

Projektgemeinschaft

Büro für Umwelt- und Regionalentwicklung

Odenwaldstraße 73

63785 Obernburg

Tel.: 06022 / 507355

Fax: 06022 / 507356

info@meyer-marquart.de

www.meyer-marquart.de

Ingenieurbüro Feldwisch

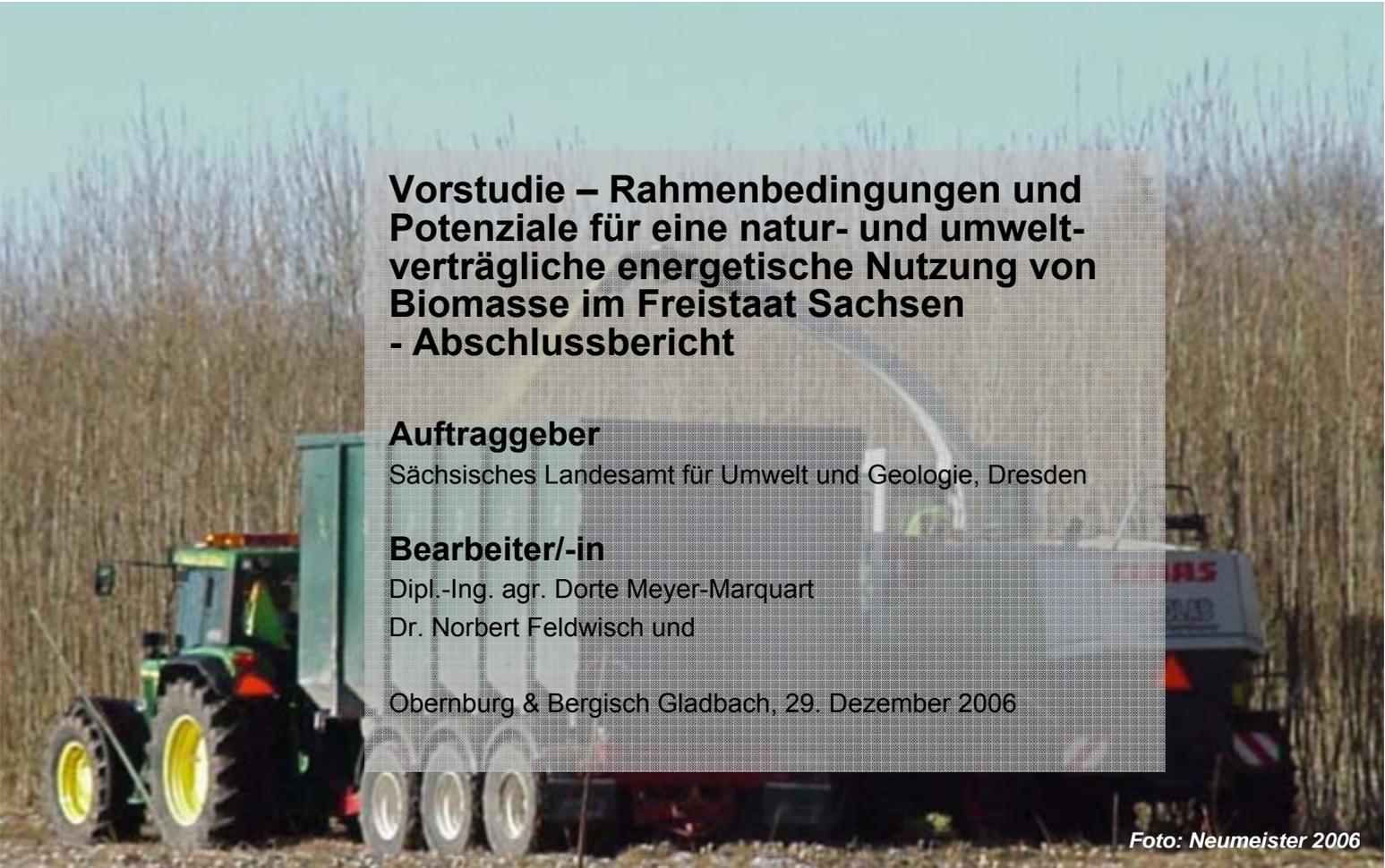
Hindenburgplatz 1

51429 Bergisch Gladbach

Tel.: 02204 / 4228-50

info@ingenieurbuero-feldwisch.de

www.ingenieurbuero-feldwisch.de



Vorstudie – Rahmenbedingungen und Potenziale für eine natur- und umwelt- verträgliche energetische Nutzung von Biomasse im Freistaat Sachsen - Abschlussbericht

Auftraggeber

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden

Bearbeiter/-in

Dipl.-Ing. agr. Dorte Meyer-Marquart

Dr. Norbert Feldwisch und

Obernburg & Bergisch Gladbach, 29. Dezember 2006

Foto: Neumeister 2006

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

vertreten durch das

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Referate 21 und 41

Entwurf des Abschlussberichtes:	29. Dezember 2006
Berichtszeitraum:	30.10.2006 – 29.12.2006
Seitenzahl:	269 (inkl. Titel-/Deckblatt)
Tabellen (Anzahl):	59
Abbildungen (Anzahl):	43
Dateiname:	LfUG_Biomasse_Abschlussbericht.doc

zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben:

„Vorstudie – Rahmenbedingungen und Potenziale für eine natur- und umweltverträgliche energetische Nutzung von Biomasse im Freistaat Sachsen“

Aktenzeichen: 13-8802.3529/42

von:

Autor/-in: Dipl.-Ing. Dorte Meyer-Marquart
Dr. Norbert Feldwisch
Dipl.-Geol. Thomas Lendvaczky

Durchführende Institution: BÜRO FÜR UMWELT- UND REGIONALENTWICKLUNG · Obernburg
Ingenieurbüro Feldwisch · Bergisch Gladbach

Projektleiterin: Dipl.-Ing. Dorte Meyer-Marquart

Datum
29. Dezember 2006

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Rahmenbedingungen für die heutige Entwicklung von Biomasse als Energielieferant	6
2.1	Energiepolitik	6
2.1.1	Zielsetzungen	6
2.1.2	Maßnahmen.....	11
2.2	Weitere politische Rahmenbedingungen	17
2.2.1	Klimaschutzpolitik	17
2.2.2	Agrarpolitik und Politik für den ländlichen Raum	19
2.2.3	Forstpolitik	22
2.2.4	Naturschutzpolitik	24
2.3	Ökonomische Rahmenbedingungen	25
2.4	Zwischenfazit	37
3	Stand des Anbaus und der energetischen Verwendung von Biomasse	39
3.1	Ist-Situation	39
3.2	Zwischenfazit	49
4	Potenziale von Biomasse	51
4.1	Technisches Energiepotenzial.....	52
4.2	Flächenpotenziale.....	57
4.3	Ökonomisches Energiepotenzial	61
4.4	Potenziale in Sachsen	62
4.5	Zwischenfazit	66
5	Aktuelle Positionen relevanter Akteure zur Biomassenutzung und Natur- und Umweltverträglichkeit	68
6	Umweltwirkungen der energetischen Nutzung pflanzlicher Biomasse	70
6.1	Nutzung holzartiger Biomasse der Forstwirtschaft und Landschaftspflege	70
6.2	Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse	77
6.2.1	Kraut- oder grasartige Biomasse	77
6.2.2	Holzartige Biomasse (Kurzumtriebsplantagen)	86

6.3	Rückstände aus der energetischen Biomassenutzung.....	123
6.3.1	Verwertung von Biogasgülle und weiteren Gärrückständen aus der Biogasproduktion.....	123
6.3.2	Ascheverwertung.....	130
6.4	Emissionen in die Atmosphäre.....	136
6.5	Landschaftsbild.....	145
6.5.1	Anlage und Nutzung von Gehölzstreifen zur Strukturanreicherung in der Landschaft.....	145
6.5.2	Agroforstsysteme.....	147
6.6	Anbau von Bioenergiepflanzen auf kontaminierten Böden – Phytoremediation und Phytostabilisierung.....	149
6.7	Zwischenfazit – Chancen und Risiken der energetischen Nutzung pflanzlicher Biomasse.....	159
7	Steuerungsinstrumente.....	165
7.1	Ordnungsrecht.....	165
7.2	Raumbezogene Planungsinstrumente.....	171
7.3	Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation.....	183
7.4	Ökonomische Anreizinstrumente.....	186
7.5	Zwischenfazit.....	196
8	Forschungsbedarf.....	199
9	Literaturverzeichnis.....	205
10	Anhang.....	226

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1–1:	Systematik energetisch nutzbarer Biomasse-----	5
Abb. 2–1:	Integrierter Klimaschutz in Sachsen (SMUL, o.J.)-----	19
Abb. 2–2:	Vorsichtige Preis-Prognosen der OECD (OECD/VON LAMPE 2006, zit. in: ZIMMER 2007)-----	27
Abb. 2–3:	Flächenproduktivität und Subventionsbedarf Bio-Energie (ZIEGENBEIN & ZIMMER 2006, zit. in: ZIMMER 2007)-----	29
Abb. 2–4:	Rentabilität der Investitionen bei verschiedenen Bioenergie-Pfaden (ZIEGENBEIN & ZIMMER 2007, zit. in: ZIMMER 2007)-----	29
Abb. 2–5:	Internationaler Kostenvergleich bei Bioethanol (WWI, FNR, GTZ 2006, zit. in: WIEGMANN & FRITSCHKE 2006) -----	30
Abb. 2–6:	Internationaler Kostenvergleich bei Biodiesel (WWI, FNR, GTZ 2006, zit. in: WIEGMANN & FRITSCHKE 2006) -----	31
Abb. 2–7:	CO ₂ -Vermeidungskosten (ZIMMER 2007, Folie 8) -----	35
Abb. 2–8:	Mittelfristige Beschäftigten- und Umsatzentwicklung in Sachsen im Sektor Erneuerbare Energien-----	37
Abb. 3–1:	Entwicklung der Anteile erneuerbarer Energien am Primärenergie- und Bruttostromverbrauch, Ziele der Bundesregierung und mögliche Entwicklung (BMU 2006a) 39	
Abb. 3–2:	Entwicklung der erneuerbaren Energien 2000 bis 2005 (BMU 2006a) (PEV = Primärenergieverbrauch, EEV = Endenergieverbrauch) -----	40
Abb. 3–3:	Entwicklung der Energiebereitstellung aus Biomasse von 1990 bis Ende 2005 (Daten aus: BMU 2006b; eigene Darstellung)-----	41
Abb. 3–4:	Entwicklung der Anbaufläche für Nachwachsende Rohstoffe in Deutschland 44	
Abb. 3–5:	Flächenverteilung nachwachsender Rohstoffe 2006 (Daten der FNR 2007; eigene Darstellung)-----	45
Abb. 3–6:	Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien in Sachsen (LfUG/EEZ 2006) 46	
Abb. 3–7:	Entwicklung, Stand der Nutzung und Zielstellungen erneuerbarer Energien (Strom und Wärme) in Sachsen (LfUG/EEZ 2006)-----	47
Abb. 3–8:	Erneuerbare Energieträger in Sachsen im Ziel-Ist-Vergleich (Daten aus: SMUL 2005, LFUG/EEZ 2006; ohne Geothermie) -----	48

