Durchschnittliche Schwermetallgehalte in Grobaschegemischen nach Anfall in Abhängigkeit vom Brennstoff in mg/kg TS nach Tobler und Noger (1993) sowie Noger et al. (1994) und (1995) in Deimling et al. (2000)

Element	Zn	Cu	Co	Mo	As	Ni	Cr	Pb	Cd	V	Hg
Industrierestholz	170	503	25	6,6	k.A.	113	236	363	3,3	k.A.	<0,5
Altholz	1.234	6.914	21	7	17	179	466	2.144	20	171	<0,5

k.A.: keine Angabe

Daher ist die Verwendung der Aschen aus Industrierestholz- und Altholzfeuerungen als Düngemittel nicht zu befürworten. Auch die Düngemittelverordnung vom 26.11.2003 gestattet nur Feuerraumaschen aus der Monoverbrennung naturbelassener pflanzlicher Materialien als Ausgangsstoff für Düngemittel.

Die Gehalte organischer Schadstoffe in Aschen hängen hauptsächlich von den Bedingungen beim Verbrennungsprozess und dem Chlorgehalt des Brennstoffes ab. Obernberger (1997) listet für Aschen die Spannweite der Gehalte an organischen Schadstoffen (PCDD/F, PAK und B(a)P) auf. Gemessen an den Grenzwerten³⁰ je kg Trockenmasse für Klärschlämme (AbfKlärV), scheiden Feinstflug- und Zyklonaschen wegen ihrer PAK-Gehalte als Düngemittel aus. Bezüglich der PCDD/F-Gehalte liegen alle Holzaschen deutlich unter dem Grenzwert für Klär-

³⁰Für PAK bzw. B(a)P liegen für die AbfKlärV nur vorgeschlagene Grenzwerte von 20 bzw. 4 mg/kg TS vor.

schlämme, jedoch erreichen oder überschreiten Zyklon- und Feinstflugaschen aus der Strohverbrennung diese Grenzwerte. Auch an organischen Schadstoffen gemessen sind daher lediglich Grobaschen als Düngemittel geeignet. Da die zur Ernährung der Pflanzen auszubringenden Trockenmassen bei Aschen deutlich geringer sind als für Klärschlamm, relativiert sich die Ablehnung der anderen Aschefractionen wegen organischer Schadstoffe gemäß AbfKlärV, betrachtet man Frachten anstelle der Gehalte.

Rückstände aus Biogasanlagen

In Deutschland überwiegen Biogasanlagen die auf der Nutzung der Gülle basieren. Seit dem Inkrafttreten des EEG und der Biomasseverordnung stieg die Zahl von Biogasanlagen rasch (bis 2007 auf etwa 3700 Anlagen), da das EEG für den erzeugten Strom erhöhte Einspeisevergütungen garantiert. Der so genannte NaWaRo-Bonus fördert jede Kilowattstunde, die aus der Verwertung von Biomasse des gezielten Anbaus entsteht. Daher stieg in Deutschland im Jahr 2006 die Anbaufläche für Energiepflanzen zur Biogasnutzung auf ca. 200.000 ha. Produziert werden auf über 80% der Fläche Silomais und Getreide-Ganzpflanzensilage (Stolte, 2007). Bisher gibt es nur wenige Anlagen, die als Monosubstratanlagen ausschließlich Energiepflanzen nutzen. Seit der Novellierung des EEG vom 5.12.2008 wird der NaWaRo-Bonus auch für eigens angebaute Biomasse in solchen Anlagen gezahlt, die Abfälle gemäß einer Positivliste (z.B. Biertreber, Melasse oder Schlempe aus der Alkoholproduktion) verwerten.

Abgesehen vom Nitrat-Stickstoff und Teilen des Schwefels enthalten Gärreste sämtliche Nährstoffe der Ausgangssubstrate. Gegenüber unbehandelter Gülle haben Gärreste aus Biogasanlagen einerseits Vorteile als Düngemittel, z. B. geringere Geruchsentwicklung und bessere Fließfähigkeit. Andererseits steigt der pH-Wert von Gülle im Verlauf der Vergärung im Durchschnitt um eine halbe Einheit auf pH-Werte deutlich über 8. Ein Sachverhalt, der neben den anoxischen Prozessen auch darauf zurückzuführen ist, dass bei nicht optimaler Prozessführung während der sauren Phase³¹ basische Stoffe (meist Kalk) zugesetzt werden, um die Methanbildung aufrechtzuerhalten. Der Ammonium-Anteil des Stickstoffs liegt mit etwa 60% für Rindergülle basierte etwas niedriger als für Schweingülle basierte Gärreste (etwa 70%) (Göhler und Emmerling, 2007). Der hohe pH-Wert fördert starke Ammoniakverluste bei der Ausbringung. Nach Regina und Perälä (2006) steigen die Ammoniakausgasungen nach Gärrestapplikation im Vergleich zu Gülle um 30-60%. Zwar handelt es sich hierbei um kein spezifisches Problem der Nutzung der NaWaRo, sondern der Gärreste aus Biogasanlagen allgemein. Ammoniakausgasungen sind aber insofern problematisch, als sie bei den Emissionen der Landwirtschaft in Deutschland bei weitem die größte Quelle für N-Einträge über den Luftpfad ausmachen. Alle

³¹ In einer Biogasanlage bilden gärende Organismen insbesondere organische Säuren (Essig- und Milchsäure), die dann von methanbildenden Organismen in Methan und CO₂ umgewandelt werden. Sofern beide Prozesse nicht mit gleicher Geschwindigkeit ablaufen fällt der pH-Wert zwischenzeitlich. Methanbildende Organismen werden aber durch niedriges pH gehemmt.

Möglichkeiten optimierter Applikationstechnik (Injektionstechniken, sofortiges Einarbeiten, keine Applikation auf Mulchschichten) oder der Ansäuerung der Gärreste vor der Ausbringung sind zu nutzen, um Umweltbelastungen und Ressourcenverbrauch zu vermindern. Auch muss die Prozesssteuerung der Anlagen optimiert werden, um die pH-Werte der Gärreste möglichst niedrig zu halten. Hier besteht dringender Forschungsbedarf.

Tabelle 10 stellt die Mittelwerte der Nähr- und Schadstoffgehalte von 32 Gärresten aus Biogasanlagen, die NaWaRo zusammen mit Gülle vergären, denen von Komposten und Grenzwerten der Bioabfallverordnung gegenüber.

Die Kupfer- und Zinkgehalte liegen in den auf Schweinegülle basierenden Gärresten - bezogen auf Trockenmasse - im Mittel über den Grenzwerten der Bioabfallverordnung. Dies ist auf Futterzusätze in der Schweinehaltung zurückzuführen. Die Gehalte unvergorener oder ohne NaWaRo-Zusatz vergorener Schweinegülle sind noch höher (Göhler und Emmerling, 2007). Die Kupfer- und Zinkgehalte der auf Rindergülle basierenden Gärreste überschreiten dagegen die Grenzwerte der Bioabfallverordnung in der Regel nicht (Tabelle 10), während die Gehalte in Mischgülle basierten Gärresten eine Funktion der Anteile von Rinder- und Schweinegülle sind und deshalb die Grenzwerte teilweise überschritten werden (in Tabelle 10 nicht dargestellt).

Um die Anreicherung von Schwermetallen in Böden zu verhindern (Verschlechterungsverbot), dürfen die Einträge mit den Gärresten (inklusive allen anderen

Tabelle 10: Mittelwerte von Nähr- und Schadstoffen für 23 flüssige Gärreste aus NaWaRo-Covergärung in Deutschland (nach Göhler und Emmerling, 2007) und Bioabfall-Komposten (UBA, 2007c), sowie Grenzwerte nach BioAbfV.

Parameter	Maßeinheit	Grenzwert nach BioAbfV	Mittelwert der Gärreste aus Covergärung von NaWaRo & Gülle von		Bioabfall-Kompost-mittelwert
			Rindern	Schweinen	
pH-Wert			8,3	8,3	
TM-Gehalt	% von FM		7,5	4,3	64,7
Stickstoff, gesamt	kg / t FM	--	5,2	4,3	1,52
NH ₄ -Anteil	% von N _{ges}		59	66	
Phosphor, gesamt	kg / t FM	--	0,93	0,83	2,35
Kalium	kg / t FM		3,1	3,2	6,5
Magnesium	kg / t FM		0,38	0,46	3,3
Schwermetalle in mg/kg TM (in Klammern Fracht in g/ha bei Ausbringung von 170 kg N)					
Blei	mg/kg TM	150	3,4 (8,3)	3,5 (6,1)	46,4
Cadmium	mg/kg TM	1,5	0,22 (0,5)	0,35 (0,6)	0,474
Chrom	mg/kg TM	100	8,5 (21)	7,0 (12)	25,3
Kupfer	mg/kg TM	100	49,0 (120)	150 (260)	57,7
Nickel	mg/kg TM	50	9,0 (22)	9,2 (16)	16,3
Zink	mg/kg TM	400	232 (570)	518 (896)	203,7

Düngemitteln sowie dem Eintrag über den Luftpfad (Wilcke und Döhler, 1995)) nicht über den Austrägen (Entzug mit der Ernte plus Auswaschung (Kaygorodov, 2004; Reiner et al., 1996; Wilcke und Döhler, 1995)) liegen. Tabelle 10 zeigt in Klammern die Schwermetall-Frachten, wenn mit dem Gärrest 170 kg Stickstoff je Hektar und Jahr ausgebracht werden, eine Menge, die nach Düngeverordnung die Obergrenze für die Wirtschaftsdüngerausbringung auf Äckern darstellt. Wiederum werden auch hier die Grenzwerte bei Kupfer und Zink für Schweinegülle, nicht aber für Rindergülle basierte Gärreste aus NaWaRo-Ko-Vergärung überschritten. Dagegen überschreiten reine Rindergüllen (und daraus ohne NaWaRo-Zusatz hergestellte Gärreste) die nach dem Verschlechterungsverbot zulässigen Kupferfrachten (Göhler und Emmerling, 2007) vermutlich wegen der üblicherweise in die Gülle eingetragenen kupferhaltigen Klauenbäder (Roschke, 2004). Auch hier handelt es sich um kein spezifisches Problem der Nutzung der NaWaRo, sondern um ein Problem der Wirtschaftsdünger im Allgemeinen. Dennoch lassen sich langfristige Anreicherungen der Böden mit Kupfer und Zink durch veränderte Fütterung und mit baulichen Maßnahmen (keine Einleitungen aus Klauenbädern in die Güllegruben) verringern.

Gärreste aus Ko-Vergärung mit NaWaRo sind also hinsichtlich der Schwermetallgehalte oder -frachten als Düngemittel besser geeignet als reine Gülle (unvergoren oder vergoren), obwohl auch bei auf Schweinegülle basierenden Gärresten aus Ko-Vergärung die Schwermetallgehalte kritisch einzustufen sind. Die Gärrestapplikation kann aber nur empfohlen werden, wenn die Obergrenze einer 170 kg ha Stickstoff-Fracht eingehalten wird. Wird jedoch, wie derzeit häufig gehandhabt, nur der aus der Gülle - nicht jedoch der aus den NaWaRo - stammende Stickstoff auf diese Obergrenze angerechnet, dann führt dies zu „erlaubten“ Ausbringmengen, die auch bei Rindergülle basierten Gärresten stets die zulässigen Frachten an Kupfer und Zink überschreiten. Zusätzlich werden durch diese Praxis unakzeptable Mengen an Stickstoff auf die Flächen gebracht und Ammoniak freigesetzt. Die Beratung sollte diese Praxis nicht weiter unterstützen. Diese Lücke in der Düngeverordnung sollte unverzüglich geschlossen werden.

Die „positiven“ Aussagen zu Gärrückständen gelten weiterhin nur unter der Voraussetzung, dass überwiegend tierische Ausscheidungen (oder NaWaRo) der Vergärung dienen. Erweiterte sich - unter dem Zwang zur Energieerzeugung auf Basis von Biomasse - das Spektrum der Inputmaterialien deutlich, würde sich wahrscheinlich auch das Schadstoffspektrum erweitern und es würden die Schadstoffkonzentrationen in den Gärprodukten zunehmen. Schon Gärreste, die durch Ko-Vergärung von Gülle und Bioabfällen (Lebensmittelindustrie und Großküchen) entstanden, haben spürbar höhere Schwermetallgehalte und Frachten als die in Tabelle 10 gezeigten (UBA, 2007c). Sofern die Frachten die Austräge überschreiten, wäre daher für diese Materialien eine Verwertung auszuschließen, wie es auch ein Beschluss der Konferenz der Agrar- und Umweltminister³² fordert. Andernfalls wären unerwünschte Schadstoffanreicherungen im Boden die Folge.

³²AMK/UMK-Beschluss vom 13.06.2001, "keine Schadstoffanreicherung in Böden durch bewirtschaftungsbedingte Einträge".

Rückstände aus der Biodieselproduktion

Diese festen Rückstände der Ölgewinnung (d.h. Presskuchen und Extraktionschrot) werden derzeit insbesondere als eiweißreiche Futtermittel genutzt. Ein großer Teil der darin enthaltenen Nährstoffe kann später mit dem Wirtschaftsdünger auf die Böden zurückgeführt werden. Zu den Schadstoffgehalten von Gülle siehe voriges Unterkapitel.