Abb. 3–9: Entwicklung Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien in Sachsen (aus: SCHLEGEL 2006)-----	48
Abb. 3–10: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Sachsen (LfL 2005a, S. 7)-----	49
Abb. 4–1: Technische Energiepotenziale von Biomasse in Deutschland im Vergleich von verschiedenen Szenarien (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT et al. 2005, S. 171) 54	
Abb. 4–2: Technisches Energiepotenzial nutzbarer Biomasse-Reststoffe (ÖKO-INSTITUT et al. 2004, S. 198; eigene Darstellung)-----	55
Abb. 4–3: Energiepotenziale erneuerbarer Energieträger im Vergleich (ÖKO-INSTITUT et al. 2004, S. 210)-----	56
Abb. 4–4: Technische Potenziale Erneuerbarer Energien (Strom und Wärme) in Sachsen (aus: SCHLEGEL 2006)-----	63
Abb. 6–1: Brutvogeldichte am Rand (A) und im Innern (B) von Kurzumtriebplantagen (= SRC / Short Rotation Coppice) im Vergleich zu Ackerflächen (= control) über die vier Versuchsjahre (CUNNINGHAM et al. 2004)-----	88
Abb. 6–2: Auftreten von Vogelarten in Kurzumtriebsplantagen in Hessen in Abhängigkeit vom Plantagenalter (MULSOW 1998, S. 63) -----	90
Abb. 6–3: Entwicklung der Spinnenpopulation (Aktivitätsdichten) auf der Versuchsfläche Wöllershof der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; Anlage der Kurzumtriebsplantage 1992 (BURGER 2006)-----	91
Abb. 6–4: Ansicht der Feldstreifenanlage im zweiten Versuchsjahr am Standort Köllitsch (RÖHRICHT & RUSCHER 2004) -----	94
Abb. 6–5: Rodungsfräse (TRAUPMANN et al. 2004) -----	97
Abb. 6–6: Jährlicher Holz trockenmasseertrag in Abhängigkeit von der Baumart und Umtriebszeit (Gülzow 1993-2004, Mittelwert ausgewählter Klone) (BOELKE 2006a)102	
Abb. 6–7: Biomasseertrag von Weiden-Kurzumtriebsplantagen auf drei Standorten in Baden-Württemberg zwischen 1990 und 2003 (MAIER & VETTER 2004)-----	104
Abb. 6–8: Durchschnittlicher Gesamtwuchs der Biomasse ausgewählter Klone auf der Versuchsfläche Methau I /Sachsen im Pflanzenalter 3 und 6 Jahre (WOLF & BÖHNISCH 2004) -----	107
Abb. 6–9: Erträge von Kurzumtriebspappeln in Europa (KOBUS 2000, zit. in SCHOLZ et al. 2004) 108	
Abb. 6–10: Jugendentwicklung einer Kurzumtriebplantage (Weiden) (Fotos: Neumeister 2006) -----	110

Abb. 6–11: Bestandserneuerung abgeernteter Kurzumtriebsplantagen mit Hilfe von Setzstangen ohne vorbereitende Maßnahmen (HOFMANN 2007, Kompetenzzentrum HessenRohstoffe e.V.)-----	112
Abb. 6–12: Unkrautdruck in junger Weidenplantage mit (rechte Bildseite) und ohne (linke Bildseite) Herbizidbehandlung (BOELKE 2005)-----	113
Abb. 6–13: Ernte einer Kurzumtriebplantage im Winter (Foto: Neumeister 2006) ----	117
Abb. 6–14: Preisentwicklung bei Holzhackschnitzeln zwischen 2003 und 2006 (C.A.R.M.E.N. e.V. 2007) -----	120
Abb. 6–15: Spezifische Biogasproduktion in Abhängigkeit vom Anteil des Ko-Substrates (HUBER & MAIR 1998) -----	124
Abb. 6–16: Veränderung der Elementkonzentrationen in Fichtenfeinwurzeln und des Boden-pH-Wertes nach der Applikation verschiedener Dünger. Unterschiedliche Buchstaben pro Behandlung zeigen signifikante Unterschiede an ($p \leq 0,05$) (ZIMMERMANN et al. 2002) -----	134
Abb. 6–17: Gehalte umweltrelevanter Makro- und Mikronährstoffe in Energiepflanzen (SCHOLZ et al. 2004)-----	141
Abb. 6–18: Einfluss von Kurzumtriebsplantagen auf Landschaftsbild am Beispiel der Versuchsflächen Canstein in Hessen (LIESEBACH 2006)-----	147
Abb. 6–19: Fotobeispiele für Agroforstsystemen (HERZOG et al. 2006)-----	149
Abb. 6–20: Phytoextraktion mit Weiden (GREGER & LANDBERG 2003) -----	155

Tabellenverzeichnis

Tab. 2–1: Energiepolitische Ziele, Potenziale und Stand der Nutzung auf den Ebenen EU, Bund, Freistaat Sachsen in der Übersicht.....	8
Tab. 2–2: Maßnahmen des Bundes zur Förderung des Anbaus und/oder der energetischen Verwendung von Biomasse(Stand: Januar 2007; ausführlich in Tab. Tab. 10–1 im Anhang).....	12
Tab. 2–3: Ergänzende Maßnahmen des Freistaates Sachsen zur Förderung der energetischen Verwendung von Biomasse.....	14
Tab. 2–4: Maßnahmen und Entwicklungsansätze zur Förderung der Verwendung von Biomasse bei der Energieerzeugung in Sachsen	16
Tab. 2–5: Klimaschutzziele (MÜSCHEN 2007)	18
Tab. 2–6: Übersicht über Bereiche und Maßnahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (aus http://www.smul.sachsen.de/de/wu/landwirtschaft/gap/index.html am 16.01.2007).....	21
Tab. 2–7: Deckungsbeitragsrechnung zu verschiedenen Kulturen	32
Tab. 2–8: Auswahl von Wirtschaftlichkeitsanalysen zu Biomasse bzw. Bioenergie, bezogen auf verschiedene Endenergieträger und Produktionspfade	33
Tab. 3–1: Anbau von Energiepflanzen auf Stilllegungsflächen und Flächen mit Energiepflanzenprämie (VETTER 2006, Mitteilung BLE vorläufig, Sept. 2006).....	42
Tab. 3–2: Maisanbaufläche zur Biogasnutzung und Gesamtmaisfläche in Deutschland 2005 und 2006 nach Bundesländern (nach Daten des Statistischen Bundesamtes, BLE, DMK, 28.08.2006; eigene Zusammenstellung).....	43
Tab. 3–3: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (2006) (FNR 2007).....	45
Tab. 4–1: Prozentualer Anteil der gesamten Biomasse am Primärenergiebedarf (nach ÖKO-INSTITUT et al. 2004, S. 208 f.).....	56
Tab. 4–2: Entwicklung der Flächen- und Energiepotenziale nach Energiepflanzen und Umwandlungspfad (nach: WUPPERTAL INSTITUT 2006).....	59
Tab. 4–3: Technisches Flächenpotenzial für den landwirtschaftlichen Anbau von Biomasse zur energetischen Verwendung nach div. Autoren in Deutschland.....	60
Tab. 4–4: Auf einzelne Energieträger bezogene Potenzialabschätzungen (Auswahl) ..	62
Tab. 4–5: Energiepotenzial landwirtschaftlicher Biomasse in Sachsen, Stand 1999-2001 (nach LfL 2003, S. 8).....	64
Tab. 4–6: Mittelfristiges Anbaukonzept lignocellulosehaltiger Energiepflanzen in Sachsen auf 5 % der Ackerfläche (nach LFL 2003, S. 7)	65

Tab. 6–1: Technisches Potenzial der Land- und Forstwirtschaft in Sachsen (LfL 2005a)	72
Tab. 6–2: Technische Biomasse- und Bioenergiepotenziale von Landschaftspflegeholz (TONN et al. 2006)	73
Tab. 6–3: Nährstoffentzüge bei der Entnahme von Fichtenholz (SPLECHTNA & GLATZEL 2005)	74
Tab. 6–4: Beispiele für Zweikultur-Fruchtfolgen (KTBL 2006, S. 346f)	81
Tab. 6–5: Beschreibung ausgewählter Gemenge für den Bioenergiepflanzenanbau (KTBL 2006, S. 356f)	82
Tab. 6–6: Bestandaufnahme der Vogelarten in Kurzumtriebsplantagen in England, Irland und Schweden (SAGE 1998)	89
Tab. 6–7: Entwicklung einiger Bodenparameter im Oberboden (0 bis 20 cm) unter Kurzumtriebsplantagen (KAHLE & HILDEBRAND 2006)	95
Tab. 6–8: Faustzahlen zum Nährstoffgehalt holzartiger Biomasse (HARTMANN 2001)	98
Tab. 6–9: Gehalte und Entzüge an Nähr- und Schadstoffen bei Kurzumtriebsplantagen in Sachsen nach zweijährigem Umtrieb, Versuch Kalkreuth (LfL 2002a)	98
Tab. 6–10: Mittlere Erträge von Kurzumtriebsplantagen in Versuchen von MAIER & VETTER (2004) in Baden-Württemberg zwischen 1995 und 2003	103
Tab. 6–11: Jährliche Ertragsleistungen schnellwachsender Baumarten im Zeitraum 1995 bis 2000, Großversuch Kalkreuth in Sachsen (LfL 2002a)	106
Tab. 6–12: Kosten-Leistungsvergleich für die Hackschnitzelbereitstellung aus Kurzumtriebsanbau schnellwachsender Baumarten (LfL 2005b)	119
Tab. 6–13: Einflussfaktoren, Spannweiten und Optima bei der Kultivierung von Kurzumtriebsplantagen (in Anlehnung an LONDO et al. 2004, verändert und ergänzt)	121
Tab. 6–14: Biogaspotenzial aus Gülle und Mist für das Jahr 2000 (ÖKO-INSTITUT et al. 2004)	124
Tab. 6–15: Biogasrelevante Parameter von Wirtschaftsdüngern (REINHARD 2005)	125
Tab. 6–16: Trockensubstanz-, Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen in unbehandelter Rindergülle sowie in Gärrückständen aus Rindergülle und Bioabfällen (ROSCHKE 2003, eigene Darstellung)	126
Tab. 6–17: Flächenspezifische Methanerträge pflanzlicher Substrate (PROCHNOW et al. 2007)	128

Tab. 6–18: Stoffeigenschaften von unvergorenen Substraten aus der Landwirtschaft (IFEU 2006, eigene Darstellung).....	129
Tab. 6–19: Schwermetallgehalte der Aschefractionen aus Verfeuerungen von Rinde, Hackgut und Spänen aus Fichtenholz (OBERNBERGER 2001, in: FNR 2005).....	131
Tab. 6–20: Durchschnittliche Nährstoff- und Schwermetallgehalte in den Grobaschefractionen verschiedener Energiepflanzen (FNR 2005) und Bandbreiten der Elementgehalte in Grobaschen aus naturbelassenem Holz (LUBW 2001)	131
Tab. 6–21: Grenzwerte für bestimmte Elemente in Düngemitteln nach der Düngemittelverordnung und Grenzwerte für die Ausbringung von Aschen nach der Klärschlammverordnung und der Bioabfallverordnung (FNR 2005)	132
Tab. 6–22: Eluatparameter von Rostaschen verschiedener biogener Brennstoffe (SCHULZE 2003).....	135
Tab. 6–23: Durchschnittliche Gehalte emissionsrelevanter Hauptelemente und Aschegehalte verschiedener Energiepflanzen (FNR 2005, eigene Darstellung)	137
Tab. 6–24: Energie- und Emissionsbilanzen einer Wärmebereitstellung für Warmwasser und Raumheizung in Kleinanlagen (Kaltschmitt et al. 2003, Auszug)	139
Tab. 6–25: Brennstoffeigenschaften von Kurzumtriebsgehölzen im Vergleich zu Waldholz (MAIER & VETTER 2004).....	142
Tab. 6–26: Ergebnisse der Anbauversuche in Sachsen: Brennstoffeigenschaften der Energiepflanzen (LFL 2002).....	143
Tab. 6–27: Grenzwerte für Elementgehalte in Holzbriketts und -pellets nach DIN 51731 (FNR 2005).....	149
Tab. 6–28: Mittlere Cadmiumgehalte von Energiepflanzen nach SCHOLZ et al. (2004)	150
Tab. 6–29: Cd-Extraktionspotenziale einiger Pflanzenspezies (VASSILIEV et al. 2002)	152
Tab. 6–30: Cadmium- und Zink-Konzentrationen und spezifische Entzüge verschiedener Kulturen auf einem mit Klärschlamm kontaminierten Boden (MAXTED et al. 2002)	153
Tab. 6–31: Cd-Akkumulation in Pflanzen (FELIX 1997).....	154
Tab. 6–32: Arsen-Akkumulation in den Trieben verschiedener Kulturen 100 Tage nach der Pflanzung (As-Bodengehalt vor der Pflanzung 50 mg/kg; BLAYLOCK et al. 2002)	156
Tab. 6–33: Rangfolge von 20 untersuchten Weidenklonen* nach der spezifischen Schwermetallaufnahme in g/ha und nach der Gesamtmetall-Akkumulation. Die	

flächenspezifische Aufnahme berücksichtigt die sortenspezifische Akkumulation und den Biomasseertrag pro Hektar (PULFORD et al. 2002).....	158
Tab. 7–1: Vorhabenzulassung am Beispiel von Biogasanlagen	168
Tab. 7–2: Räumliche Dimension und raumbezogene Planung mit Funktion	172
Tab. 7–3: Auswahl aktueller regionsbezogener Studien zur Standortwahl, Potenzialermittlung und Strategieermittlung von Biomasseanbau und -verwendung 178	
Tab. 7–4: Auswahl von Studien zum Thema Kommunikation/ Vermittlung	184
Tab. 10–1: Übersicht über relevante Rechtsgrundlagen und Programme zur Förderung des Anbaus und der energetischen Verwendung von Biomasse auf der Ebene der EU, des Bundes und des Freistaates Sachsen.....	226
Tab. 10–3: Kontaktpersonen relevanter Institutionen	235
Tab. 10–4: Auswahl an laufenden und abgeschlossenen Projekte auf dem Sektor Bioenergie	242
Tab. 10–5: Tagungen / Vorträge zum Thema Bioenergie.....	250

Abkürzungen

BfN	Bundesamt für Naturschutz
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMU	Bundesumweltministerium
DRL	Deutscher Rat für Landespflege
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
EE	Erneuerbare Energien
EEZ	Energieeffizienzzentrum
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
FNR	Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe
FSC	Forest Scientific Council
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union
LABO	Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LANA	Länderarbeitsgemeinschaft für Naturschutz und Landschaftspflege
LfL	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
LfUG	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
NaWaRo	Nachwachsende Rohstoffe
SMUL	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
SMWA	Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
UBA	Umweltbundesamt
WWF	World Wide Fund for Nature

Verwendete Einheiten

mtoe 1 Million Tonnen Öläquivalent

Leistung:

MW 1 Megawatt = 10⁶ Watt

GWh 1 Gigawattstunde = 10⁹ Wattstunde = 1 Mio. kWh

TWh 1 Terawattstunde = 10¹² Wattstunde = 1 Mrd. kWh

Arbeit/ Energie:

MJ 1 Mega Joule = 10⁶ Joule

PJ 1 Peta Joule = 10¹⁵ Joule

1 kWh = 3,6 MJ

1 Einführung

In Sachsen hat die Energiegewinnung aus erneuerbaren Energien in den letzten Jahren einen beträchtlichen Fortschritt erzielt. Mit einer Reihe von energiepolitischen Maßnahmen für erneuerbaren Energien wie der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) von 2004, der Biomasseverordnung, der Einführung mehrerer Programme zur Förderung von erneuerbaren Energien und speziell von nachwachsenden Rohstoffen sowie vielfältigen übergreifenden Maßnahmen wie der Ökologischen Steuerreform und nicht zuletzt auch durch die Reformen der gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) hat der Gesetzgeber neue Chancen für den ländlichen Raum eröffnet. Über die bundesweiten Programme hinaus hat der Freistaat Sachsen mit der Förderung erneuerbarer Energien einschließlich Biomasse im Rahmen des Förderprogramms Immissions- und Klimaschutz besondere Anreize geschaffen. Insbesondere für die Land- und Forstwirtschaft wurden lukrative Anstöße gegeben, den Anbau und die Verwendung von Biomasse zu energetischen Zwecken als neuen Betriebszweig zu nutzen.

Entsprechend hat sich die Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe in Deutschland von 1993 bis 2006 mehr als versiebenfacht. Mit 1,56 Mio. ha hat sie einen Anteil von 13 % an der gesamten Ackerfläche (FNR 2007). Der Anbau von Energiepflanzen auf still gelegten Flächen und auf Flächen mit Prämie hat in Deutschland wie in Sachsen einen Anteil von 7 % an der Ackerfläche. Darüber hinaus sind andere Anreize offenbar attraktiv genug, dass mehr als die Hälfte der gesamten NaWaRo-Fläche auch ohne diese Prämien zur Erzeugung von Biomasse genutzt wird.

Für den Ausbau von regenerativen Energien, zu der die Bioenergie gehört, wurden ambitionierte Ziele gesteckt: Um die Treibhausgas- und Kohlendioxidemissionen deutlich zu senken, sollen nach dem Sächsischen Klimaschutzprogramm bis zum Jahr 2010 5 % des Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Gegenwärtig werden bereits 4,1 % des Endenergieverbrauchs aus Wind, Wasser, Biomasse und Photovoltaik gedeckt. Bundesweit soll der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2020 mindestens 10 % betragen; schon heute beträgt er 7,7 % (Stand Januar 2007). Das entspricht gegenüber 2005 einem Zuwachs von 15 % innerhalb nur eines Jahres.

Im Hinblick auf die verschiedenen Energieformen wird bei Strom bis 2020 ein Anteil regenerativer Energien von 25 % für möglich gehalten, bei der Wärmeerzeugung 13 % und im Kraftstoffbereich gilt das auf EU-Vorgaben zurückgehende Ziel von 5,75 % bis 2010. Neben den energetischen Ressourcen Sonne, Wind, Wasser und Geothermie soll die Biomasse einen wesentlichen Beitrag dazu leisten.

Energie aus Biomasse kann durch Verbrennung, Vergasung oder durch Verflüssigung freigesetzt werden. Dabei wird nur so viel CO₂ freigesetzt, wie zuvor von der Pflanze durch Photosynthese gebunden wurde – lässt man den Energieaufwand für Anbau, Auf-

bereitung und Verwendung von Biomasse außen vor. Insoweit wird die energetische Nutzung von Biomasse als CO₂-neutral oder auch als geschlossener Kreislauf beschrieben und ihr eine bedeutende Rolle nicht nur in der Energie- sondern auch in der Klimaschutzpolitik zugeschrieben.

Die Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Biomasse sind vielfältig: Sie eignet sich zur Erzeugung von Wärme und Strom sowie zur Gewinnung von biogenen Kraftstoffen, welche fossile Treibstoffe ersetzen können.

Für Biomasse werden große Nutzungspotenziale prognostiziert: Nach dem Aktionsplan der Kommission für Biomasse (KOM(2005)628) deckt die EU derzeit 4 % ihres Energiebedarfs durch Biomasse. Bei vollständiger Nutzung ihres Potenzials könnte sie den Biomasseeinsatz bis 2010 von 69 mtoe¹ im Jahr 2003 auf ca. 185 mtoe mehr als verdoppeln. In Deutschland deckt Biomasse etwa 3,24 % des Primärenergieverbrauchs (Stand: 2005; HENKE 2006; BUNDESVERBAND BIOENERGIE). Das kurz- bis mittelfristig nutzbare Potenzial von Biomasse wird auf etwa 8,5 % des derzeitigen Primärenergieverbrauchs geschätzt. Unterstellt ist dabei ein konstanter Verbrauch an Primärenergie. Angenommen wird außerdem, dass in Deutschland dauerhaft auf einer Fläche von etwa 2 Mio. ha nachwachsende Rohstoffe angebaut werden können. Längerfristig angelegte Schätzungen kommen zu dem Ergebnis, dass Biomasse bis zum Jahr 2030 bis zu 17 % und bis 2050 sogar 30 % des Primärenergieverbrauchs decken könnte.

Biomasse dominiert schon heute die Zusammensetzung der erneuerbaren Energien in Deutschland: Etwa 68 % der aus erneuerbaren Energien bereit gestellten Endenergie stammt aus Biomasse. Hiervon entfielen wiederum ca. 46 % auf Wärme, 13,5 % auf Kraftstoffe und 8,1 % auf Strom (HENKE 2006; QUELLE: BMU, Mai 2006). In Sachsen stammt etwa die Hälfte der aus erneuerbaren Energien bereit gestellten Strom- und Wärmeertrags aus Biomasse.