Rückstände aus der Bioethanolproduktion

Als Folge des Biokraftstoffquotengesetzes entstehen derzeit in Deutschland mehrere große Bioethanolanlagen, die bisher hauptsächlich Getreide verarbeiten. Als Nebenprodukt fällt Schlempe an. Diese enthält sämtliche Nährstoffe des Getreides und wird in der Regel durch Zentrifugation in Dickschlempe (eiweißreiches Futtermittel) und Dünnschlempe (Düngemittel) getrennt. Eine weitere Einsatzmöglichkeit besteht in der Energieerzeugung aus Schlempe mit Hilfe der Vergärung in Biogasanlagen. Die Dünnschlempe enthält ca. 4% Trockenmasse und 4 kg Stickstoff je m³. Im Gegensatz zu Gärresten aus Biogasanlagen enthält Schlempe nahezu ausschließlich organisch gebundenen Stickstoff, der erst im Lauf von Monaten mineralisiert wird (Gutser, 1998), so dass bei bedarfgerechter Düngung kaum Auswaschungsverluste zu befürchten sind. Bei hohen Gaben könnte der niedrige pH-Wert der Schlempen³³ zwar zu kurzzeitigen Wachstumsstörungen der Kulturpflanzen führen, ein Umstand, der sich aber mit der - auf Ackerflächen üblichen Kalkung - kompensieren lässt. Insbesondere ältere Schlempen können bei der Ausbringung zu Geruchsbelästigungen führen, da während der Lagerung weitere Gärungsprozesse ablaufen.

Rückstände aus der Biomass to-Liquid (BtL) -Produktion

Als wesentlicher Abfall des BtL-Verfahrens fällt Schlacke an, die bereits eluierfest ist und sich als mineralischer Abfall in Baustoffen verwerten lässt. Eine Schlackenaufbereitung ist hier somit notwendig. Für die bautechnische Verwertung mineralischer Abfälle (Aschen, Schlacken) bereitet das Bundesumweltministerium eine Bundesverordnung vor.

³³Zur Vermeidung von Fehlgärungen wird die Maische mittels Mineralsäuren auf einen pH 3-4 eingestellt.

3.5 Rechtliche Grundlagen optimieren

Die Kommission empfiehlt:

Es sollte eine Konkretisierung der Anforderungen an die boden- und naturschutzbezogene Vorsorge nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis im Bundesbodenschutz- und Naturschutzgesetz für den Anbau von NaWaRo vorgenommen werden. Das betrifft vor allem die Bereiche Bodenverdichtung, Nährstoffbilanz, Humusabtrag und Multifunktionalität der Böden. Des Weiteren sollte der Umbruch von Grünland für den Anbau von NaWaRo eingeschränkt werden.

Die rechtliche Durchsetzung diesbezüglicher Anforderungen sollte durch den Entwurf der Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung geschlossen werden. Denn danach hängt die Vermarktbarkeit von Biomasse von der Beachtung dieser Grundsätze und weiterer Voraussetzungen (kein Anbau von Biomasse in Gebieten mit hohem Naturschutzwert und erhebliches Treibhausminderungspotential) ab. Bislang bezieht sich die Regelung nur auf die Verwendung der Biomasse in der Kraftstoffproduktion. Zu empfehlen ist hier eine Erweiterung des Anwendungsbereichs der Verordnung auf die Verwendung der Biomasse auch in den Bereichen Wärme- und Energieerzeugung sowie im Bereich stoffliche Biomassenutzung. Allerdings sollten die Regelungen insgesamt viel konkreter gefasst werden. All dies sollte auf völkerrechtlicher Ebene, möglichst im Sinne allgemeiner Anbau- und Nutzungsstandards, abgesichert werden.

Die Verwendung von Reststoffen der NaWaRo-Verwertung als Düngemittel ist grundsätzlich zu empfehlen, um geschlossene Nährstoffkreisläufe sicherzustellen. Allerdings sollte das Düngemittelrecht sicherstellen, dass es nicht zu erhöhten Nährstoffeinträgen in die Böden und damit auch zu erhöhten Austrägen in die Luft und die Gewässer kommt. In der Düngerverordnung soll klargestellt werden, dass auch die in Gärresten und Schlempen enthaltenen N-Frachten der NaWaRo auf die maximal aufbringbare Stickstoffmenge angerechnet werden.

Ferner bedarf das Umweltschadensgesetz einiger Anpassungen (Erweiterung Umweltschadensbegriff, Erstreckung auf den gesamten Anbauprozess nachwachsender Rohstoffe), damit eine präventive Wirkung in dem Sinne entsteht, dass nachteilige Auswirkungen auf den Boden und die Umwelt insgesamt vermieden werden.

Gegenstand der nachfolgenden Ausführungen sind die Anforderungen beim Anbau von NaWaRo aus Sicht des Umweltschutzes, vor allem des Bodenschutzes. Teilweise ergeben sich auch Bezüge zur (stofflichen und energetischen) Verwertung der NaWaRo. Dies kann nicht unberücksichtigt bleiben, da sich hieraus Rückwirkungen auf die (bodenschutzpolitisch u.U. gerade problematischen) Menge des NaWaRo-Anbaus ergeben. Nicht näher behandelt werden hier die umweltbezogenen Anforderungen an die energetische Verwertung von NaWaRo, soweit es um den konkreten Anlagenbetrieb geht. Auch die energetische Verwertung von NaWaRo kann für sich genommen unter anderem durch die Emission von Schadstoffen nachteilige Wirkungen auf die Umwelt im Allgemeinen und den Boden im Besonderen verursachen. Das einschlägige Regelungsregime ist hier das BImSchG und das untergesetzliche Regelwerk. Auch nicht erörtert werden die rechtlichen Anforderungen an NaWaRo, die gentechnisch verändert wurden, da diese Thematik auch im Gesamtbericht ausgeklammert worden ist.

Die Empfehlungen beziehen sich hier nur auf den Anbau von NaWaRo. Entsprechende Änderungen der geltenden Bestimmungen könnten aber gegebenenfalls auch im Bereich der Erzeugung von Lebens- und Futtermitteln sinnvoll sein.

Anbau nachwachsender Rohstoffe: Land- und Forstwirtschaft

Der Anbau von NaWaRo ist in juristischer Hinsicht als land- oder forstwirtschaftliche Tätigkeit anzusehen, weil er weitgehend gleiche Anbaumethoden wie in der konventionellen Land- und Forstwirtschaft verwendet und die Produkte – abgesehen von ihrer Qualität – weitgehend identisch sind.

Bodenschutzrecht

Die einschlägige Rechtsgrundlage für bodenschutzbezogene Anforderungen an die Land- und Forstwirtschaft ist das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und die auf seiner Grundlage erlassene Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV). Das BBodSchG dient grundsätzlich der Sicherung und Wiederherstellung der Bodenfunktionen. Hierzu sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, der Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachte Gewässer- und Luftverunreinigungen sind zu sanieren, ferner ist Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. Unter die Bodenfunktionen fallen - neben der Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte und den Nutzungsfunktionen - auch die natürlichen Funktionen, als Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen, als Bestandteil des Naturhaushalts insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen und als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen. Das Gesetz normiert also aus Sicht des Bodenschutzes Anforderungen an die Vorsorge und die Gefahrenabwehr. In der BBodSchV werden diese Vorgaben unter anderem durch Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte konkretisiert.

Von diesen Vorgaben sind Land- und Forstwirtschaft weitgehend ausgenommen. Die Anforderungen an die bodenschutzbezogene Vorsorge richten sich für die Landwirtschaft nach § 17 Abs. 1 und 2 BBodSchG. Diese stellen allgemeine Grundsätze an die gute fachliche Praxis (gFP) auf, die insbesondere die folgenden Punkte umfasst:

- ▶ standortangepasste Bodenbearbeitung
- ▶ Erhaltung und Verbesserung der Bodenstruktur
- ▶ Vermeidung von Bodenverdichtungen, soweit wie möglich
- ▶ Vermeidung von Bodenabträgen
- ▶ Erhaltung der naturbetonten Strukturelemente
- ▶ Erhaltung oder Förderung der biologischen Aktivität des Bodens
- ▶ Erhaltung des standorttypischen Humusgehalts des Bodens

Eine Konkretisierung dieser gesetzlichen Vorgaben findet sich in den „Grundsätzen und Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung“, veröffentlicht im Bundesanzeiger vom 20.04.1999. Die genannten „Handlungsempfehlungen“ sind inhaltlich relativ unpräzise. So wird in dem Dokument selbst die Forderung aufgestellt, dass die „Grundsätze und Handlungsempfehlungen ... konsequent weiterzuentwickeln, mit regionalen Daten und Erfahrungswerten zu ergänzen und zu einer Handreichung für Beratung und Praxis auszubauen“ sind. Konkrete Empfehlungen für den Anbau von NaWaRo finden sich hier nicht.

Die Anforderungen an die bodenschutzbezogene Vorsorge für die Forstwirtschaft ergeben sich aus dem zweiten Kapitel des Bundeswaldgesetzes und den einschlägigen landesrechtlichen Regelungen.

§ 7 BBodSchG normiert, dass für den Bereich der Land- und Forstwirtschaft vorsorgebezogene Anordnungen durch Behörden zum Schutz des Bodens nicht zulässig sind. Ferner ist festzustellen, dass zwar die Vorsorgewerte nach BBodSchV für die Land- und Forstwirtschaft nicht gelten, allerdings werden in der Regel die bodenbezogenen Vorsorgewerte bei der Entwicklung des sonstigen landwirtschaftsbezogenen Fachrechts doch berücksichtigt.

Inhaltlich decken die genannten Grundsätze der guten fachlichen Praxis viele Aspekte ab, die auch beim Anbau von NaWaRo zu beachten sind. Zu nennen sind vor allem die standortangepasste Bodenbearbeitung, die Vermeidung von Bodenverdichtungen und von Bodenabträgen, die Erhaltung oder Förderung der biologischen Aktivität und die Erhaltung des standorttypischen Humusgehalts. Aus den erwähnten Handlungsempfehlungen folgen Vorgaben, die auch beim Anbau von NaWaRo zu berücksichtigen sind. Wegen der fehlenden Konkretisierung der Grundsätze in Bezug auf den Anbau von NaWaRo und der fehlenden Anordnungsbefugnis können die genannten Grundsätze aber kaum steuernde Wirkung entfalten.

Auch in Bezug auf die Abwehr und die Sanierung von schädlichen Bodenveränderungen sind Land- und Forstwirtschaft besser gestellt (privilegiert) als andere Nutzungen. Nach § 17 Abs. 3 BBodSchG gelten für die Gefahrenabwehr zunächst die fachgesetzlichen Regelungen unter anderem nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz über das Aufbringen von Abfällen zur Verwertung als Sekundärrohstoffe oder Wirtschaftsdünger, den zugehörigen Rechtsverordnungen und der Klärschlammverordnung, nach dem Düngemittel- und Pflanzenschutzrecht, nach dem Bundeswaldgesetz und den entsprechenden landesrechtlichen Bestimmungen, nach dem Flurbereinigungsgesetz und dem Bauordnungs- und Bauplanungsgesetz. Die Regelungen des BBodSchG kommen also nur ergänzend zur Anwendung, vor allem soweit die genannten Gesetze keine Bestimmungen über die Gefahrenabwehr vorsehen und bei Regelungslücken z.B. in Bezug auf bestimmte Schadstoffe. Streitig ist, ob eine bodenschutzrechtliche Anordnung gegenüber Land- und Forstwirten erlassen werden kann, falls trotz Einhaltung der fachrechtlichen Bestimmungen eine schädliche Bodenveränderung entstanden sein sollte.

Auf Grund des Bodenschutzrechts können also Land- und Forstwirten zu Gefahrenabwehrmaßnahmen grundsätzlich in Anspruch genommen werden, wenn durch den Anbau von NaWaRo schädliche Bodenveränderungen durch Boden-erosion, Bodenschadverdichtung oder Verminderung des Humusgehalts entstehen. Dies ist vor allem dann möglich, wenn Regelungslücken im Fachrecht bestehen.

Naturschutzrecht

Auch im Naturschutzrecht sind Land- und Forstwirtschaft weitgehend privilegiert. Nach § 18 Abs. 2 BNatSchG gilt die land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung nicht als Eingriff in Natur und Landschaft, soweit erstens die Grundsätze der guten fachlichen Praxis, die sich aus dem Natur- und Bodenschutzrecht sowie zweitens aus sonstigen fachrechtlichen Bestimmungen ergeben, eingehalten werden.