Bislang prägte 00-Raps zur Verwendung als Biodiesel den Anbau von Energiepflanzen, seit der Novellierung des EEG 1994 hat der Anbau von Silomais und Getreide zur Verwendung in Biogasanlagen aber sprunghaft zugenommen. Eine Untersuchung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) hat ergeben, dass in rund 90 % der neu gebauten Biogasanlagen Mais verwendet wird. Entsprechend ist die Anbaufläche für Energiemais nach vorläufigen Daten der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) gegenüber 2004 um das Fünfzehnfache gewachsen und hat heute einen Anteil von 20 % an der gesamten Fläche für Energiepflanzen (2004: 3,5 %) (VETTER 2006).

Bei gleich bleibender Förderung ist zu befürchten, dass es weiter zu einer erheblichen Ausdehnung des Maisanbaus nicht nur auf Stilllegungsflächen kommt – auf denen derzeit Raps für Biodiesel wächst, sondern auch auf Basisflächen zu Lasten von Weizen als Leit-

¹ Millionen Tonnen Öläquivalent

kultur (GÖMANN et al. 2006). Damit ist die befürchtete Konkurrenz um verschiedene Formen der Flächennutzung sichtbare Realität geworden, bei:

- Lebensmitteln,
- Futtermitteln,
- extensive Landformen einschließlich des ökologischen Landbaus,
- Flächen des Naturschutzes in verschiedenen Schutzkategorien sowie
- innerhalb der Erzeugung von Biomasse um unterschiedlich effiziente Formen der energetischen und stofflichen Verwendung von Biomasse.

Je nach der Vorzüglichkeit bestimmter Kulturarten wie z. B. Mais und Raps können damit strukturelle Veränderungen der Landnutzung einhergehen, die negative Folgen für den Arten- und Biotopschutz, aber auch für den Boden- und Gewässerschutz erwarten lassen.

Monokulturen oder einseitige Fruchtfolgen sind ein Beispiel dafür, weshalb in Kreisen der Politik, der Wissenschaft und der Umwelt- und Naturschutzverbände den zunächst eingängigen klima- und ressourcen- sowie struktur- und arbeitsmarktpolitischen Argumenten für den Einsatz von Bioenergie auch Befürchtungen über negative Auswirkungen auf Natur und Landschaft gegenübergestellt werden.

Außerdem gibt es kritische Stellungnahmen zur ökonomischen wie ökologischen Effizienz bestimmter Verwendungsformen, insbesondere von Biokraftstoffen. Die für 2007 geplante Biokraftstoffquote kann dazu führen, dass in rasant wachsenden Mengen Biomasse aus Entwicklungsländern importiert wird, weil der EU-Binnenmarkt nicht die benötigte Menge bereitstellen und Importbiomasse ohne Anrechnung der langfristigen sozialen und ökologischen Folgekosten weitaus billiger erzeugt werden kann.

Der Biokraftstoffboom kann auch aus Sicht des Klimaschutzes kontraproduktiv sein, wenn die durch den Bioenergiepflanzenanbau bedingten Landnutzungsänderungen – wie z. B. Abholzung von Regenwald zur Erzeugung von Palmöl oder Trockenlegen von Mooren zum Anbau von Energiepflanzen – mit der Freisetzung großer Kohlenstoffmengen verbunden sind, der zuvor in der Vegetation oder den Böden gebunden waren (MERZ 2007;). So kommt FEARNSIDE (2000) zu dem Schluss, dass die Erhaltung der tropischen Regenwälder um ein Vielfaches mehr zum Klimaschutz beitragen würde als der Energiepflanzenanbau auf extra dafür entwaldeten tropischen Böden.

Solche Entwicklungen werden die angesichts der aktuellen und angestrebten Dimension der Biomasseproduktion neu gestellten Fragen zur Natur- und Umweltverträglichkeit weiter verschärfen, und dies nicht nur in der Fachöffentlichkeit, wie aktuelle Presseberichte zeigen (z. B. DIE ZEIT vom 23.11.2006, LANGBEHN 2007).

Wegen vielfältiger offener Fragen gibt es auf der Ebene von EU, Bund und Ländern nicht nur einige Vorhaben zur Erarbeitung von Lösungsansätzen für eine nachhaltige und umweltverträgliche Erzeugung von Bioenergie, sondern auch bereits zur Steigerung der Ak-

zeptanz durch Qualifizierung und Erarbeitung von Kommunikationsstrategien aus Sicht des Umwelt- und Naturschutzes.

Nichtsdestotrotz ist der Kenntnisstand über die Umweltwirkungen in der aktuellen Dimension und Struktur des Anbaus von Energiepflanzen diffus und die Frage nach den Rahmenbedingungen und Potenzialen für eine natur- und umweltverträgliche energetische Nutzung angesichts der Vielfalt der Erzeugungsmöglichkeiten von Biomasse sehr differenziert zu beantworten.

Vor diesem Hintergrund plant das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) in den Jahren 2007/2008 die Durchführung eines F+E-Vorhabens, mit dem in einer regionalisierten Herangehensweise mögliche Belastungen für Natur und Landschaft rechtzeitig erkannt werden sollen. Im Weiteren sollen Wege aufgezeigt werden, wie diese Belastungen durch die Wahl geeigneter Produktionsverfahren und Anbauflächen zu minimieren sind. Ebenso sollen auf den Anbau und die Nutzung von Biomasse bezogene Steuerungsempfehlungen für eine nachhaltige Raum- und Landnutzung formuliert werden.

In Vorbereitung auf das geplante F+E-Vorhaben hat das LfUG die vorliegende Vorstudie zur Recherche und Dokumentation des derzeitigen Kenntnisstandes mit folgenden konkreten Aufgabenstellungen veranlasst. Auf Basis einer Literaturrecherche soll der derzeitige Sach- und Wissensstand in Deutschland zu den natur- und umweltschutzfachlichen Wirkungen des Anbaus von Biomasse zur energetischen Verwertung zusammengetragen und aufbereitet werden:

- Analyse der Hintergründe und Rahmenbedingungen für die heutigen Entwicklungen (Kap. 2),
- Darstellung der verfügbaren Biomassefraktionen und ihrer Anbau- und Energiepotenziale (Kap. 3 und 4),
- Darstellung aktueller Positionen relevanter Akteure zur Biomassenutzung und Natur- und Umweltverträglichkeit (Kap. 5),
- Diskussion von erkennbaren Umweltwirkungen (Boden und Wasser, Naturhaushalt, Landschaftsbild, Klima) sowie von Konkurrenz- und Konfliktsituationen und möglichen Synergieeffekten (Kap. 6),
- Diskussion und Bewertung der derzeit diskutierten und verfügbaren Steuerungs- und Entscheidungsinstrumentarien in den Bereichen Planung, Förderung, Genehmigung etc. (Kap. 7) sowie
- Ableitung und Definition des auf Sachsen bezogenen Forschungsbedarfs (Kap.8).
- In einem gesonderten Abschnitt sind die derzeitigen Kenntnisse in Bezug auf holzartige Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen zusammen zu tragen (Kap. 6.2.2).

Die energetisch nutzbare Biomasse kann produktbezogen in Festbrennstoffe, Biogas und Biokraftstoffe unterschieden werden (Abb. 1–1). Diese energetischen Produkte können

aus unterschiedlichen tierischen oder pflanzlichen Materialien gewonnen werden. Die Materialien fallen entweder als Nebenprodukte und Abfälle der land- und forstwirtschaftlichen Produktion, der Landschaftspflege sowie der agroindustriellen Verarbeitung an oder sie werden gezielt durch den Anbau von Energiepflanzen gewonnen.

Für sämtliche Gruppen gilt, dass die Biomasse über verschiedene Bearbeitungs- und Umwandlungsschritte für die Energieerzeugung nutzbar gemacht werden muss: Erst nach einer mechanischen (z. B. Häckseln), einer bio-chemischen (z. B. Vergärung zu Biogas), thermo-chemischen (z. B. Vergasung) oder physikalisch-chemischen Umwandlung (z. B. Veresterung zu Biodiesel) steht der Sekundärenergieträger für die Erzeugung von Strom, Wärme oder als Kraftstoff bereit.

Im Rahmen dieser Studie werden nur die Umweltwirkungen der Nutzung *pflanzlicher* Biomasse betrachtet. Mit Ausnahmen der pflanzlichen Nebenprodukte des Marktfruchtanbaus, der Landschaftspflege und der Forstwirtschaft werden Abfälle aus der agroindustriellen Verarbeitung wie z. B. Schlempen und Trester sowie Altholz nicht weiter berücksichtigt.