§ 5 Abs. 3 BNatSchG fasst die Grundsätze der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft zusammen:

- ▶ standortangepasste Bewirtschaftung, nachhaltige Fruchtfolge und Gewährleistung langfristiger Nutzung;
- ▶ Vermeidung vermeidbarer Beeinträchtigung von Biotopen;
- ▶ Erhaltung der Vernetzung von Biotopen oder von entsprechenden Landschaftsteilen;
- ▶ „ausgewogenes Verhältnis von Tierzucht und Pflanzenbau, Vermeidung nachteiliger Umweltauswirkungen“;
- ▶ Unterlassen von Grünlandumbruch auf besonders sensiblen Gebieten;
- ▶ keine unverhältnismäßige Ausbeutung der Ressourcen;
- ▶ Dokumentation des Einsatzes von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln.

Mit Blick auf die Forstwirtschaft sind die folgenden Grundsätze zu beachten. Es soll naturnaher Wald aufgebaut werden, die Bewirtschaftung soll ohne Kahlschlag erfolgen, ein hinreichender Anteil heimischer Forstpflanzen ist zu verwenden.

Bei Beachtung der genannten Voraussetzungen ist die Land- und Forstwirtschaft vollständig von der Eingriffsregelung ausgenommen. Bei tatsächlichen Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft, die trotz der Beachtung der Grundsätze der guten fachlichen Praxis (gFP) entstehen, sind die Landwirte also nicht zu Ausgleichsmaßnahmen verpflichtet. Für den Anbau von NaWaRo sind vor allem die Grundsätze der standortangepassten Bewirtschaftung und der nachhaltigen Fruchtfolge sowie das Verbot des Grünlandumbruchs sowie der Erhaltung von Biotopen und der verhältnismäßigen Nutzung der Ressourcen von Bedeutung. Es fehlt allerdings die Konkretisierung dieser Grundsätze generell und für den Anbau von NaWaRo speziell. Ferner müsste das Verbot des Grünlandumbruchs ubiquitär gelten.

Schließlich ermöglicht das Naturschutzrecht, besonders schützenswerte Gebiete oder Naturobjekte durch Gebietsausweisungen unter Schutz zu stellen. Diese Instrumente lassen sich auch zum Schutz besonderer Gebiete vor der Intensivierung der Landnutzung durch Anbau von NaWaRo einsetzen.

Düngemittel- und Pflanzenschutzrecht

Die Verwendung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln regelt das Düngemittel- und Pflanzenschutzmittelrecht. Hier ergeben sich für den Anbau von NaWaRo keine besonderen Anforderungen, so dass auf die Darlegung der Einzelheiten der beiden genannten Rechtsmaterien verzichtet wird.

Unstreitig sollte aber die Geltung und der Vollzug dieser beiden Rechtsmaterien sichergestellt werden. Obwohl sich die Produkthanforderungen an NaWaRo sich von denen an Lebens- und Futtermittel unterscheiden können, sind doch die bodenschutzbezogenen Anforderungen des Pflanzen- und Düngemittelrechts weiterhin zu beachten, weil dadurch der Schutz der Medien unabhängig von der Produktqualität bezweckt wird.

Anforderungen an die Wiederverwertung von Reststoffen nach energetischer Verwertung nachwachsender Rohstoffe

Die Reststoffe aus der energetischen Verwertung von NaWaRo können und sollen grundsätzlich als Düngemittel eingesetzt werden, um eine ausgeglichene Nährstoffbilanz zu gewährleisten. Allerdings ist sicherzustellen, dass es nicht zu einer Anreicherung von Schadstoffen im Boden oder Austrag von Nährstoffen in Luft und Wasser durch die Verwendung dieser Reststoffe kommt. Problematisch sind insofern vor allem zwei Aspekte:

Erstens richtet sich der zulässige Austrag von Schadstoffen nach der Bioabfallverordnung nach den Schadstoffgehalten in der Trockenmasse und der insgesamt ausgebrachten Menge an Trockenmasse je Hektar. Dadurch sind rechnerisch Frachten möglich, die weit über den Entzügen liegen und daher zu Schadstoffanreicherungen im Boden führen würden.

Zweitens darf auf Ackerflächen nach § 4 Düngeverordnung maximal 170 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr ausgebracht werden. Diese Anforderung bezieht sich allerdings nur auf Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft. Der Stickstoffeintrag durch die Reststoffe aus NaWaRo bleibt hier bislang unberücksichtigt.

Recht der Förderung nachwachsender Rohstoffe

Eine unmittelbare Förderung des Anbaus von NaWaRo folgt aus Art. 88 Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 des Rates mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik. Danach erhalten die Landwirte 45 €/ha für den Anbau von NaWaRo. Die Förderung war allerdings ursprüng-

lich auf 1,5 Mio. ha beschränkt und wurde Ende 2006 auf 2,0 Mio. ha erweitert. Dies hat nach Art. 89 VO Nr. 1782/2003 zur Folge, dass, soweit die Anträge für diese Förderung diese Höchstgrenze überschreiten, die Förderung pro ha anteilig reduziert wird, was im Wirtschaftsjahr 2007 geschehen ist. Die Landwirte in der EU haben mit insgesamt 2,84 Mio. ha Energiepflanzen die EU-Obergrenze deutlich überschritten, wodurch die Energiepflanzenbeihilfe auf 31,65 €/ha sank. Agrarkommissarin Fischer-Boel will im Rahmen der Halbzeitbewertung („Health Check“) der Agenda 2007 die Energiepflanzenprämie voraussichtlich ganz abschaffen. Angesichts der derzeitigen Preis-Hausse im Nahrungsmittelbereich wäre es für viele Landwirte wohl besser gewesen, wenn sie sich nicht durch Lieferverträge mit den Biogasanlagenbetreibern für Jahre auf den Energiepflanzenanbau (und seine Prämie) festgelegt hätten (AGRA-EUROPE, 2007).

Im Rahmen der „Ersten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik“ erhalten die Landwirte in Deutschland sogenannte Betriebsprämien nach der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 unabhängig davon, ob sie NaWaRo oder sonstige landwirtschaftliche Produkte anbauen. Diese Regelung soll auch bei der in mehreren Schritten 2010-2013 erfolgenden Umstellung auf die regional einheitliche Flächenprämie beibehalten werden, d. h. auch für NaWaRo-Flächen wird die Flächenprämie gewährt.

Beide Förderungen hängen nach Art. 4 der genannten Verordnung von der Einhaltung der anderweitigen Verpflichtungen (cross compliance), unter anderem von Umweltschutzaufgaben ab, die auf bewirtschafteten Flächen auf die Einhaltung des Fachrechts hinaus laufen (Anhang III der Verordnung 1782/2003). Neu hinzu gekommen und über das geltende Fachrecht hinausgehend sind die Verpflichtungen, auch stillgelegte Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und guten ökologischen Zustand zu erhalten, was die Durchführung bestimmter Pflegemaßnahmen auf Stilllegungsflächen bedeutete (Anhang IV der Verordnung 1782/2003). Allerdings wurde der Regelsatz für die konjunkturelle Flächenstilllegung inzwischen auf 0 herabgesetzt, und am 26.9.2007 haben die EU-Agrarminister die Flächenstilllegung für 2008 ganz aufgehoben (EU, 2007b).

Die finanzielle Förderung durch die EU sollte die Landwirtschaft zu einem umweltgerechten Verhalten motivieren. Ökonomisch könnte es sich allerdings aufgrund der hohen Verkaufspreise für NaWaRo und neuerdings auch für Nahrungsmittel für die Landwirte derzeit durchaus lohnen, auf die genannten Förderungen zu verzichten und mithin von der Einhaltung der Umweltauflagen abzusehen, um den Ertrag aus dem Anbau zu steigern. Der Verzicht auf Förderung entbindet jedoch nicht von der Einhaltung des geltenden Ordnungsrechts. Zu hinterfragen ist allerdings, ob der Vollzug des Agrar-Ordnungsrechts mit gleicher Intensität erfolgt wie die Kontrollen zum Förderrecht. Die Einhaltung der anderweitigen Verpflichtungen (cross compliance) wird im Rahmen des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) jährlich an 1% der Betriebe überprüft.

Eine indirekte Förderung des Anbaus von NaWaRo enthält daneben das Erneuerbare-Energien-Gesetz, in dem es für die Herstellung von Strom aus Biomasse

eine Vergütung vorsieht. Auf dem EEG beruht die Biomasseverordnung von 2001 in der geänderten Fassung von 2005. Diese normiert nur für die Stromerzeugungsanlagen Umweltauflagen, nicht aber für den Anbau der dafür eingesetzten NaWaRo.

Die im Kabinett am 5.12.2007 beschlossene Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung enthält dagegen Kriterien für den Anbau von Biomasse. Die Einhaltung dieser Kriterien ist Voraussetzung, dass die aus der Biomasse hergestellten Biokraftstoffe auf die verbindlich vorgeschriebenen Beimischungsquoten nach Biokraftstoffquotengesetz angerechnet werden können und dass diese Biokraftstoffe steuerentlastungsfähig nach Energiesteuergesetz sind. Die Nachhaltigkeitsverordnung vom 5.12.2007 nennt drei Kriterien:

- ▶ Beachtung der Grundsätze der guten fachlichen Praxis
- ▶ Kein Anbau der Biomasse in Gebieten mit hohem Naturschutzwert
- ▶ Erhebliches Treibhausminderungspotenzial der Biokraftstoffe

Die Einhaltung dieser Voraussetzungen soll durch ein Zertifikat bescheinigt werden.

Die Regelungen gelten sowohl für inländisch hergestellte als auch für importierte Biomasse. Importprodukte sind nach dem Entwurf der Verordnung nur zertifizierbar, falls in dem Produktionsland entweder vergleichbare Anforderungen gelten oder falls bestimmte Mindestanforderungen, die in der Nachhaltigkeitsverordnung aufgeführt sind, auch dort beachtet werden.

Da der Verkauf von Biomasse an die Mineralölindustrie im Wesentlichen davon abhängen wird, ob die daraus erzeugten Biokraftstoffe auf die Quote nach dem Biokraftstoffquotengesetz angerechnet werden können, entsteht ein erheblicher Anreiz, die Anforderungen der Nachhaltigkeitsverordnung beim Anbau der Biomasse zu beachten. Dass auch die mittelbare Förderung der Biokraftstoffe durch die Steuerentlastungsoption nach dem Energiesteuergesetz ebenfalls von der Einhaltung dieser Voraussetzungen abhängt, unterstützt diesen Effekt zusätzlich.

Aus Sicht des Bodenschutzes ist die Nachhaltigkeitsverordnung zu begrüßen, weil sie erstmalig die Einhaltung der Grundsätze der guten fachlichen Praxis an eine konkrete und für die Landwirtschaft relevante Rechtsfolge koppelt. Die Bedeutung der Nachhaltigkeitsverordnung könnte und sollte aus Sicht des Umwelt- und Bodenschutzes gesteigert werden, in dem ihr Anwendungsbereich auf den Einsatz von Biomasse auch für die Wärme- und Stromerzeugung sowie auf die stoffliche NaWaRo-Nutzung ausgedehnt wird. Allerdings müssen die Kriterien dabei konkret gefasst werden und zudem alle relevanten Umweltaspekte in die Feststellung der positiven ökologischen Gesamtbilanz einfließen. Ferner könnten verschiedene Klassen förderungswürdiger NaWaRo in Abhängigkeit von der Qualität der Umweltbilanz gebildet werden.

Haftungsrecht

Nach dem Umweltschadengesetz sind die Verursacher grundsätzlich verpflichtet, bei Vorliegen von Umweltschäden die erforderlichen Schadensbegrenzungsmaßnahmen vorzunehmen und die erforderlichen Sanierungsmaßnahmen durchzuführen. Diese Regelung kann auch präventiv wirken, falls zur Vermeidung der Sanierungspflichtigkeit Vorsorge vor dem Entstehen solcher Schäden getroffen wird.

Voraussetzung für die Anwendbarkeit des Umweltschadengesetzes ist allerdings das Vorliegen eines Umweltschadens. Nach § 2 Nr. 1 lit. a und c USchG liegt ein Umweltschaden bei einer Schädigung von Arten und von natürlichen Lebensräumen vor, soweit die Beeinträchtigungen sich negativ auf die Beibehaltung oder Erreichung des guten Erhaltungszustands auswirken. Ferner ist ein Umweltschaden bei einer Schädigung des Bodens durch Beeinträchtigung der Bodenfunktionen in Folge des Aufbringens von Schadstoffen anzunehmen. Bei Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen muss darüber hinaus eine Gefahr für die menschliche Gesundheit bestehen.

Ein Umweltschaden im Sinne des USchG wird also durch den Anbau von NaWaRo selten verursacht werden. Allein wenn es durch den Anbau von NaWaRo zu einer Beeinträchtigung der ökologischen Bodenfunktionen kommt, kann eine Schädigung natürlicher Lebensräume und mithin ein Umweltschaden vorliegen. Dass darüber hinaus eine Gefahr für die menschliche Gesundheit entsteht, ist kaum anzunehmen.

Ferner muss ein Umweltschaden durch eine der in Anlage I aufgeführten beruflichen Tätigkeiten verursacht worden sein. Auch hier sind nur Teilbereiche der Land- und Forstwirtschaft angesprochen, jedenfalls soweit es um den Schutz des Bodens geht. Relevant sind insofern lediglich das Verwerten und Beseitigen von Abfällen sowie das Verbringen von Pflanzenschutzmitteln und Bioziden in die Umwelt.

Bei Umweltschäden, die aus der Verwendung von Pflanzenschutzmitteln resultieren, können die Länder nach § 9 USchG schließlich die Landwirte von der Kostentragungspflicht grundsätzlich freistellen.

Da das USchG den Anbau von NaWaRo nur zum Teil abdeckt, kann es nur im geringen Maße eine präventive Wirkung in dem oben genannten Sinne entfalten.

Bodenschutzrechtliche Perspektiven

Ausgehend von den mit dem Anbau von NaWaRo verbundenen Risiken für die Umwelt und den Boden werden nachfolgend Empfehlungen für die Regulierung und deren Vollzug unterbreitet. Dabei werden zunächst die Risiken benannt, anschließend wird eine geeignete Regulierungsoption vorgeschlagen.

Die Vorschläge orientieren sich an dem bisherigen Konzept der Privilegierung der Land- und Forstwirtschaft im Umweltrecht – obwohl diese grundsätzlich zu überprüfen ist. Diese Fragestellung betrifft aber nicht nur den Anbau von NaWaRo, sondern die Land- und Forstwirtschaft allgemein.

1) Gefahr des intensivierten Einsatzes von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln

Der Anbau von NaWaRo setzt vor allem auf Quantität. Die Qualität der Produkte steht nicht im Vordergrund. Daraus folgt ein starker Anreiz zur weiteren Intensivierung der Land- und Forstwirtschaft und zum verstärkten, mindestens maximal zulässigen Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln. Daher wird zum Teil diskutiert, die zulässigen Höchstgrenzen für Dünge- und Pflanzenschutzmittel zu erhöhen.

Die Regelungen des Dünge- und Pflanzenschutzmittelrechts dienen aber neben dem Ausschluss von Risiken in den Produkten auch dem Schutz der Umweltmedien. Daher sollte das Anforderungsprofil beibehalten werden. Ferner ist der Vollzug der gesetzlichen Regelungen systematisch zu kontrollieren.

2) Ergänzung und Konkretisierung der guten fachlichen Praxis

Wie dargelegt, stellen das Bodenschutz- und Naturschutzrecht lediglich allgemeine Grundsätze an die gfP auf, ohne diese in Bezug auf den Anbau von NaWaRo Rohstoffe zu konkretisieren und ohne dass die Behörden zur Überwachung und/oder Durchsetzung befugt wären.

Beim Anbau von NaWaRo kann es aber durch den Einsatz von schweren Maschinen zu zusätzlichen Bodenverdichtungen kommen. Monokulturen, erhöhter Pestizideinsatz und/oder die verringerte Fruchtfolge können die Biodiversität beeinträchtigen. Ferner kann durch die vollständige Aberntung der Humusgehalt im Boden verringert werden. Der Anbau von NaWaRo sollte des Weiteren grundsätzlich in einer Art und Weise erfolgen, dass die Multifunktionalität des Bodens erhalten bleibt. Die für den Anbau von NaWaRo verwendeten Flächen müssen also weiterhin für die konventionelle Land- und Forstwirtschaft verwendbar sein. Schließlich sollten die Grundsätze insoweit ergänzt werden, dass zur Vermeidung der weiteren Flächeninanspruchnahme vorhandene landwirtschaftliche und sonstige Brachen zum Anbau von NaWaRo genutzt werden.

Um den Land- und Forstwirten Anhaltspunkte für aus Bodenschutz vertretbare Methoden zu geben, sollten die Grundsätze der guten fachlichen Praxis also ergänzt und konkretisiert werden.

Dies betrifft die folgenden Bereiche:

- ▶ Eine vollständige Aberntung der gesamten (oberirdischen) Biomasse ist zu vermeiden, oder durch ausreichende Rückführung von Reststoffen für einen ausreichenden Humusersatz zu sorgen.

- ▶ Gleichzeitig sind geschlossene Nährstoffkreisläufe anzustreben, also darf die Nährstoffzufuhr nur unwesentlich über den Entzügen liegen. Insgesamt sollten Kulturen mit geringem Düngbedarf bevorzugt werden.
- ▶ Es sind Anbaumethoden zu wählen, die die Verdichtung und Erosion des Bodens soweit möglich vermeiden.
- ▶ Es sind mindestens dreigliedrige Fruchtfolgen einzuhalten, die mit einem Minimum an Pflanzenschutz auskommen.
- ▶ Erhaltung der Multifunktionalität der landwirtschaftlichen Flächen: Die Flächen müssen also für den Anbau von Lebensmitteln geeignet bleiben.
- ▶ Vorrangige Nutzung auch von landwirtschaftlichen und sonstigen Brachen, um Umwidmung von Grünland, Wald und ökologischem Landbau zu verhindern.

Die Konkretisierung der Grundsätze der guten fachlichen Praxis für den Anbau von NaWaRo ist auch gerade deshalb sinnvoll, weil mit der Nachhaltigkeitsverordnung ein erheblicher Anreiz zur Beachtung dieser Grundsätze geschaffen werden soll. Die Normsetzungskompetenz sollte der BMU haben, weil es im Wesentlichen um den Schutz der Umwelt und des Bodens geht. Dadurch könnten die Grundsätze der guten fachlichen Praxis stärkeres Gewicht erlangen. Eine analoge Regelung findet sich für die gFP in Bezug auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in § 2 a Abs. 2 PflSchG, wobei hier der BMELV die Grundsätze erarbeitet und das Einvernehmen mit dem BMU herstellt.

Die Land- und Forstwirte sollten im Grundsatz selbstständig die Einhaltung der konkretisierten Grundsätze der gFP für den Anbau von NaWaRo überwachen. Ferner sollten sie zur Dokumentation verpflichtet werden, wie sie nach den naturschutzrechtlichen Vorgaben bereits für die Verwendung von Pflanzenschutz- und Düngemitteln erforderlich ist. Ergänzende administrative Überwachungsoptionen wären gleichwohl sinnvoll. Ebenso wäre im Sinne neuerer europarechtlicher Tendenzen die Vorstellung kritisch zu überdenken, ob Vorsorgeanforderungen (auch im Boden- und Naturschutzrecht) für Dritte und für die Umweltverbände wirklich weiterhin uneinklagbar bleiben sollten, da dies auf die Durchsetzung von Vorsorgeanforderungen erhebliche negative Auswirkungen hat.

3) Restringierung des Grünlandumbruchs (Ausnahmen)

Das Verbot des Grünlandumbruchs in § 5 Abs. 4 Nr. 5 BNatSchG sollte im Grundsatz auf alle Flächen ausgedehnt werden. Nur dadurch kann dem Nutzungsdruck durch NaWaRo entgegengewirkt werden. Zwar ist im Rahmen des Cross Compliance festgelegt, dass nur 10% des Grünlands umgebrochen werden dürfen, Grünlandumbruch sollte aber auch hier verboten werden, weil Grünlandumbruch zu erheblichen Nitratausträgen führt. Allerdings können die Landwirte auf die Förderung verzichten und sind dann auch nicht mehr an die Verpflichtungen im Rahmen des Cross Compliance gebunden. Ausnahmsweise kann der Umbruch von Grünland erlaubt werden. Dies sollte aber nur mit

Zustimmung der Naturschutz- und Landwirtschaftsbehörden möglich sein. Insofern ist das BNatSchG zu ergänzen.

4) Gefahrenabwehr nach BBodSchG

Den vorsorgenden rechtlichen Regelungen durch die Konkretisierung und den Vollzug der guten fachlichen Praxis und dem Verbot des Grünlandumbruchs müssen geeignete Maßnahmen der Gefahrenabwehr zur Seite stehen.

Obwohl das BBodSchG auch insoweit die Land- und Forstwirtschaft privilegiert, sind die Regelungen doch ausreichend. Denn sie ermöglichen, beim Entstehen schädlicher Bodenveränderungen grundsätzlich die Inpflichtnahme der Land- und Forstwirte.

5) Erweiterung des Umweltschadensbegriff nach USchG: Keine Kostenfreistellung

Ergänzungsbedürftig ist hingegen das USchG. Schon der Begriff des Umweltschadens ist zu eng, um eine präventive Wirkung entfalten zu können. Die zusätzliche Voraussetzung, dass Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen zugleich eine Gefahr für die menschliche Gesundheit verursachen müssen, ist also zu streichen. Auch sollte der Begriff der beruflichen Tätigkeit auf den Anbau von NaWaRo erstreckt werden.

Eine generelle Kostenfreistellung der Landwirtschaft für die Sanierung von Umweltschäden lehnt die KBU ab.

6) Ergänzung des Abfallrechts mit Blick auf die Wiederverwertung der Reststoffe

Beim Einsatz der Reststoffe aus der energetischen Verwertung von NaWaRo als Düngemittel sollte hinsichtlich des Eintrags von Schadstoffen eine Frachtenbetrachtung erfolgen. Denn so lässt sich sicherstellen, dass keine Anreicherung von Schadstoffen im Boden stattfindet. Ferner sollte der Stickstoffeintrag auch aus Reststoffen von NaWaRo bei der zulässigen Höchstgrenze von 170 kg pro Hektar und Jahr in der Düngeverordnung berücksichtigt werden. Anderenfalls kann es zu erheblichen Austrägen von Stickstoff in Gewässer und Luft kommen.

7) Internationale Regelungen

Ab einem bestimmten weltweiten Nutzungsvolumen ist davon auszugehen, dass der Anbau von NaWaRo überwiegend außerhalb der EU erfolgen wird. Hier ist auch die EU in der Pflicht, durch die Vereinbarung internationaler Produktionsstandards für den Anbau von NaWaRo sicherzustellen, dass keine nachteiligen Wirkungen auf Umwelt und Böden (und nicht zuletzt auch auf die Nahrungsmittelversorgung) in Drittstaaten entstehen. Neben den erwähnten Produktionsstandards kommen auch international verbindliche Zertifizierungssysteme in Betracht, die bei Nichteinhaltung zu Importverboten berechtigten sollten. Mit

der - allerdings deutlich stärker zu konkretisierenden - Nachhaltigkeitsverordnung soll nunmehr zumindest mit einem nationalen Zertifizierungssystem sichergestellt werden, dass auch beim Anbau von Biomasse im Ausland umweltschutzbezogene Mindestanforderungen beachtet werden. Welthandelsrechtlich sollte dies entsprechend abgesichert werden, ggf. durch Integration einschlägiger Umweltstandards in das WTO-Vertragswerk, wobei auch Border Tax Adjustments in Betracht kommen, falls sich kein internationaler Konsens zu Anbaustandards erzielen lassen sollte. Zu dieser Gesamtbeurteilung der Bioenergie-Regulierung sowie besonders zu ihrer internationalen Seite siehe Ekardt und Richter (2007) sowie Ekardt und Neumann (2008).

Ein besonders wirksamer Bodenschutz geht zuletzt auch von allen die Energieeffizienz fördernden Maßnahmen (sowohl national als global) aus. Denn die Zielkonflikte bei der stofflichen und energetischen NaWaRo-Nutzung hängen zu einem wesentlichen Teil auch davon ab, in welchen Mengen NaWaRo überhaupt benötigt werden.

3.6 Forschung initiieren und Entwicklung befördern

Die Kommission empfiehlt:

Die Umweltverträglichkeit des Anbaus und der Verwertung von NaWaRo in den verschiedenen Bodennutzungssystemen ist umfassend zu evaluieren.

Die bessere Abstimmung von Forschung zu Entwicklungstendenzen, Problemen und Wirkungen der Produktion von NaWaRo auf die Umweltmedien - speziell auf die Böden - ist zwischen Auftraggebern und Forschungseinrichtungen, sowohl in Deutschland als auch innerhalb der Europäischen Union unverzichtbar.

Die Forschungsbereiche sollten innerhalb eines Förderschwerpunktes des Bundesbildungs- und Forschungsministeriums (BMBF) in Abstimmung mit dem Bundesumweltministerium (BMU) und dem Bundesernährungsministerium (BMELV) gebündelt werden. Im Interesse einer effektiven sowie effizienten Forschung und Entwicklung sollten diese Bundesressorts die Einrichtung eines besonderen Schwerpunktes „NaWaRo und Bodenschutz“ (NaWaRo-Bo) prüfen.

Der Anbau von NaWaRo gewinnt vor dem Hintergrund knapper werdender natürlicher Ressourcen und energiepolitischer Ziele der Bundesregierung, besonders des Kabinettsbeschlusses am 5.12.07 (Energie- und Klimapaket der Bundesregierung, 2007) sowie den Vorgaben der EU zum Beitrag erneuerbarer Energien vom 23.1.2008 an Bedeutung. Neben Innovationen bei der Technikentwicklung im Bereich der Verwertungslinien (BtL) wurden Entwicklungspotenziale bei der Produktion und Verwertung sowie der Nutzung dabei entstehender Abfälle identifiziert.

Für die nachhaltige Nutzung erneuerbarer Energien ist die Bewertung der Chancen und Risiken des verstärkten Anbaus von NaWaRo von Bedeutung. Dabei ist die gesamte Wertschöpfungskette zu betrachten.