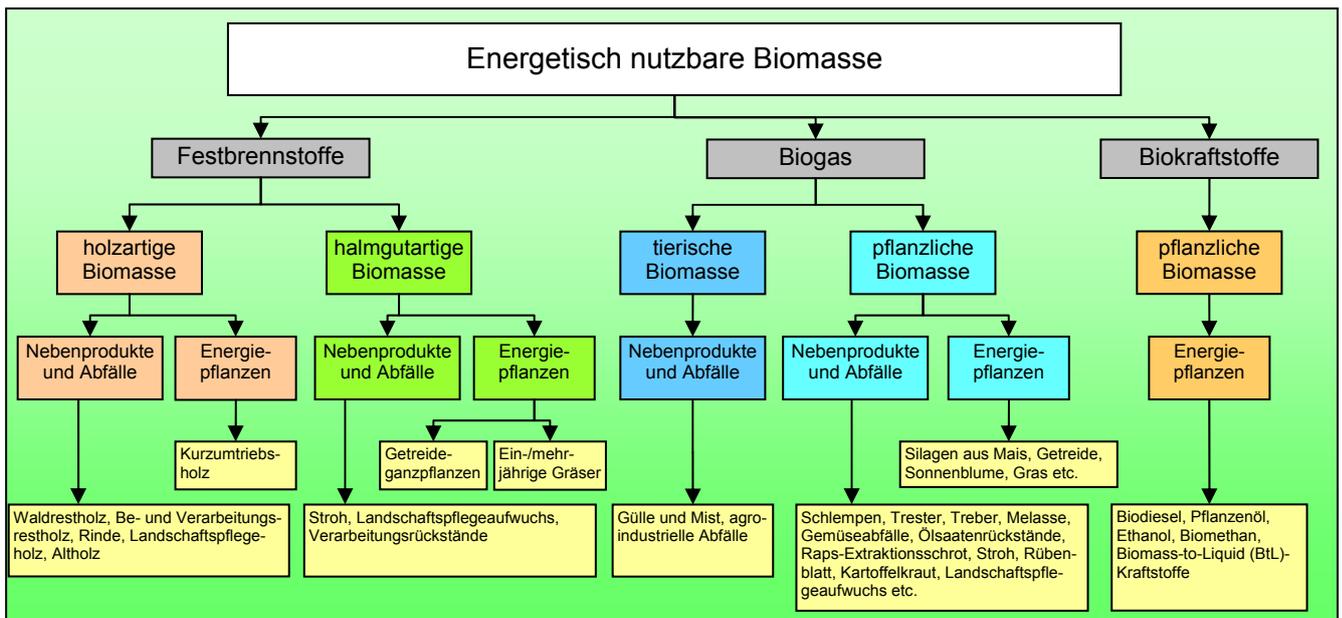


Abb. 1–1: Systematik energetisch nutzbarer Biomasse

2 Rahmenbedingungen für die heutige Entwicklung von Biomasse als Energielieferant

2.1 Energiepolitik

2.1.1 Zielsetzungen

Angestrebt wird eine nachhaltige und sichere Energieversorgung. Im Zieldreieck der Energiepolitik sind definiert: Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit. Neben der Energieeinsparung und der Verbesserung der Energieeffizienz hat sich die Bundesregierung zum Ziel gesetzt, den Anteil der erneuerbaren Energien an der Energieerzeugung deutlich auszubauen. Vom Einsatz der erneuerbarer Energien versprechen sich die Bundesregierung und die Kommission der Europäischen Gemeinschaften folgende Vorteile (BMU 2006b, Aktionsplan für Biomasse KOM 2005):

- Minderung der Treibhausgasemissionen als Beitrag zum Klimaschutz (u. a. CO₂-Einsparung)
- Diversifizierung der Rohstoffe, stärken der Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern, somit Beitrag zur Erhöhung der inländischen Versorgungssicherheit und zur Vermeidung von Rohstoffkonflikten;
- Beitrag zur Dämpfung von Kostensteigerungen, die bei fossilen und nuklearen Ressourcen zu erwarten sind;
- vergleichsweise einfache Abbaubarkeit und Recyclingfähigkeit von Anlagen für erneuerbare Energie
- Beitrag zur regionalen Wertschöpfung und positive Wirkungen auf die Beschäftigung, insbesondere im ländlichen Raum;
- Vorteile durch den Ausbau der technologischen Führungsstellung in diesem Sektor;
- Beitrag zur Entwicklungspolitik durch angepasste Energiekonzepte für arme Länder.

Von der Biomasse wird also erwartet, dass ihr Einsatz zur Klimaschutz- und Energiepolitik beiträgt und dass dies zum Nutzen der Volkswirtschaft geschieht.

Angesichts dieser Argumente und der vorgenommenen Potenzialabschätzungen (siehe Kap. 3 u. 4) hat die Bundesregierung sich die ehrgeizigen Ziele gesetzt, den Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch bis 2010 auf 4,2 %, bis 2020 auf 10 % und bis 2050 schließlich auf rund 50 % zu steigern (Tab. 2–1; BUNDESREGIERUNG 2002, S. 97).

Zum Teil wurden die Ziele zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien sogar rechtlich verankert: In der Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes von 2004 wurde fixiert, dass bis 2010 der Anteil der regenerativen Energien an der Stromerzeugung auf mindestens 12,5 % und bis 2020 auf mindestens 20 % gesteigert werden soll. Diese Zielsetzung geht mit der Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt (RL 2001/77/EG) konform.

Außerdem wurde in 2006 das Biokraftstoffquotengesetz verabschiedet, durch das u. a. der Richtwert der EU-Biokraftstoffrichtlinie für den Marktanteil von 5,75 % im Jahre 2010 über eine Beimischungspflicht national verbindlich umgesetzt wird. Da bisher nur Deutschland und Schweden in die Nähe des Ziels gerückt sind, soll die freiwillige Vorgabe der EU künftig verpflichtend werden, um den Handlungsdruck auf die anderen Mitgliedsländer zu erhöhen (Ernährungsdienst Nr.2, 13.01.2007).

Nach den Koalitionsvereinbarungen vom 11. November 2005 wollen die Regierungsparteien die ambitionierten Ziele zum Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch und an der Stromerzeugung weiterverfolgen und „den Biomasseanteil am Primärenergieverbrauch mittelfristig deutlich steigern“. Konkrete Zielvorstellungen zum Wärmebereich werden indes nicht genannt.

Unter den erneuerbaren Energien soll die Biomasse eine besondere Rolle einnehmen (BMVEL 2004), weil

- sie jederzeit abrufbar ist und im Vergleich zu anderen Formen kontinuierlich zur Verfügung steht,
- sie dezentral im ländlichen Raum erzeugt wird und weil sie
- auf Flächen produziert wird, die derzeit nicht für die Nahrungsmittelerzeugung benötigt werden.

(Das zuletzt genannte Argument wird sicher wegen der zunehmenden Flächenkonkurrenz, wie an anderer Stelle noch thematisiert wird, inzwischen zumindest in bestimmten Regionen nicht mehr positiv hervorgehoben.)

Leitlinien des BMVEL für den Ausbau der Bioenergie sind (OHLHOFF 2005):

1. Die Erzeugung und die Verwendung von Bioenergie muss nachhaltig erfolgen, d. h.
 - umweltverträglich,
 - sozial gerecht und gesellschaftlich akzeptiert (z. B. Fördermittel, Landschaftsbild) und
 - wirtschaftlich (kurz- und mittelfristig staatliche Förderung, langfristig freier Wettbewerb).
2. Bioenergie darf nicht zu Lasten der Welternährungssituation gehen.
3. Flächenansprüche der Bioenergie sind mit alternativen Flächenansprüchen abzuwägen.
4. Begrenzte Biomasse sollte möglichst effizient eingesetzt werden, in Bezug auf
 - stoffliche Verwertung,
 - Wärme,
 - Strom und
 - Kraftstoffe

5. Begrenzte Biomasse- und Bioenergieimporte können die heimische Erzeugung sinnvoll ergänzen, um

- anspruchsvolle energie- und klimapolitische Zielsetzungen zu erreichen,
- Kostenvorteile und
- Umweltvorteile zu nutzen.

Die Ziele für den Ausbau der erneuerbaren Energien auf den drei Ebenen Europäische Union, Bund und Freistaat Sachsen sind in Tab. 2–1 zusammengefasst. Zum Vergleich sind der Stand der Nutzung (siehe im Detail Kap.3) und die Energiepotenziale von Biomasse (siehe im Detail Kap. 4) aufgelistet.

Sachsen

Das SMUL (2003) hat bereits im Jahr 2003 ein Konzept zum Ausbau der energetischen Nutzung von Biomasse vorgelegt und im Vergleich zu den anderen erneuerbaren Energien bei der Biomassenutzung den größten Nachholbedarf gesehen. Mit der Begründung, dass insbesondere die Nutzung der Biomasse durch zusätzliche Wertschöpfung zur Stabilisierung der Landwirtschaft und damit zur Stärkung des ländlichen Raumes beitragen kann, wurde gefordert, den Ausbau der Biomasse im Energieprogramm des Landes zu verankern. Im Sächsischen Energieprogramm 2004 wird die Nutzung erneuerbarer Energien als Bestandteil des Energiemix zwar festgeschrieben, Aussagen zu einzelnen Energieträgern werden aber nicht getroffen (SMWA 2004). Ausdrückliche Zielsetzungen zum Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch und zum Energiebeitrag der Biomasse formulieren hingegen schon frühzeitig das Klimaschutzprogramm und der Klimaschutzbericht (SMUL, 2001, 2005; siehe Tab. 2–1).

Tab. 2–1: Energiepolitische Ziele, Potenziale und Stand der Nutzung auf den Ebenen EU, Bund, Freistaat Sachsen in der Übersicht

Zielsetzungen	Potenzial	Derzeitige Nutzung
EU-25		
<u>bis 2010:</u> 12 % Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch 21 % Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch 5,75 % Bio-Kraftstoffe 150 mtoe Biomasse zur energetischen Verwendung	<u>bis 2010:</u> 185 mtoe Biomasse zur energetischen Verwendung <u>bis 2030:</u> 295 mtoe (15 – 16 % des Pri-	<u>Stand 2003:</u> 69 mtoe Biomasse zur energetischen Verwendung bzw. 4 % des Energiebedarfs aus Biomasse Quelle: Aktionsplan für Biomasse 2005
<u>bis 2020:</u> 20 % Gesamtanteil EE am		

Zielsetzungen	Potenzial	Derzeitige Nutzung
<p>Gesamtenergieverbrauch (verlangt lt. EEA 2006 etwa 230-250 mtoe Biomasse) 20 % Bio-Kraftstoffe</p> <p>Quelle: Aktionsplan für Biomasse 2005; HEINZ 2006</p>	<p>märenergiebedarfs im 2030) (umweltverträgliches Primär- energiepotenzial¹ für Biomasse) davon 96 mtoe Reststoffe davon 142 mtoe aus Landwirt- schaftlicher Produktion davon 40 aus forstwirtschaftli- cher Produktion</p> <p>Quelle: EEA 2006</p>	
Deutschland		
<p><u>bis 2010:</u> 4,2 % des <i>Primärenergie-</i> <i>verbrauchs</i> aus EE</p> <p>12,5 % des <i>Bruttostrom-</i> <i>verbrauchs</i> aus EE</p> <p>3 % Anteil der <i>Biomasse</i> am Primärenergieverbrauch (Quelle: BMVEL 2004)</p> <p><u>bis 2020:</u> 10 % des <i>Primärenergie-</i> <i>verbrauchs</i> aus EE 20 % des <i>Bruttostrom-</i> <i>verbrauchs</i> aus EE 5,75 % des Kraftstoff- verbrauchs <i>Biokraftstoffe</i></p> <p><u>bis 2050:</u> 50 % des <i>Primärenergie-</i> <i>verbrauchs</i> aus EE</p> <p>Quellen: Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung 2002, Koalitionsver- trag 2005, EEG</p>	<p><u>Langfristiges technisches Po- tenzial:</u> 56 % am gesamten <i>Endener-</i> <i>gieverbrauch</i> aus EE</p> <p><i>Strom</i> - gesamt: 554 TWh/a (bezogen auf Bruttostrom- verbrauch von 2005: 91 %), davon <i>Biomasse</i>: 60 TWh/a</p> <p><i>Wärme</i> - gesamt: 820 TWh/a (Anteil bezogen auf Endener- gieverbrauch für Wärme von 2003: 54%), davon <i>Biomasse</i>: 200 TWh/a</p> <p><i>Biokraftstoffe</i> - 60 TWh/a (An- teil bezogen auf den Kraftstoff- verbrauch des Straßenver- kehrs von 2004: 10 %)</p> <p>Quelle: BMU 2006b</p> <p><i>Biomasse</i> gesamt: 1.230 PJ/a 8,5 % Anteil Biomasse am</p>	<p><u>Stand Mai 2006 (Daten 2005):</u> 4,6 % des <i>Primärenergie-</i> <i>verbrauchs</i> aus EE bzw. 6,4 % am gesamten <i>Endener-</i> <i>gieverbrauch</i> aus EE 10,2 % des <i>Bruttostrom-</i> <i>verbrauchs</i> aus EE 5,3 % des <i>Wärmeverbrauchs</i> aus EE 3,6 % des Kraftstoffverbrauchs <i>Biokraftstoffe</i></p> <p><i>Gesamt</i>: 165,8 TWh davon <i>Biomasse</i> 160,8 TWh (= ca. 69 %)</p> <p><i>Strom</i> - gesamt: 62,5 TWh davon <i>Biomasse</i> (einschl. Bio- gas) 10,4 TWh (= ca. 17 %)</p> <p><i>Wärme</i> - gesamt: 81 TWh davon <i>Biomasse</i> (ges.): 76 TWh (= ca. 95 %)</p> <p><i>Biokraftstoffe</i>: 22,3 TWh</p> <p>Quelle: BMU 2006a</p> <p><u>Anfang 2007 (Daten 2006, noch ungesichert):</u> 7,7 % am gesamten <i>Endener-</i> <i>gieverbrauch</i> aus EE</p>