Auf der Basis dieser Empfehlungen sieht die KBU insbesondere in folgenden Bereichen Forschungsbedarf:

Weiterentwicklung und Prüfung neuer Landnutzungssysteme

Die Weiterentwicklung bewährter und die Prüfung neuer Landnutzungssysteme beziehen sich auf die Fruchtfolgegestaltung in agrarischen Landnutzungssystemen, auf Agroforstsysteme (siehe Exkurs 6) und auf die Nutzung von Siedlungsbrachen - inklusive Industriebrachen.

Die energetische Nutzung stellt geringere Ansprüche an die Qualität der Ernteprodukte als die Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Bei der Auswahl der Pflanzenarten und -sorten, der Fruchtfolgegestaltung sowie der neuen Bodennutzungssysteme generell können z.B. phytosanitäre Aspekte und Belange des Bodenschutzes stärker in den Vordergrund rücken. Daher sind neue Kulturarten, Fruchtfolgen und Bodennutzungssysteme auf ihre Eignung als NaWaRo und ihre Wirkungen auf Boden, Luft, Wasser und Naturschutz zu erproben.

Neben Pflanzenarten - wie Chinaschilf sowie Pappeln oder Weiden als Kurzumtriebsplantagen (KUP) – lassen sich auch Agroforstsysteme (siehe Exkurs 6) etablieren.

Exkurs 6: Agroforstsysteme sind Mischanbausysteme mehrjähriger, verholzender Pflanzen mit einjährigen Kulturpflanzen und/oder Wiesen oder Weideflächen mit Nutztieren. Sie sind in ökologischer und ökonomischer Hinsicht multifunktional und haben das Potenzial, mehrere der heutigen Landnutzungsansprüche in Mitteleuropa gleichzeitig zu realisieren. In den Tropen und Subtropen sind Agroforstsysteme weit verbreitet. Je nach Standort und Ziel haben sich sehr unterschiedliche Formen entwickelt, welche seit mehr als 30 Jahren wissenschaftlich untersucht werden (z.B. Breman und Kessler 1995, Nair 1993, Ong 1996, Wallace 1996, Young 1997).

Im Vergleich zu herkömmlichen Landnutzungsformen sind unter tropischen und subtropischen Klimabedingungen in Agroforstsystemen mit optimaler Nutzung der standörtlichen Wachstumsfaktoren Wasser, Nährstoffe und Licht nachhaltig sicherere oder sogar höhere Erträge als mit konventionellen Bewirtschaftungsansätzen erreichbar (Cannell et al. 1996, Van Noordwijk et al 1998, Ong 1996, Huxley 1996, Brenner 1995, Schroth 1999). Besonders hervorzuheben sind Vorteilswirkungen von Baumkomponenten für die Biodiversität (Schroth et al., 2004), das Mikroklima (Heisler und Dewall 1988, Kort 1988, Ong and Sinclair 1997) und die Bodenfruchtbarkeit, z.B. durch verbesserten Erosionsschutz, Erhaltung und Mehrung der organischen Bodensubstanz (Young 1997, Kiepe 1995, Banzhaff 1988, McNaughton 1988, Friday and Fownes 2001, Schroth 1994) sowie der Umverteilung der Nährstoffe aus tieferen Bodenschichten über die Blattstreu (Swamy et al. 2006, Pinto et al. 2005, Powell and Bork 2004, Muthuri et al. 2005). Dies sind Faktoren, die sich positiv auf die Entwicklung des Gesamtertrags auswirken können.

Bisherige Anbauformen sehen - abgesehen von tradierten Systemen wie der Kombination von Wiesen und Weidenutzung mit dem Obstbau (Hochstämme) - eine strikte Trennung landwirtschaftlicher und gartenbaulicher/forstlicher Kulturen zeitgleich auf der Fläche vor. Die Kombination kann jedoch sehr positive Wirkungen auf die Bodenqualität haben. Weitere Forschung muss Optimierungspotenziale für Mitteleuropa ausloten. Bisher fehlen Ergebnisse für flächenhafte und landschaftsrelevante Bilanzierungen und daraus resultierende Aussagen.

Brachflächen nutzen

Um die Potenziale des Anbaus der NaWaRo auf Brachflächen zu schätzen, sind Brachenkataster erforderlich, welche neben Angaben zu Art und Ausmaß möglicher Kontaminationen auch Daten zu standortkundlichen Parametern - wie Exposition, Hangneigung, Körnung, Durchwurzelbarkeit, Mächtigkeit, Grund- und Stauwassereinfluss und Überreste ehemaliger Grundmauern, historische und geplante Nutzungen - enthalten. Falls Brachflächen als Anbaustandort für NaWaRo genutzt werden sollen, wären Fragen der Schadstoffaufnahme durch die Pflanzen (Phytoremediation⁸) und eine gesonderte Behandlung der Rückstände der NaWaRo-Nutzung zu berücksichtigen.

Wirkungen des Anbaus biogener Rohstoffe auf die standörtliche Bodenqualität

Die standörtliche Bodenqualität ist ein Produkt des Bodensubstrates, des Klimas und der jeweiligen Nutzung. Insofern ändern sich die Qualität der Böden und - damit verbunden - die Bodenfunktionen als Folge des Bodennutzungssystems. Dies gilt im Besonderen für einen Nutzungswechsel von einjährigen zu mehrjährigen Kulturen. Über die Folgen einer erneuten Umnutzung zurück zu üblichen Fruchtfolgen liegen nur unzureichende Erkenntnisse vor. Insoweit sind Fragen sowohl hinsichtlich bodenphysikalischer Beeinträchtigungen (Wurzelstöcke, Rhizome) als auch bodenchemischer Beeinflussungen (Versauerung) zu klären. Auch eine Intensivierung des bisherigen Anbaus und der damit verstärkte Produktionsmitteleinsatz können sich absehbar negativ auf die Bodenfunktionen und benachbarte Schutzgüter (Grundwasser) auswirken. Auswertungen dazu liegen bislang nicht in ausreichendem Maße vor. Darauf aufbauend sind Kriterien für eine gfP beim Anbau von NaWaRo zu entwickeln. Verbesserte Prozesssteuerungen für Biogasanlagen sind zu entwickeln. Sie könnten die Zugabe von basischen Stoffen (meist Kalk) zur Aufrechterhaltung der Methanbildung unnötig machen um so den pH-Wert der Gärreste nicht unnötig zu erhöhen. Ebenso sind neue Techniken der Vorbehandlung und der Ausbringung der Gärreste aus Biogasanlagen, die eine Ausgasung von Ammoniak weitgehend verhindern, zu entwickeln und zu erproben.

Potenzial des Anbaus der NaWaRo für die C-Sequestrierung in Böden

Bisher fehlen hinreichende Kenntnisse zu Wirkungen von Gärresten aus Biogasanlagen auf Bodenorganismen und Humusgehalt. Humusbilanzen lieferten widersprüchliche Ergebnisse. Da Änderungen des Humusgehaltes standortabhängig sind und u. a. wegen der räumlichen Heterogenität im Boden erst nach Jahren statistisch signifikant erfassbar sind, müssen für diese Fragestellung Dauerversuche in typischen Agrarlandschaften Deutschland angelegt oder bestehende umgewidmet werden. Die Messparameter müssen auch ein Monitoring der Menge und Aktivität von Bodenorganismen, sowie von diesen und dem Humusgehalt maßgeblich beeinflusster Bodenfunktionen umfassen.

Erste Untersuchungen zeigen, dass der Anbau von Gehölzen zu einer effizienten Kohlenstoffsequestrierung führen kann (Strähle et al., 2007; Schneider et al., 2006; Kahle et al., 2005). Die tatsächlichen quantitativen, langfristigen Speicherpotenziale sind aber ebenso zu ermitteln wie die Verlustraten, falls solche mit Gehölzpflanzungen genutzte Flächen wieder ackerbaulich genutzt werden sollten. Auch die Freisetzung anderer klimarelevanter Gase - wie N_2O - sowie die zu erwartenden, erhöhten Methanabbauraten in KUP mit geringem Düngungsniveau sind noch zu untersuchen. Die Bewertung der Abbauraten könnte die Klimabilanz von KUP weiter verbessern.

Bei Agroforstsystemen wird deutlich, dass vor allem die Baumkomponente zur Steigerung der C-Gehalte im Boden beiträgt und damit die flächenhafte Etablierung der Agroforstsysteme einen wesentlichen Beitrag für die Humusvorratsbil-

dung des Bodens leisten kann. In weiterführenden Untersuchungen ist zu prüfen, ob mit dem kontinuierlichen Eintrag der Baumstreu in die landwirtschaftlichen Ackerstreifen mittel- bis langfristig eine Steigerung des Humusvorrats möglich ist.

Umsatz und Verbleib der Pflanzenrückstände, speziell bei Einführung neuer Sorten und bei Pflanzen mit neuartigen Eigenschaften („Grüne Gentechnik“)

Für die energetische Nutzung sind hohe Erträge erwünscht. Insofern ist künftig der Anbau solcher Pflanzen denkbar, die - gegenüber den bislang verfügbaren Arten und Sorten - ein noch höheres Massenwachstum haben. Im weltweiten Anbau spielen solche Pflanzen bislang nur eine eingeschränkte Rolle. Eine Ausdehnung für die Erzeugung industrieller Rohstoffe ist bei gegebenen Marktpotential absehbar (TAB, 2005 & 2007).

Gentechnisch veränderte Pflanzen werden weltweit seit etwa 10 Jahren kommerziell angebaut. Die größten Anbauflächen befinden sich derzeit außerhalb Europas. Vor dem Hintergrund eines großen Bedarfs an NaWaRo - könnte eine Ausweitung des Anbaus gefordert werden. Erkenntnisse über den möglichen Ferntransport veränderter Gene in Form von Pollen oder Samen und Schädigungen der Bodenfauna durch Pollenflug, Erntegut und Pflanzenrückstände liegen bisher nur unzureichend vor (Zwahlen et al., 2003; Vercesi et al., 2006). Generell bestehen dieselben Bedenken, die auch für die bisher bekannten Bodennutzungssysteme gelten. Diese Vorbehalte gegenüber dem Einsatz gentechnisch veränderter Organismen im Zusammenhang mit NaWaRo außer Acht zu lassen, erhöhte das Risiko einer Gefährdung des Gesamtkonzeptes in ähnlicher Weise, wie dies bei Einführung gentechnisch veränderter herbizid- und insektenresistenter Ackerkulturen der Fall war.

Wirkungen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf die Biodiversität

Neben der oberirdischen Biodiversität in Flora und Fauna (geplante und assoziierte Biodiversität) ist der assoziierten Biodiversität im Boden in Abhängigkeit vom Bodennutzungssystem mehr Aufmerksamkeit zu widmen. Der Verlust der Biodiversität in Böden ist zwar in der Europäischen Bodenschutzstrategie (KOM 2006 c) als eine der 8 Bodengefährdungen benannt worden, im Vorschlag zu einer Boden-Rahmenrichtlinie findet sich dazu aber kein Regelungsstatbestand. Stattdessen verweist die EU-Kommission auf weiteren Forschungsbedarf.

Die Biodiversität ist von der jeweiligen Nutzung des Standortes und der Vornutzung abhängig, angrenzende Biotope bestimmen die Neu- und Wiederbesiedlung. Es fehlen Kenntnisse zur Landschaftsbewertung bei einer Änderung der Nutzungssysteme. Die methodischen Grundlagen der Biodiversitätsforschung (Probenahme, relevante Organismengruppen, molekularbiologische Techniken, Klassifizierung) sind weitgehend vorhanden. Es fehlt bisher aber die gezielte Untersuchung und Bewertung der Biodiversität unterschiedlicher Nutzungssysteme.

Gerade bei Umstellung von einjährigen auf mehrjährige Kulturen ist mit Änderungen der Biodiversität zu rechnen. Hinsichtlich der Artenvielfalt bei KUP gibt es Ergebnisse, die auf eine hohe Biodiversität hinweisen, aber auch Befunde, die zu gegenläufigen Resultaten führen. Die KBU empfiehlt Untersuchungen zur Entwicklung der Biodiversität bei Umnutzung in relevanten Modellregionen. Darin einzuschließen sind Untersuchungen über die Größe der Schläge und die Auswirkungen von synchroner und asynchroner Bewirtschaftung benachbarter Schläge, weil zu vermuten ist, dass die typischen Lebensgemeinschaften unterschiedlicher Stadien der Rotation (z.B. Jahr nach der Ernte vs. voll entwickeltem Baumbestand) auf kleinen benachbarten Schlägen einfacher in den jeweils passenden Bestand einwandern können.

Wirkungen des Anbaus biogener Rohstoffe auf den Standort- und Landschaftswasserhaushalt

Die wachsenden Pflanzenbestände im landwirtschaftlichen und im forstlichen Bereich beeinflussen maßgeblich den Wasserhaushalt von Standort und Landschaft. Niederschlag, Evaporation³⁴, Transpiration³⁵ und Versickerung sind die entscheidenden Einflussgrößen. Soll die Produktion der NaWaRo-Biomasse auch unter sich ändernden Klimabedingungen zunehmen, sind die Aspekte „Wassernutzungseffizienz“ und „Wirkung auf den Landschaftswasserhaushalt“ in Forschung und Praxis vorrangig einzubeziehen. Die energiepolitischen Ziele müssen unter den realen standörtlichen Bedingungen des Naturhaushalts individuell überprüft werden.