Zielsetzungen	Potenzial	Derzeitige Nutzung
	Primärenergieverbrauch davon: 60 % Festbrennstoffe 15 % Biogassubstrate 10 % Energiepflanzen, feste Brennstoffe 8 % Energiepflanzen, flüssige Brennstoffe 6,5 % Energiepflanzen, Biogas Quelle: BMVEL 2004, nach Hartmann & Kaltschmitt 2002; Annahme: Anbau von Energiepflanzen auf 2 Mio. ha Ackerfläche/Jahr (17 % der deutschen Ackerfläche), wobei jeweils 1/3 der Fläche zur Bereitstellung der festen, flüssigen und gasförmigen Biobrennstoffe genutzt werden.	11,6 % des <i>Bruttostromverbrauchs</i> aus EE 6,2 % des <i>Wärmeverbrauchs</i> aus EE 5,4 % des Kraftstoffverbrauchs <i>Biokraftstoffe</i> Gesamt: ca. 200 TWh Strom - gesamt: 71,5 TWh Wärme - gesamt: 98 TWh Quelle: iwr/04.01.07; Pressemitteilung Bundesverband Erneuerbare Energie 04.01.07
Sachsen		
<u>Zeitraum 2005 bis 2010:</u> 5 % des <i>Endenergieverbrauchs</i> aus EE bzw. 4.600 GWh/a davon <i>Biomasse</i> 3.080 GWh/a (= ca. 67 % aus Biomasse) CO ₂ -Vermeidung jährlich um 2,5 Mio. t gegenüber 1998 Quelle: SMUL 2001 – Klimaschutzprogramm; SMUL 2005 – Klimaschutzbericht	<u>Technisches Potenzial (Strom und Wärme)</u> <u>bis zum Zeitraum 2005 bis 2010:</u> 4.600 GWh/a aus EE davon <i>Biomasse</i> 3.080 GWh/a (= ca. 67 % aus Biomasse) Quelle: SMUL 2001 - Klimaschutzprogramm <u>langfristig</u> 8.400 GWh aus Biomasse Quelle: Schlegel 2006; LfUG/EEZ 2006; SMUL 2006	<u>Stand 2006 (Daten 2005):</u> 4,1 % des <i>Endenergieverbrauchs</i> aus EE 10,2 % des <i>Bruttostromverbrauchs</i> aus EE % des <i>Wärmeverbrauchs</i> aus EE Für <i>Biokraftstoffe</i> liegen keine regionalen Daten vor. Gesamt <i>Strom und Wärme</i> : 3.682 GWh davon <i>Biomasse</i> 1697 GWh (= ca. 46 %) Strom - gesamt: 2.017 GWh davon <i>Biomasse</i> (einschl. Biogas) 547 GWh (= ca. 27 %) Wärme - gesamt: 1.665 GWh davon <i>Biomasse</i> : 1.150 GWh (ges.) (= ca. 70 %) CO ₂ -Vermeidung: ca. 2,3 Mio. t/a Quelle: Schlegel (2006)

¹ Zu den Annahmen im Einzelnen siehe EEA 2006, S. 6

2.1.2 Maßnahmen

In der Vergangenheit hat die Bundesregierung vielfältige Maßnahmen zum Ausbau der erneuerbaren Energien einschließlich der Verwendung von Biomasse ergriffen. Als übergreifende Maßnahmen der Energie- und Klimaschutzpolitik zu benennen sind die Ökologische Steuerreform, der CO₂-Emissionszertifikatehandel, Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Finanzierungsprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau und die Informations- und Öffentlichkeitsarbeit.

Über die Steuerbegünstigung von Biokraftstoffen hinaus konkret wirksam für den Ausbau der erneuerbaren Energien, insbesondere der Bioenergie, sind eine Vielfalt von direkten und indirekten Anreizen wie das EEG und eine Anzahl von Förderprogrammen.

Dabei hat Deutschland in Richtung Europäische Union die Vorreiterrolle übernommen. In einem Memorandum hat Deutschland in 2004 gemeinsam mit anderen Ländern die Kommission und die Mitgliedstaaten dazu aufgefordert, die Bedingungen dafür zu schaffen, dass die ehrgeizigen Ziele der Europäischen Union für die Nutzung erneuerbarer Energieträger und insbesondere für Bioenergie erreicht werden. Die Europäische Kommission hat im darauf folgenden Jahr den Aktionsplan mit Maßnahmen zu Förderung des Einsatzes von Biomasse vorgelegt (KOM(2005)628). Darunter sind auch solche Maßnahmen, die durch Förderangebote der Gemeinsamen Agrarpolitik realisiert werden (siehe Kap. 2.2.2). Im März 2006 hat das BMELV einen nationalen Biomasseaktionsplan angekündigt, der den von der Europäischen Union vorgelegten Plan umsetzen soll (Pressemitteilung Nr. 057, 14.03.2006). Die Umweltminister von Bund und Ländern haben im Mai des Jahres noch einmal ausdrücklich dazu aufgefordert, den nationalen Aktionsplan zu erstellen.

Die relevanten Fördermaßnahmen mit Bezug zur Biomasse sind für die Ebene des Bundes in Tab. 2–2 und für Sachsen Tab. 2–3 zusammengefasst. Ausführlichere Informationen wie Zielsetzung, Fördergegenstand, Laufzeit und Zuständigkeit sind der Anhang Tab. 10–1 im Anhang zu entnehmen.

Während im Strom- und Kraftstoffbereich bereits engagierte Schritte unternommen wurden und die Ausbauziele nahezu erreicht wurden (siehe Kap. 2.1.1), wurde der *Wärmebereich* in der Vergangenheit trotz größter Potenziale und der im Vergleich zu den anderen Bereichen höchsten Energieeffizienz bislang vernachlässigt. Deshalb hat die Umweltministerkonferenz in der Aufforderung zur Erstellung des Biomasseaktionsplans besonderen Wert auf die Erzeugung von Wärme aus Biomasse und auf die Erzeugung von Wärme und Strom bei der Kraft-Wärme-Kopplung gelegt. In ihrem Koalitionsvertrag vom 11. November 2005 haben die Regierungsparteien vereinbart, die Marktpotenziale erneuerbarer Energien im Wärmebereich besser zu erschließen. Der Anteil erneuerbarer Energien am Wärmeverbrauch beträgt heute nur 6,2 % bei einem Potenzial von langfristig über 50 %. Nachdem der Umweltminister ein entsprechendes Gesetzesvorhaben ausgesetzt hat, haben Bündnis 90/DIE GRÜNEN im Dezember 2006 einen Antrag zur Einführung eines Er-

neuerbare Energien Wärmegesetzes (EEW) gestellt und vorgeschlagen, in einer Kombination von Ordnungsrecht und Anreizinstrument, Betreiber zu einem Mindestanteil regenerativ erzeugter Wärme oder zur Zahlung von Ersatzgeld zu verpflichten und die Einnahmen für Fördermaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmebereich zu verwenden.

Angesichts der Verabschiedung des Gesetzes zur Einführung einer *Biokraftstoffquote* bei Benzin und Dieselkraftstoff im September 2006 und der infolgedessen zu erwartenden rasant steigenden Importe von günstig produzierter Biomasse (Stichwort: Palmöl) hat der saarländische Umweltminister Stefan Mörsdorf einen Entschließungsantrag zur Qualifizierung des Biokraftstoffs gestellt. Ziel der saarländischen Initiative ist es, dass die in Deutschland geltenden Regelungen überarbeitet werden: So sollen nur solche pflanzlichen Öle und Biokraftstoffe beigemischt oder in Anlagen nach dem EEG eingesetzt werden dürfen, die in der EU erzeugt wurden. Bei importierter Biomasse soll nachgewiesen werden, dass sie aus nachhaltigem und naturverträglichem Anbau stammen. Als Antwort auf diese Initiative kündigte Bundeslandwirtschaftsminister Seehofer an, dass die Bundesregierung eine Verordnung plane, die die Anrechenbarkeit von Biokraftstoffen nach dem Biokraftstoffquotengesetz an bestimmte Voraussetzungen bindet. "Hierzu gehören die nachhaltige Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen, bestimmte Anforderungen zum Schutz natürlicher Lebensräume oder ein bestimmtes CO₂-Verminderungspotenzial" (Nachricht vom 26.11.2006, www.enro-portal.de/news/do-read/id-879/read.html). In Vorbereitung darauf bearbeiten derzeit IFEU und FSC ein Forschungsvorhaben zur Zertifizierung von Biomasse. Demgegenüber haben die EU-Energieminister im Sommer 2006 eine europäische Regelung abgelehnt. Im Rahmen der deutschen Ratspräsidentschaft wird der Beschluss eines europäischen Energieaktionsplans verfolgt, der neben einer Steigerung der Energieeffizienz den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien priorisiert; es bleibt abzuwarten, an welche Bedingungen der Ausbau geknüpft wird.