Entwicklung nachhaltiger Entsorgungskonzepte für Abfälle und Abwässer aus Anlagen, die biogene Rohstoffe nutzen

Bisherige Konzepte zur Nutzung von Biomasse berücksichtigen nur unzureichend die Anforderungen an eine ordnungsgemäße und schadlose Entsorgung der Rückstände der verschiedenen Produktionen. Grundsätzlich sind Nährstoffkreisläufe zu schließen und Schadstoffkreisläufe zu unterbrechen. Für die Erhaltung einer hohen Bodenqualität sind betriebliche und regionale Bilanzen als Entscheidungsgrundlage für den Umgang mit den Abfällen aufzustellen.

Der zunehmende Einsatz von organischen Reststoffen als Düngemittel (Gärreste aus Biogasanlagen und Schlempen der Bioethanolgewinnung) kann zu einer Zunahme einer schwierig zu kalkulierenden Stickstoffmineralisierung im Boden führen. Bisherige Düngungskonzepte orientieren sich nahezu ausschließlich am, aus diesen Düngemitteln schnell verfügbaren mineralischem Stickstoff. Um eine Zunahme der Stickstoffbilanzüberschüsse und damit unweigerlich ansteigende

³⁴Verdunstung von der Bodenoberfläche

³⁵Verdunstung aus der lebenden Pflanzenmasse

schädliche Stickstoffverluste durch Denitrifikation³⁶ und Nitratauswaschung zu vermeiden, müssen pflanzenbauliche Strategien und Düngungskonzepte entwickelt und erprobt werden, die eine optimale Ausnutzung dieser langsam fließenden Stickstoffquellen durch den Pflanzenbestand ermöglichen.

Ermittlung für den Anbau nachwachsender Rohstoffe geeigneter Bodenpotenziale außerhalb Deutschlands

Wegen des hohen Bedarfes an Biomasse ist absehbar, dass die Böden innerhalb Deutschlands nicht für die Lebens- und Futtermittelproduktion auf der einen Seite und für die Anforderungen des Anbaus von NaWaRo auf der anderen Seite ausreichen. Weltweit finden sich indessen große Flächen nicht oder nur eingeschränkt genutzter Böden. Die FAO sollte Forschungsprogramme initiieren, die mittels moderner Verfahren, z.B. der Fernerkundung, gut geeignete Standorte ermitteln und Konzepte für eine effizientere Nutzung und ggf. Sanierung erarbeiten.

Dabei ist durch Ökobilanzierungen (*lifecycle assessment*) sicherzustellen, dass der Import von Biomasse nicht zu Lasten des Klimas oder negativen Auswirkungen in anderen Umweltwirkungsbereichen, der Gesundheit und Ernährungslage in den Produktionsländern geht. Zertifikate, die den Anbau der NaWaRo auf hierfür gerodeten Urwaldflächen ausschließen, können allein nicht sicherstellen, dass dann nicht - flächensubstituierend – andernorts z. B. Urwälder für die Lebensmittelerzeugung gerodet werden. Möglicherweise könnte der Import von Biomasse an den Nachweis der Ursprungsländer gekoppelt werden, dass keine weitere Rodung von Wäldern stattfindet.

Gesetzliche Vorgaben für eine Zertifizierung finden sich im Biokraftstoffquotengesetz³⁷. Dieses ermächtigt die Bundesregierung gemäß § 37d Abs. 2 Nr. 3 vorzuschreiben, Biokraftstoffe nur dann auf die Quote anzurechnen, „wenn bei der Erzeugung der eingesetzten Biomasse nachweislich bestimmte Anforderungen an eine nachhaltige Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen oder bestimmte Anforderungen zum Schutz der natürlichen Lebensräume erfüllt werden oder wenn Biokraftstoffe ein bestimmtes CO₂- Verminderungspotenzial aufweisen“.

Eine Arbeitsgruppe unter der Federführung des BMU und mit Beteiligung des BMELV, des UBA, der FAL, der FNR, des IFEU-Instituts für Energie- und Umweltforschung (IFEU, 2007) sowie des Öko-Instituts hat die fachlichen Grundlagen für diese Nachhaltigkeitsverordnung erarbeitet. Demnach soll jeder in den Verkehr zu bringende Biokraftstoff auf der Basis von Treibhausgasbilanzen über die

³⁶ Umwandlung von Nitrat in N₂ und N₂O durch Mikroorganismen unter Sauerstoffmangel in Böden oder Grundwässern

³⁷ Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundesimmissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften (BiokraftstoffQuG) vom 18. Dezember 2006, Bundesgesetzblatt Jhrg. 2006, Teil I, Nr. 62

gesamte Produktionskette zertifiziert werden. Um die Bilanzierung für die Produzenten zu vereinfachen, ist die Erarbeitung von Durchschnittswerten (Default-Werten) für die Treibhausgasminde rung der verschiedenen Biokraftstoffe, die der Biokraftstoff mindestens einhalten muss, um auf die Quote anrechenbar zu sein, vorgesehen. Die Effekte der Landnutzungsänderungen lassen sich hierbei durch quantitative Betrachtung (besonders der Klimagasbilanzen) berücksichtigen.

Dies ist ein erster Ansatz, der aber zu erweitern ist, um die Beeinträchtigung der Bodenfunktionen an den betreffenden Standorten mit berücksichtigen zu können.

Weiterentwicklung der vorhandenen Rechtsgrundlagen und Instrumente

Die Rechtsgrundlagen sollten in Bezug auf ihre Verträglichkeit mit den in unterschiedliche Richtungen weisenden Zielen der Energie-, aber eben auch der sonstigen Umweltpolitik überprüft und weiterentwickelt werden. Dies gilt für die energetische wie auch für die stoffliche NaWaRo-Nutzung und schließt auch die Frage nach dem Verhältnis von NaWaRo-Nutzung und Effizienzmaßnahmen ein.

Umwelt- und umweltrechtspolitische Entwicklung im internationalen Kontext

Der Energiepflanzenanbau (ebenso wie die NaWaRo-Veredelung und -Verwertung) sollte auf die Möglichkeit einer internationalen Regulierung einschließlich einer Einpassung in das WTO-Recht befragt werden. Dies betrifft sowohl die Frage nach der Einpassung gemeinsamer internationaler Standards in den globalen Freihandel als auch die Frage nach der welthandelsrechtlichen Möglichkeit unilateraler Maßnahmen, falls es zu keinem internationalen Konsens kommen sollte. Auch rechtsvergleichende Untersuchungen - unter Einbezug von Ländern außerhalb der EU - lassen hilfreiche Erkenntnisse für die europäische und die deutsche Rechtsentwicklung erwarten.

Harmonisierung zwischen ökologischer und ökonomischer Entwicklung

Übergreifende Fragen sind der Zusammenhang zwischen den Leitzielen der nachhaltigen Entwicklung und den langfristigen Perspektiven der Harmonisierung der ökologischen mit der ökonomischen Entwicklung. Dazu sind Forschungsfragen zu formulieren, die über den häufig mittelfristigen und punktuellen Horizont der laufenden Forschungsprogramme hinausgehen.

4 LITERATUR

- AG Energiebilanzen (2007): <http://www.ag-energiebilanzen.de/> Zugriff 23.10.07.
- AGRA-EUROPE (2007): Energiepflanzenprämie um fast 30 % gekürzt. AGRA-EUROPE 43/07, 22.10.2007, EUROPA-NACHRICHTEN S. 6/7.
- Ahl, C., Lange, M. und Henke, S. (2007): Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus zur Biogaserzeugung auf die Humuswirtschaft. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 110: 665-666.
- Alexandrovskiy, A.L. (2007): Rates of soil-forming processes in three main models of pedogenesis. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24: 283-292.
- Bahrs, E. und Held, J.-H. (2007): Steigende Nachfrage auf den Energie- und Agrarrohstoffmärkten – Konsequenzen für die niedersächsische Landwirtschaft, die Bodenmärkte und die Agrarpolitik. Konsequenzen des Biomasseanbaus zur Energieproduktion auf die niedersächsische Landwirtschaft – eine partielle Analyse bedeutender Fragestellungen. Studie gefördert vom Nieders. Min. f. ländl. Räume, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Hannover 2007 (http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C34466941_L20.pdf)
- Banzhaff, J. (1988): Auswirkungen von Windschutzstreifen aus Brachlandvegetation auf Wachstum und Ertragsbildung von Perlhirse (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) und Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) im südlichen Sahel Westafrikas. PhD. Thesis, Universität Hohenheim, Hohenheim, Deutschland.
- bioSicherheit (2007): Mehr Rapsanbau durch Biodiesel <http://www.biosicherheit.de/de/raps/landwirtschaft/50.doku.html> zugriff 23.10.07
- BMELV (2006): Die EU-Agrarreform – Umsetzung in Deutschland. BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz), Berlin.
- BMU (2007a): Leitstudie 2007 “Ausbaustrategie Erneuerbare Energien - Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050”, Berlin.
- BMU (2007b) Erneuerbare Energie in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung – Stand Juni 2007.
- BMU (2007c): Erfahrungsbericht 2007 zum Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) gemäß § 20 EEG, S. 199.
- BMWi (2006): Nationale und internationale Entwicklung, Abschnitt 4, Energieträger. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Brandhuber, R. (2006): Bodenbelastung durch Landmaschinen - Wirkungsmechanismen und Risikobeurteilung. In: Ackerbau vor neuen Herausforderungen. Tagungsband der Landtechnischen Jahrestagung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Schriftenreihe Bd. 21.
- Breman, H. und Kessler J.J. (1995): Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions. *Advanced Series in Agricultural Sciences* 23. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

- Brenner, A. J., Jarvis, P.G. and van den Beldt R.J. (1995): Windbreak-crop interactions in the Sahel. 2. Growth responses of millet in shelter. *Agric. For. Meteorol.* 75: 235-262.
- Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung.
- Bundesregierung (2007): Das Energie- und Klimapaket der Bundesregierung, beschlossen am 5.12.07 unter <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2007/12/Anlagen/2007-12-05-integriertes-energie-und-klimaprogramm.property=publicationFile.pdf>; Zugriff 24.1.08
- Burger, F. (2006): Zur Ökologie von Energiewäldern. In: Deutscher Rat für Landespflege (DRL) "Stellungnahme - Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft" Schriftenreihe des LRL, Heft 79, Meckenheim. Seiten 74-80.
- Butterbach-Bahl, K., Kesik, M., Miehle, P., Papen, H. and Li, C. (2004): Quantifying the regional source strength of N-trace gases across agricultural and forest ecosystems with process based models. *Plant and Soil* 260: 311-329.
- Byrne, K.A., Chojnicki, B., Christensen, T.R., Drösler, M. and Freibauer, A. (2004): EU peatlands: Current carbon stocks and trace gas fluxes. CarboEurope-GHG Concerted Action - Synthesis of the European Greenhouse Gas Budget, Report 4/2004, Specific Study, Tipo-Lito Recchioni, Viterbo, October 2004, ISSN 1723-2236.
- Cannell, M.G.R., van Noordwijk, M., and Ong, C.K., (1996): The central agroforestry hypothesis: the tree must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. *Agroforestry systems* 34: 27-31.
- Deimling, S., Kaltschmitt, M., Schneider, B., Rösch, C., Jahraus, B., Heinrich, P., Hartmann, H., Lewandowski, I., Siegle, V., Spliethoff, H. und Obernberger, I. (2000): Leitfaden Bioenergie.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow.
- DRL (2006): Stellungnahme - Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft. Deutscher Rat für Landespflege. Schriftenreihe des LRL, Heft 79, Meckenheim.
- DLR (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Arbeitsgemeinschaft DLR/IFEU/WI.
- Döhler, H. und Schultheiss, U. (1994): Grundwasserschonender Einsatz v. Wirtschaftsdüngern. In: Döhler, H. & U. Schultheiss (Hrsg.) Strategien zur Verminderung d. Nitratauswaschung in Wasserschutzgebieten. KTBL Arbeitspapier 206. Darmstadt.
- Dürr, H.-J., Petelkau, H. und Sommer, C. (1995): Literaturstudie „Bodenverdichtung“. UBA-Texte 55/95.
- ECAF (1999): Konservierende Bodenbearbeitung in Europa: Umweltrelevante, ökonomische und EU-politische Perspektiven. European Conservation Agriculture Federation.

- EEA (1999): Environmental assessment report No. 2: Environment in the European Union at the turn of the century. European Environment Agency. Office for Official Publications of the European Community; Luxembourg.
- Ekardt, F. und Richter, S. (2007): Gezielter Anbau und Zukauf nachwachsender Rohstoffe – vergütungsfähig nach § 8 Abs. 2 EEG?, Zeitschrift für neues Energierecht 2007, S. 281-286. (download unter www.fe.u.uni-bremen.de)
- Ekardt, F. und Neumann, N. (2008): Liberalisierter Welthandel und Umweltschutz – Produktionsbezogene Handelsbeschränkungen und Border Tax Adjustments, Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht Heft 2; 2008 (download unter www.fe.u.uni-bremen.de)
- EU (2001): The European Sustainable Development Strategy 2001 http://ec.europa.eu/sustainable/sds2001/index_en.htm
- EU (2007a): Sustainable Europe <http://ec.europa.eu/environment/eusd/> (aufgerufen 22.10.2007).
- EU (2007b): Verordnung (EG) Nr. 1107/2007 des Rates vom 26. September 2007 zur Abweichung von der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe hinsichtlich der Flächenstilllegung für das Jahr 2008
- Europäische Kommission (2005a): Mitteilung der Kommission – Förderung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen, 7.12.2005, KOM(2005) 627 endgültig, Brüssel: Europäische Gemeinschaft.
- Europäische Kommission (2005b): Mitteilung der Kommission – Aktionsplan für Biomasse, 7.12.2005, KOM(2005) 628 endgültig, Brüssel: Europäische Gemeinschaft.
- Europäische Kommission (2006a): Mitteilung der Kommission Eine EU-Strategie für Biokraftstoffe, KOM(2006) 34 endgültig vom 8.2.2006, Brüssel: Europäische Gemeinschaft.
- Europäische Kommission (2006b): Grünbuch. Eine europäische Strategie für nachhaltige, wettbewerbsfähige und sichere Energie, KOM (2006) 105 endgültig vom 8.3.2006, Brüssel: Europäische Gemeinschaft.
- Europäische Kommission (2006c): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für den Bodenschutz und zur Änderung der Richtlinie 2004/35/EG, 22.9.2006, KOM(2006) 232 endgültig, Brüssel: Europäische Gemeinschaft.
- Europäische Kommission (2007a): Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament – Fahrplan für erneuerbare Energien – Erneuerbare Energien im 21. Jahrhundert: Größere Nachhaltigkeit in der Zukunft, 10.1.2007, KOM (2006) 848 endgültig, Brüssel: Europäische Gemeinschaft.
- Europäische Kommission (2007b): Mitteilung der Kommission an den Europäischen Rat und das Europäische Parlament – Eine Energiepolitik für Europa, 10.1.2007, KOM (2007) 0001 endgültig, Brüssel: Europäische Gemeinschaft.

- Europäische Kommission (2008): Climate Action: Deutschland - Informationsblatt Erneuerbare Energien. URL: http://ec.europa.eu/energy/climate_actions/doc/factsheets/2008_res_sheet_germany_de.pdf; Zugriff am 25.1.2008.
- Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2002): Beschluss Nr. 1600/2002/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juli 2002 über das sechste Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaft, Brüssel: Europäische Gemeinschaft.
- Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2006): Beschluss Nr. 1982/2006/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 über das Siebte Rahmenprogramm der Europäischen Gemeinschaft für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration (2007 bis 2013) – Erklärungen der Kommission, Amtsblatt Nr. L 412 vom 30/12/2006, S. 0001 – 0043.
- Eurostat (2007): Statistik kurz gefasst Landwirtschaft und Fischerei 86/2007.
- EWI/Prognos (2005): Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030, Energiewirtschaftliche Referenzprognose, Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. Berlin.
- EWSA (Europäischer Wirtschafts- und Sozialausschuss) (2006): Stellungnahme des Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschusses zum Thema „Nachwachsende Rohstoffe - Entwicklungsperspektiven für die stoffliche und energetische Nutzung“ (2006/C 110/10) – Amtsblatt Nr. C 110 vom 9.5.2006, S. 49-59, Brüssel: Europäische Gemeinschaft.
- FNR (2007a): Leitfaden Bioenergie – Datensammlung. 386 Seiten. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow.
- FNR (2007b): Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Anbauflächen in Deutschland in ha. <http://www.fnr.de/>.
- Friday, J.B. and Fownes, J.H. (2001): A simulation model for hedgerow light interception and growth. *Agricultural and Forest Meteorology* 108: 29-43.
- Frielinghaus, M., Brandhuber, R., Gullich, P. und Schmidt, W.-A. (2001): Vorsorge gegen Bodenerosion. In: Bachmann, G., Böken, H., Brandhuber, R., Breitschuh, G., Brunotte, J., Buchner, W., Däschner, W., Eisele, J., Frielinghaus, M., Gullich, P., Henke, W., Heyn, J., Jürgens, A., Künkel, K.-J., Schmidt, W.-A. und Sommer, C. (2001): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. Bonn (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL)).
- Fürst, C. and Makeschin, F. (2006): Comparison of Wood Ash, Rock Powder, and Fly Ash - a review, *Contributions to Forest Sciences*, Ulmer-Verlag, p. 63 – 81.
- Gäth, S. (1997): Methoden der Nährstoffbilanzierung und ihre Anwendung als Agrar-Umweltindikator. In: Diepenbrock, W. (Hrsg.): *Umweltverträgliche Pflanzenproduktion* S. 115-126. Zeller-Verlag, Osnabrück.
- Gericke, D., Pacholski, A. und Kage, H. (2007): NH₃-Emissionen bei der ackerbaulichen Nutzung von Gärrückständen aus Biogasanlagen. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 19: 280-281.

- Göhler, H. und Emmerling, C. (2007): Landwirtschaftliche Verwertung von Gärückständen aus NaWaRo-Biogasanlagen, Endbericht, Förder-Kennzeichen 22011201, gefördert durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR).
- Grass, R. und Scheffer, K. (2005): Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. *Natur und Landschaft* 80: 435-439.
- Grünewald, H., Wölleke, J., Schneider, U. und Hüttl, R.F. (2005): Alley Cropping als alternative Folgenutzung von Kippenstandorten. *Natur und Landschaft*: 80: 440-443.
- Gutser, R. (1998): Stickstoffumsatz, Lagerverhalten und optimale Verwertung von Schlempe auf landwirtschaftlichen Flächen. *Die Branntweinwirtschaft* 1: 1-6.
- Hartmann, H. und 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 (BML). – Institut und Bayrische Landesanstalt für Landtechnik der Technischen Universität München–Weihenstephan. Freising.
- Heilmann, B., Makeschin, F. und Rehfuess, K.-E. (1994): Vegetationskundliche Untersuchungen auf einer Schnellwuchsplantage mit Pappeln und Weiden nach Ackernutzung. *European J. Forest Research* 114: 16-29.
- Hennicke, P. und Supersberger, N. (Hrsg.) (2006): Krisenfaktor Öl. Abrüsten mit neuer Energie, München.
- Heisler, G.M. and Dewalle, D.R. (1988): Effects of windbreak structure on wind flow. *Agric, Ecosys. And Environ.* 22/23: 41- 69.
- Holzner, H. (2006): Aschen aus der Biomasseverbrennung - Charakteristik und Verwendungsmöglichkeiten. In: *Verwertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft*. KTBL-Schrift 444. S. 87-100.
- Hoffmann-Schielle, C., Jug, A., Makeschin, F. and Rehfuess, K.E. (1999): Short rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. I. Site-growth relationships. *Forest Ecol. Manag.* 121: 41-55.
- Huxley P. (1996): Biological factors affecting form and function in woody-non-woody plant mixtures. P. 235-298. In: Ong, C.K. and Huxley, P. (eds.), *Tree-crop interaction. A physiological approach*. CAB International, Wallingford, UK.
- IFEU (2006): Ökobilanzen zu BTL. Eine ökologische Einschätzung, Abschlußbericht für das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Heidelberg.
- IFEU (2007): Klimagasbilanzen zur Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Biomasseerzeugung und an Biokraftstoffe und deren Nachweis. 2. Entwurf. Default-Werte zum Anhang Teil 2. Heidelberg, August 2007. Laufendes Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes (FKZ 206 41 112, noch unveröffentlicht).

- IER (2000): Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart: Leitfaden Bioenergie, Hrsg. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.
- Jug, A., Hofmann-Schielle, C., Makeschin, F. and Rehfuss, K.E. (1999a): Short rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. II. Nutritional status and bioelement export by harvest of shoot axes. *Forest Ecol. Manag.* 121: 67-83.
- Jug, A., Makeschin, F., Hofmann-Schielle, C. and Rehfuss, K.E. (1999b): Short rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. III. Soil ecological effects. *Forest Ecol. Manag.* 121: 85-99.
- Jungkunst, H.F., A. Freibauer, H. Neufeldt and G. Bareth (2006): Nitrous oxide emissions from agricultural land use in Germany – a synthesis of available annual field Data. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169: 341-351.
- Kahle, P., Beuch, S., Boelke, B., Leinweber, P. and Schulten, H-R. (2001): Cropping of *Miscanthus* in Central Europe: biomass production and influence on nutrients and soil organic matter. *European Journal of Agronomy* 15: 171-184.
- Kahle, P., Baum, C. and Boelcke, B. (2005): Effect of afforestation on soil properties and mycorrhizal formation. *Pedosphere* 15: 754-760.
- Kaygorodov, R. (2004): Bilanzierung von Zink und Kupfer in ausgewählten Agrarökosystemen in Nordniedersachsen. Dissertation Universität Lüneburg, Fachbereich Umweltchemie.
- Kiepe, P. (1995): No runoff no soil loss: soil and water conservation in hedgerow barrier systems. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Kliem, K. (2007) Biokraftstoffe heute und morgen – europäische und deutsche Strategien (<http://www.pflanzenoel-kongress.de/wpcdata/File/Abstracts/Dr.%20Klaus%20Kliem%20Abstract.pdf>; Zugriff 23.10.07)
- Körschens, M. (Hrsg.) (2004): Humusbilanzierung - VDLUFA Standpunkt, Bonn.
- Kort, J. (1988): Benefits on windbreaks to field and forage crops. *Agric. Ecosys. Environ.* 22/23: 165 – 190.
- Leithold, G. und K.-J. Hülsbergen (1998): Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. *Ökologie und Landbau* 105: 32-35.
- Lewandowski, I., Scurlock, J. M. O., Lindvall, E. and Christou, M. (2003): The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy* 25: 335-361.
- Makeschin, F. (1999): Short rotation forestry in Europe. Introduction and conclusions. *Forest Ecol. Manag.* 121: 1-7.
- McNaughton, K.G. (1988): Effects of windbreaks on turbulent transport and microclimate. *Agri. Ecosys. Environ.* 22/23: 17-39.

- Mertens, M. (2006): Gutachten zu neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen hinsichtlich ökologischer und gesundheitlicher Risiken seit der EU-rechtlichen Zulassung der gentechnisch veränderten Maislinie MON810 im Jahr 1998. Erstellt im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis90/Die Grünen.
- Muthuri, C.W., Ong, C.K., Black, C.R., Ngumi, V.W. and Mati, B.M. (2005): Tree and crop productivity in Grevillea, Alnus and Paulownia-based agroforestry systems in semi-arid Kenya. *Forest Ecology and Management* 212: 23-39.
- Nair, P.K. (1993): An introduction to agroforestry. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands.
- Noger, D., Felber, H. und Pletscher, E. (1994): Zusatzanalysen zum Projekt HARVE. Untersuchungsbericht Nr. 22 '032 C, EMPA St. Gallen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), Bern, Schweiz.
- Noger, D., Felber, H. und Pletscher, E. (1995): Holzasche und Rückstände, deren Verwertung oder Entsorgung. Provisorische Fassung des Schlussberichtes zum Projekt HARVE, EMPA St. Gallen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), Bern, Schweiz.
- Obernberger, I. (1997): Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens aschebildender Elemente. Schriftenreihe Thermische Biomassenutzung, Band 1. dbv-Verlag für die technische Universität Graz. ISBN 3-7041-0241-5
- Öko-Institut (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Berlin.
- Ong, C.K. (1996): A framework for quantifying the various effects of tree-crop interactions. Pages 1 – 23. In: Ong, C.K., Huxley, P. (eds.) *Tree-Crop Interactions. A Physiological Approach*. CAB International, Wallingford, UK.
- Ong, C.K. and Sinclair, F.L. (1997): The need for a fundamental understanding of agroforestry systems. In: *Agroforestry for sustainable Land-use*. International workshop , 23-29 July 1997, Montpellier, France.
- Pinto LFG, Bernardes, M.S., Stape, J.L. and Pereira, A.R. (2005): Growth, yield and system performance simulation of a sugarcane-eucalyptus interface in a sub-tropical region of Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105: 77-86.
- Powell, G.W. und Bork, E.W. (2004): Above- and below-ground effects from alfalfa and marsh reedgrass on aspen seedlings. *Forest Ecology and Management* 199: 411-422.
- Pröbster, A. (1993): "Miscanthus Sin. Gig. und Energiepflanzenbau". Tagungsband zum Fachgespräch *Miscanthus C.A.R.M.E.N.* e.V., 95-122.
- Prochnow, A., Heiermann, M., Idler, C., Linke, B., Mähner, P. und Plöchl, M. (2007): *Biogas vom Grünland: Potenziale und Erträge*. Schriftenreihe des Deutschen Grünlandverbandes, Berlin, 1: 11-22.
- Regierungserklärung (2007): *Klimaaugenda 2020: Der Umbau der Industriegesellschaft*; Regierungserklärung am 26.04.2007
http://www.bmu.de/reden/bundesumweltminister_sigmar_gabriel/doc/39239.php