Tab. 2–2: Maßnahmen des Bundes zur Förderung des Anbaus und/oder der energetischen Verwendung von Biomasse(Stand: Januar 2007; ausführlich in Tab. Tab. 10–1 im Anhang)

Bioenergieträger	Strom	Wärme	Kraft Wärme	Bio-kraft-stoffe	Rechtsgrundlage Zuständigkeit
Maßnahme					
Beihilfe zum Anbau von Energiepflanzen	X	X	X	X	Rahmenplan der GAK - Energiepflanzenprämie (BMELV/Länder)
Indirekte Beihilfe zum Anbau Beihilfe zur Stilllegung von Flächen für die Nahrungsmittelerzeugung	X	X	X	X	Rahmenplan der GAK - Stilllegungsprämie (BMELV/Länder)
Indirekte Beihilfe zum Anbau Ausgleichszulage in benachteiligten Gebieten auf Stille-	X	X	X	X	Rahmenplan der GAK - Stilllegungsprämie (BMELV/Länder)

Bioenergieträger	Strom	Wärme	Kraft Wärme	Bio-kraftstoffe	Rechtsgrundlage Zuständigkeit
Maßnahme					
gungsflächen					
Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben	X	X	X	X	Förderprogramm Nachhaltige Rohstoffe (BMELV/FNR)
Demonstrationsvorhaben	X	X	X	X	Richtlinie Demonstrationsvorhaben Bioenergie (BMELV/FNR)
Zinsgünstige Kredite für Investitionen	X	X	X	X	Sonderkreditprogramm Umweltschutz und Nachhaltigkeit (Landwirtschaftliche Rentenbank)
Zinsgünstige Kredite für Innovationen (z. B. Biogasanlagen, Ölmühlen, Biodieselanlagen)	X	X	X	X	Sonderkreditprogramm Umweltschutz und Nachhaltigkeit (Landwirtschaftliche Rentenbank)
Zuschuss zu Investitionen (z. B. Spezialmaschinen; Biogas- und Biomasseanlagen, Biomasseverfeuerung)	X	X	X	X	Rahmenplan der GAK - einzelbetriebliche Investitionsförderung (BMELV/Länder)
Mindestvergütung für Strom aus Biomasse	X		X		Erneuerbare Energien Gesetz (EEG), Biomasseverordnung ((BMU)
Zuschuss zu Investitionen (Biomasseanlagen; plus Innovationsbonus für Emissionsminderung)		X	X		erneut aufgelegtes Marktanzreizprogramm ab 1/2007 (BMU/BMELV und BAFA)
zinsvergünstigte Darlehen und Teilschulderlässe (Biomassekessel)			X		neues Marktanzreizprogramm ab 1/2007 (BMU/BMELV und KfW); Regelung noch offen
z. B. (a) Verpflichtung zum anteiligen Mindesteinsatz von Wärme aus regenerativen Quellen oder Ersatzabgabe, (b) Investitionsförderung (Bündnis 90/Die GRÜNEN) Antrag 12/2006)			X		Erneuerbare Energien Wärmeengesetz EEW (geplant) (BMU)
Zuschlag zur Vergütung von KWK-Strom			X		Kraft-Wärme-Kopplung-Gesetz (für KWK-Strom, auch aus Biomasse; aber nicht wenn nach EEG vergütet wird)
Steuerbegünstigung bzw. -freistellung für u. a. Land-				X	Biokraftstoffquotengesetz; Energiesteuerge-

Bioenergieträger	Strom	Wärme	Kraft Wärme	Bio-kraft-stoffe	Rechtsgrundlage
Maßnahme					Zuständigkeit
wirtschaft					setz (BMF)
Beimischungsverpflichtung zum herkömmlichen Kraftstoff				X	Biokraftstoffquotengesetz; Bundesimmissionschutzgesetz (BMF)
Zuschuss zu Investitionen (Eigenverbrauchstankstellen für Biokraftstoffe und Umrüstung auf Biodiesel in Land- und Forstwirtschaft)				X	Markteinführungsprogramm Nachwachsende Rohstoffe mit entspr. Richtlinien (BMELV/FNR)

Sachsen

Im Biomassekonzept (SMUL 2003) wurden als Aufgabenschwerpunkte formuliert:

- Öffentlichkeitsarbeit, Verbraucheraufklärung und Motivation
- Förderung
 - Forschungsvorhaben zur Biomassebereitstellung und Logistik, Verbesserung des Verbrennungsverhaltens und zur Emissionsminderung
 - Verfahrensentwicklung,
 - Modell- und Demonstrationsvorhaben zum Stand der Technik,
 - Pilotprojekte mit innovativen Lösungen;
 - verstärkter Ausbau von Holzenergienutzung (Kumulierung des Bundes- und Landesförderung; Flexibilisierung des Landes-Förderprogramms; Holzpelletproduktion und -logistik; Logistikzentren für Bioenergieträger, Forstbetriebsgemeinschaften)
 - Weiterführung der Investitionsförderung in landwirtschaftlichen Unternehmen

Über die Forschungsförderung und Öffentlichkeitsarbeit des Freistaates und die Agrarinvestitionsförderung (s. Kap. 2.2.2) hinaus ist das Immissions- und Klimaschutz-Programm das zentrale Anreizinstrument zur Förderung von Bioenergieanlagen in Sachsen (vgl. Tab. 2–3).

Tab. 2–3: Ergänzende Maßnahmen des Freistaates Sachsen zur Förderung der energetischen Verwendung von Biomasse

Bioenergieträger/ Maßnahme	Strom	Wärme	Kraft-Wärme	Kraft-stoffe	Rechtsgrundlage
Zuschuss zu Investitionen (z. B. Biomasseverbrennung, Biogasanlagen)	X	X	X		Richtlinie über die Gewährung von Fördermitteln für Vorhaben ... einschl. der Nutzung erneuerbarer

					Energien vom 16.02.2006
--	--	--	--	--	-------------------------

In Tab. 2–4 sind Maßnahmen und Entwicklungsansätze in Stichpunkten zusammengefasst, die aus der Sicht des SMUL und des LfL künftig weiter zu unterstützen sind, um das in Sachsen vorhandene Potenzial von Biomasse bei der Erzeugung von Energie zu nutzen. Die Schwerpunkte liegen weiterhin bei der Technologieförderung von Bioenergieanlagen und der Anbauerprobung von Energiepflanzen einschließlich schnell wachsender Baumarten. Darüber hinaus neu empfohlen werden die ökologisch-ökonomische Bewertung der gesamten Prozesskette im Bereich der Energiepflanzen und Reststoffe sowie die Erarbeitung von Anbau- und Verwertungsempfehlungen.

Tab. 2–4: Maßnahmen und Entwicklungsansätze zur Förderung der Verwendung von Biomasse bei der Energieerzeugung in Sachsen

Energieträger	Prozesskette und Untersuchungsgegenstand	Institution	Quelle
Biogas	<u>Strom und Wärme</u> <i>Biogasanlagen:</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einsatz von Co-Fermentaten, Energiebilanz, Wirtschaftlichkeit ▪ Untersuchung und Bewertung organischer Stoffe aus landwirtschaftlichen Betrieben zur Erzeugung von Biogas in Co-Fermentationsprozessen ▪ Demonstration und Entwicklung des Verfahrens der Trockenfermentation zur Nutzung in der landwirtschaftlichen Praxis 	LfL	Schwarze (o.J.) (Rede anlässl. Facharbeitskreis Biomasse, unveröffentlicht)
	<i>Biomassekraftwerke:</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ zur Erhöhung des Wirkungsgrades stärkere Nutzung der Wärme 	SMUL	Positionspapier vom Januar 2006
Festbrennstoffe	<u>Wärme:</u> <u>Stroh:</u> <i>Energiepflanzen</i> (schnell wachsende Baumarten, ein- und mehrjährige Gräser, Getreideganzpflanzen): <ul style="list-style-type: none"> ▪ Anbauerprobung <i>Reststoffe:</i> größtes Potenzial Stroh und Waldrestholz	LfL	Schwarze (o.J.) (Rede anlässl. Facharbeitskreis Biomasse, unveröffentlicht)
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wegen Emissionen Verbrennung fester Biomasse in größeren, dem Stand der Technik entsprechenden Anlagen 	SMUL	Positionspapier vom Januar 2006
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Initiativen zur Getreideverbrennung 	SMUL	Positionspapier vom Januar 2006
Kraftstoffe	<i>Energiepflanzen:</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Anbau von Getreide für die Bioethanolproduktion (z. B. Zeitz und Zörbig): <ul style="list-style-type: none"> - Prüfung von Arten und Sorten sowie Düngungs- und Pflanzenschutzvarianten; - Verbundvorhaben mit anderen Ländern zu Sortenempfehlungen) ▪ Holz von schnell wachsenden Arten aus Kurzumtrieb für BtL-Kraftstoffe (z. B. Carbo-V-Verfahren, Freiberg): <ul style="list-style-type: none"> - Versuchsanbau 	LfL	Schwarze (o.J.) (Rede anlässl. Facharbeitskreis Biomasse, unveröffentlicht)
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beimischungspflicht/Biokraftstoffquote unterstützen ▪ Erhalt einer Mineralölsteuerbefreiung oder zumindest -ermäßigung 	SMUL	Positionspapier vom Januar 2006

Energieträger	Prozesskette und Untersuchungsgegenstand	Institution	Quelle
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pflanzenöl auch als Alternative für Heizöl 	SMUL	Positionspapier vom Januar 2006
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forschungs- und Entwicklungsbedarf zum verstärkten Einsatz von Biokraftstoffen zwischen Politik, Wissenschaft und Wirtschaft koordinieren ▪ Einbeziehung von Energieholzplantagen 	SMUL	Positionspapier vom Januar 2006
übergreifend	<u>alle Prozessketten:</u> <i>Energiepflanzen und Reststoffe:</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ökologisch-ökonomische Bewertung der gesamten Prozesskette 	LfL	Schwarze (o.J.) (Rede anlässl. Facharbeitskreis Biomasse, unveröffentlicht)
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Errichtung des deutschen Biomassezentrums in Leipzig unterstützen ▪ Erarbeitung von Empfehlungen zur Förderung von Anbau und Verwertung nachwachsender Rohstoffe im Freistaat Sachsen 	SMUL	Positionspapier vom Januar 2006
	<u>Energieeinsparung und Energieeffizienz:</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rauchgasreinigung bei kleineren Kesseln ▪ Mitverbrennung von Getreideganzpflanzen im Biokraftwerk Delitzsch GmbH ▪ Getreide für Ethanolherstellung - Optimierung von Anbauverfahren und Qualität 	LfL	Schwarze (o.J.) (Rede anlässl. Facharbeitskreis Biomasse, unveröffentlicht)

2.2 Weitere politische Rahmenbedingungen

Neben der Energiepolitik soll der Ausbau der energetischen Nutzung von Biomasse auch einen künftig weiter steigenden Beitrag zur Klimaschutz-, Agrar-, Forst- und Naturschutzpolitik leisten.