- Reinhardt, G. und Scheurlen, K. (2004): Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz.
- Regina, K. and Perälä, P. (2006): Ammonia and greenhouse gas emissions from pig slurry – the effect of slurry fermentation, separation of the fermentation product and application technique. In: Petersen, S. O. (Hrsg) 12th RAMIRAN International Conference: “Technology for recycling of manure and organic residues in a whole farm perspective”, Aarhus, Denmark, 2006. Seiten 241-244.
- Reiner, I., Lampert, C., Piterkova, M. und Brunner, P.H. (1996): Stoffbilanzen landwirtschaftlicher Böden von ausgewählten Betriebstypen bei Verwendung von Klärschlamm und Kompost. BKKB 2 – Endbericht im Auftrag des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung.
- Roschke, M. (2004): Bericht zur Überwachung des Inverkehrbringens von Düngemitteln 2003. Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Frankfurt (Oder).
- Sabine, C.S., Heimann, M., Artaxo, P., Bakker, D. Chen, C.-T. A., Field C. B., Gruber, N., Le Quere, C. Prinn R. G., Richey J. E., Romero-Lankao P., Sathaye J., Valentini R. (2004): Current Status and Past Trends of the Carbon Cycle In: Toward CO₂ Stabilization: Issues, Strategies, and Consequences (C. B. Field and M. R. Raupach, Hrsg.), Island Press.
- Sauer, D., Schüllli-Maurer, I., Sperstad, R., Sørensen, R. and Stahr, K. (2007): Podzol development with time in sandy beach deposits in southern Norway. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* (im Druck).
- Schlegel, S., Kraemer, R. A. und Schaffrin, D. (2005): Bodenschutz und nachwachsende Rohstoffe, Gutachten für die Kommission Bodenschutz des Umweltbundesamtes. Ecologic, Institut für Internationale und Europäische Umweltpolitik, Berlin.
- Scholz, V., Beier, W. und Ellerbrock, R. (1999): Umwelt- und technologiegerechter Anbau von Energiepflanzen. Forschungsberichte des Institut für Agrartechnik Bornim (ATB) 99/01.
- Scholz, V., Krüger, K. und Höhen, A. (2001): Vergleichende Untersuchungen zum umweltverträglichen und energieeffizienten Anbau von Energiepflanzen. *Archiv Acker- und Pflanzenbau* 47: 333-361.
- Schütz, H., Bringezu, S., von Geibler, J., Bienge, K, Kristof, K. Borlebach, P., Kabasci, S. und Michels, C. (2006): Optionen einer nachhaltigen Flächennutzung und Ressourcenschutzstrategien unter besonderer Berücksichtigung der nachhaltigen Versorgung mit nachwachsenden Rohstoffen. F+E-Vorhaben, Zwischenbericht vom 14.10.06. Wuppertal Institut.
- Schneider, B. U., Hüttel, R. F., Bannick, C. B., Repmann, F. und Grünewald, H. (2006): EU-Strategien zu Bodenschutz und Nachwachsenden Rohstoffen - Handlungsrahmen und Perspektive auf europäischer Ebene. In: Energiefruchtfolgen, Stoffkreisläufe, Bodenfruchtbarkeit : Tagungsband zur Fachver-

anstellung von ilu, BGK und VHE am 5. Oktober 2006 in Bonn, ISBN 3-986898-27-5, Seiten 15-29.

- Schroth, G. (1994): Above- and below-ground interactions in alley cropping with *Gliricidia sepium* as compared to conventional and mulched sole cropping on a high base status soil in the West African rainforest zone. Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK). [37], 1-175. Bayreuth. Bayreuther Bodenkundliche Berichte. Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK).
- Schroth, G. (1999): A review of belowground interactions in agroforestry, focusing on mechanisms and management options. *Agroforestry Systems* 43: 51-64.
- Schroth, G. et al. (eds.) (2004): *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Island Press, Washington.
- Sommer, C., Brandhuber, R., Brunotte, J. und Buchner, W. (2001): Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen. In: Bachmann, G., H. Böken, R. Brandhuber, G. Breitschuh, J. Brunotte, W. Buchner, W. Däschner, J. Eisele, Mo. Frielinghaus, P. Gullich, W. Henke, J. Heyn, A. Jürgens, K.-J. Künkel, W.-A. Schmidt & C. Sommer (2001): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. Bonn (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL).
- Siefke-Bremkens, J. (2006): Biomasse-Kraftwerk Sellessen - Erneuerbare Energien aus dem Tagebau. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 56(7): 17-18.
- SRU (2004): Umweltgutachten 2004 des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen. *Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern*. Nomos-Verlag, Baden-Baden.
- SRU (2005): Sondergutachten des Sachverständigenrats für Umweltfragen. *Umwelt und Straßenverkehr*. Nomos-Verlag, Baden-Baden.
- SRU (2007): Sondergutachten des Sachverständigenrats für Umweltfragen „Klimaschutz durch Biomasse“ Erich-Schmidt-Verlag, Berlin.
- Statistisches Bundesamt (2007a): Fachserie 3, Reihe 3.2.1.; Qualitätsbericht "Ernte- und Betriebsberichterstattung (EBE): Feldfrüchte und Grünland"; Qualitätsbericht "Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung (BEE)".
- Statistisches Bundesamt (2007b): Fachserie 3 Reihe 3.1.2: *Landwirtschaftliche Bodennutzung Anbau auf dem Ackerland Agrarstrukturhebung 2007*.
- Stolte, H. (2006): Energiepflanzenproduktion in Deutschland – Entwicklungen und Forschungsaktivitäten. In: *Energiepflanzen im Aufwind. Wissenschaftliche Ergebnisse und praktische Erfahrungen zur Produktion von Biogaspflanzen und Feldholz*. Fachtagung 12.-13.06.2007 in Potsdam. Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. Seiten 19-27.
- Strähle, M., Dominik, P., Scholz, V., Römisch, U. and Kaupenjohann, M. (2007): Soil carbon sequestration due to the forestation of arable land with short rotation willows and poplars. In: *Tagungsband des International Symposium on Organic Matter Dynamics in Agro-Ecosystems*. Poitiers, France, July 16-19.,

- Swamy, S.L., Mishra, A. and Puri, S. (2006): Comparison of growth, biomass and nutrient distribution in five promising clones of *Populus deltoides* under an agrisilviculture system. *Bioresource Technology* 97: 57-68.
- TAB (2005): Alternative Kulturpflanzen und Anbauverfahren. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. TAB-Arbeitsbericht Nr. 103.
- TAB (2007): Industrielle stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Arbeitsbericht Nr. 114.
- Thrän, D. (2006): Biogene Festbrennstoffe – Stand und Perspektiven der Erzeugung und Nutzung in Deutschland. In: *Energie aus Biomasse – weltwirtschaftliche, ressourcenökonomischer und produktionstechnische Perspektiven*. Tagung am 25. und 26. Oktober 2006 in der FAL. Seiten 41-45. DAF.
- Tobler, H. und Noger, N. (1993): Brennstoff und Holzverbrennungsrückstände von Altholzfeuerungen. 1. Teilbericht zum Projekt HARVE, EMPA St. Gallen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), Bern, Schweiz.
- UBA (2007a): Kohlendioxidausstoß 2006 leicht gestiegen. Presseinformation Nr. 16/2007. <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2007/pdf/pd07-016.pdf>
- UBA (2007b): Papier der Projektgruppe Biomasse des UBA (bislang unveröffentlicht)
- UBA (2007c): Kördel, W., Herrchen, M., Müller, J., Kratz, S., Fleckenstein, J., Schnug, E., Saring, Thomas, J., Haamann, H. und Reinhold, J.: Begrenzung von Schadstoffeinträgen bei Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft bei Düngung und Abfallverwertung. UBA-Texte 30/07.
- UN-Energy (2007): „Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers“. New York: United Nations. <http://esa.un.org/un-energy/pdf/susdev.Biofuels.FAO.pdf>
- Van Noordwijk, M., Hariah, K., Lusiana, B. and Cadisch, G., (1998): Tree-soil-crop interactions in sequential and simultaneous agroforestry systems. In: Bergstrom L., Kirchmann, H. (eds.). *Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems*. CAB International, Wallingford, Uk, p. 173-191.
- Vellinga TV, van den Pol-van Dasselaar A. and Kuikman PJ (2004): The impact of grassland ploughing on CO₂ and N₂O emissions in the Netherlands. *Nutrient Cycling In Agroecosystems* 70: 33-45.
- Vercesi M.L., Krogh P.H. and Holmstrup M. (2006): Can *Bacillus thuringiensis* (Bt) corn residues and Bt-corn plants affect life-history traits in the earthworm *Aporrectodea caliginosa*? *Applied Soil Ecology* 32: 180-187.
- Wallace, J.S. (1996): The water balance of mixed tree-crop systems. In: Ong, C.K. and Huxley, P. (Eds.): *Tree-Crop Interactions. A Physiological Approach*. CAB International pp.189-234.
- Werner, I. (1995): Umweltaspekte im Miscanthus-Anbau- Wurzeluntersuchungen, phytosanitäre Untersuchungen und Untersaaten. Schriftenreihe "Nach-

wachsende Rohstoffe” Band 4: “Symposium Miscanthus- Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung” am 6/7.12.94 in Dresden: Landwirtschaftsverlag, Münster ISBN 3-7843-2745-1; 87-101.

Wilcke, W. und Döhler, H. (1995): Schwermetalle in der Landwirtschaft. KTBL-Arbeitspapier 217, Darmstadt.

Willms, M., Hufnagel, J., Eulenstein, F., Wagner, B. und Vetter, A. (2007): Humus- und Stickstoffbilanzen beim Anbau von Energiepflanzen. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 110:635-636.

Wiesenthal, T., Mourelatou, A., Petersen, J. E. and Taylor, P. (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report No 7/2006. Copenhagen.

Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie (2006): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse, Band 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen, Endbericht, Wuppertal.

Young, A. (1997): Agroforestry for soil management. CAB International, pp 320.

Zwahlen, C.; Hilbeck, A., Howald, R. and Nentwig, W. (2003): Effects of transgenic Bt corn litter on the earthworm *Lumbricus terrestris*. *Molecular Ecology* 12: 1077–1086.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Nutzungsmöglichkeiten nachwachsender Rohstoffe	12
Abbildung 2:	Primärenergieverbrauch in Deutschland für das Jahr 2006 nach Energieträgern	17
Abbildung 3:	Bruttostromerzeugung in Deutschland für das Jahr 2006 (634 TWh) nach Energieträgern	17
Abbildung 4:	Zusammensetzung der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung 2006	18
Abbildung 5:	Anteile der verschiedenen Energieträger an der Wärmeerzeugung in Deutschland aus erneuerbaren Energien für das Jahr 2006	19
Abbildung 6:	Kraftstoffverbrauch in Deutschland 2006	19
Abbildung 7:	Anteile der erneuerbaren Energien an der Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2006	20

Abbildung 8:	Prognostiziertes Primärenergiepotenzial aus Bioenergie für Deutschland von 2010 bis 2030	21
Abbildung 9:	Regenerative Primärenergie im Szenario „NACHHALTIG“ für die Jahre 2000 bis 2030	21

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Energiepolitische Ziele der Bundesregierung bis zum Jahr 2050	15
Tabelle 2:	Schätzung des Flächenbedarfs zur Bereitstellung von 820 PJ Primärenergie pro Jahr aus Energiepflanzen am Beispiel von Kurzumtriebsholz und Getreideganzpflanzen	22
Tabelle 3:	Flächenpotenziale für den Energiepflanzenanbau in Deutschland aktueller Stand und Prognosen bis zum Jahr 2050.	24
Tabelle 4:	Schätzung der Gefährdungen durch unterschiedliche Kulturen nachwachsender Rohstoffe Synopsis aus mehreren Studien	37
Tabelle 5:	Jährlicher Verlust (-) oder Gewinn (+) an Humus-Kohlenstoff ($t\ C\ ha^{-1}\ a^{-1}$) verschiedener Kulturen, die als NaWaRo genutzt werden	40
Tabelle 6:	Qualitäten anfallender Abfälle	44
Tabelle 7:	Ascheanfall und Aschefraktionen bei der Verbrennung verschiedener Biomassen	45
Tabelle 8:	Spannbreite und Mittelwerte von Schwermetallgehalten in den verschiedenen Aschenfraktionen von unbehandeltem Holz	45
Tabelle 9:	Durchschnittliche Schwermetallgehalte in Grobaschegemischen nach Anfall in Abhängigkeit vom Brennstoff	46
Tabelle 10:	Mittelwerte von Nähr- und Schadstoffen für 23 flüssige Gärreste aus NaWaRo-Covergärung in Deutschland und Bioabfall-Komposten sowie Grenzwerte nach BioAbfV.	48

Kontakt:
Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06844 Dessau-Roßlau
Telefax: (0340) 21 03 22 85
E-Mail: info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de
Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100% Altpapier.
© 2008 Umweltbundesamt