2.2.1 Klimaschutzpolitik

Die Europäische Gemeinschaft und ihre Mitgliedstaaten haben sich im Rahmen des Kyoto-Protokolls verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen gemeinschaftlich bis zum Zielzeitraum 2008 bis 2012 gegenüber dem Basisjahr 1990 (bzw. 1995) um 8 % zu mindern. Es wurde eine interne Verteilung der Emissionslasten auf die einzelnen Mitgliedstaaten vereinbart, die mit der Ratifizierung des Kyoto-Protokolls durch die EG am 31. Mai 2002 bestätigt wurde (Entscheidung des Rates vom 25. April 2002, 2002/358/EG). Im Rahmen der Vereinbarung hat sich Deutschland zu einer Verringerung seiner Treibhausgasemissionen

um 21 % gegenüber dem Basisjahr 1990 bis zum Zeitraum 2008 bis 2012 verpflichtet. Auf das noch anspruchsvollere Ziel, bis 2005 gegenüber dem Basisjahr 25 % der CO₂-Emissionen zu mindern, legte sich Deutschland bereits 1990 freiwillig fest und bestätigte dies im nationalen Klimaschutzprogramm (BUNDESREGIERUNG 2000), in der Nachhaltigkeitsstrategie (BUNDESREGIERUNG 2002) sowie zuletzt in den Koalitionsvereinbarungen von CDU und SPD 2005. (Zu den Klimaschutzzielen im Detail siehe Tab. 2–5)

Der Klimaschutz ist in den letzten Jahren zum zentralen Thema der Umweltpolitik geworden. Es ist zu befürchten, dass Wetteranomalien mit hohen Schadenskosten, wie etwa die Oder-Hochwasser 1997/2004, die Elbe-Hochwasser 2002/2006, die extreme Dürre 2003 oder milde Winter wie derzeit stärker zunehmen werden. Dass solche Anomalien auf den beginnenden Klimawandel hindeuten, erscheint immer plausibler.

Dennoch läuft die Emissionsentwicklung auf globaler und europäischer Ebene bisher den internationalen Verpflichtungen und der generellen Wahrnehmung entgegen. Beispielsweise wurde das nationale CO₂-Minderungsziel bis 2005 nicht erreicht (SRU 2004, Tz.14).

Nicht nur der befürchtete Klimawandel, sondern auch die Begrenztheit der fossilen Energieträger und steigende Energiepreise verlangen neue Wege der Energieerzeugung.

Deshalb haben EU, Bund und Länder in den vergangenen zwei Jahren im Bereich der Klimaschutz- und Energiepolitik anspruchsvolle Maßnahmen zur verstärkten Minderung der Emissionen beschlossen. Zu den Strategien der Klimaschutzpolitik gehört neben der Effizienzsteigerung bei der Umwandlung von Energie und beim Endverbrauch vor allem die Abkehr von fossilen Energieträgern als Primärenergieträger.

Tab. 2–5: Klimaschutzziele (MÜSCHEN 2007)

Klimaschutzziele von Deutschland	
Umweltqualitätsziele:	<ul style="list-style-type: none">▪ Begrenzung des weltweiten Temperaturanstiegs auf höchstens 2°C über dem Niveau des 19. Jahrhunderts▪ Maximale Treibhausgas (THG)-Konzentration in der Atmosphäre 400 ppm CO₂-Äquivalent
Umwelthandlungsziele:	<ul style="list-style-type: none">▪ Bis 2020 Stopp des Anstiegs▪ Bis 2050 Hälfte der THG von 2005▪ Industriestaaten: bis 2050 80 % THG▪ Deutschland: bis 2020 Senkung der THG um 40 %
Klimaschutzprogramm Sachsen	
Umwelthandlungsziel:	Für den Zeitraum 2005 bis 2010: <ul style="list-style-type: none">▪ Reduzierung der jährlichen CO₂-Emissionen in den vier Bereichen Verkehr, Privathaushalte, Kleinverbraucher und Industrie um 2,5 Mio t

Die Sächsische Staatsregierung unterstützt ausdrücklich die Bemühungen zum Klimaschutz. Im KLIMASCHUTZPROGRAMM des Freistaates Sachsen (SMUL 2001) wird erklärt, dass sie dazu beitragen will, die im internationalen Vergleich anspruchsvolle nationale Zielsetzung zu erfüllen und dazu Ziele und Maßnahmen zum Ausbau der Nutzung von erneuerbaren Energien definiert. Für den Zeitraum von 2005 bis 2010 sollen jährlich 2,5 Mio. t weniger CO₂ emittiert werden. Kern des Klimaschutzprogramms ist wie auf Bundesebene die Steigerung der Energieeffizienz und der Einsatz regenerativer Energien (Abb. 2–1).

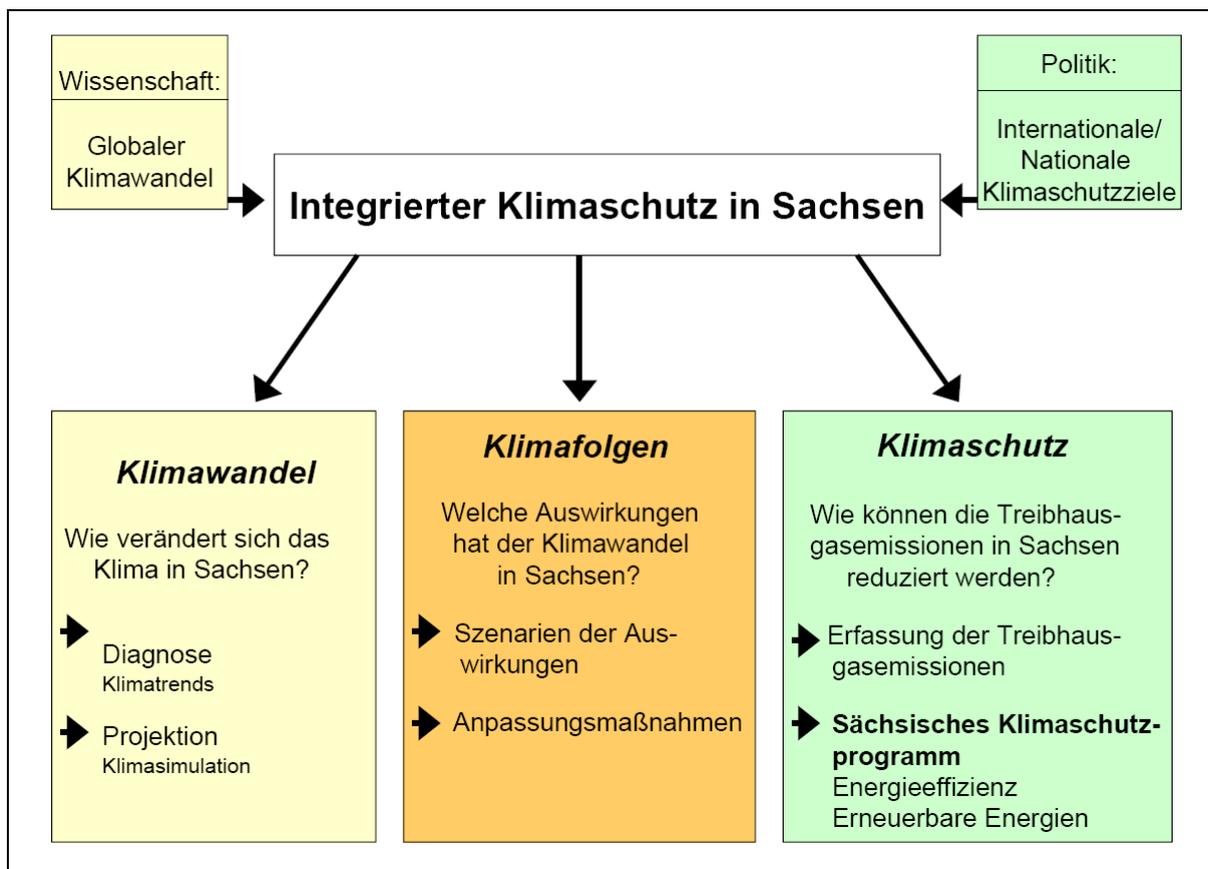


Abb. 2–1: Integrierter Klimaschutz in Sachsen (SMUL, o.J.)

2.2.2 Agrarpolitik und Politik für den ländlichen Raum

Übergreifendes Ziel ist die Schaffung von Einkommensalternativen außerhalb der Nahrungsmittelerzeugung im Rahmen einer multifunktionalen Landwirtschaft und die Stärkung der Beschäftigung, insbesondere im ländlichen Raum.

Die Möglichkeiten der Biomasseproduktion als auch die Herstellungskosten werden europaweit entscheidend von den folgenden agrarpolitischen Rahmenbedingungen geprägt:

- laufende technische Fortschritte
in Form von Ertragssteigerungen bei der agrarischen Rohstoffproduktion und bei der Rohstoffumwandlung, d. h. bei der Energieerzeugung und bei der Futtermittelverarbeitung in der tierischen Veredlung;
- WTO-Verpflichtungen zur Rückführung subventionierter Exporte überschüssiger Agrarprodukte der Europäischen Union sowie laufende Verhandlungen zur Rückführung der Agrarsubventionen;
- Entkopplung der bisher produktbezogenen Preisausgleichszahlungen für Getreide, Ölfrüchte und tierische Produkte, was zu einer stärkeren Flächenfreisetzung führen kann;
- EU-Osterweiterung, die zu schwer einschätzbaren Produktionssteigerungen, insbesondere bei Getreide und Ölfrüchten, führen kann.

Dabei steht die Agrarmarkt- und Strukturpolitik in einem wechselseitigen Verhältnis zur Biomasseförderung. Denn je besser die Bedingungen für die konkurrierende Nahrungs- und Futtermittelerzeugung sind, desto stärker ist die Biomasseproduktion im Prinzip dem Wettbewerb mit ihr ausgesetzt und umgekehrt.

Je stärker auf der einen Seite die Biomasseerzeugung zu energetischen Zwecken gefördert und langfristige Subventionserwartungen geweckt werden und währenddessen auf der anderen Seite im Bereich der Nahrungsmittelerzeugung Subventionen Schritt für Schritt abgebaut werden, desto stärker werden die Verwerfungen sein und desto weniger wird sich ein freier Markt entwickeln können (siehe Kap. 2.3).

Die Produktionsentwicklung der deutschen und europäischen Landwirtschaft wird maßgeblich durch die zentralen Bestimmungen der Uruguay-Runde des GATT bestimmt. Sie geben den Rahmen für das Niveau der inländischen Stützung, den Umfang der Exportsubventionen und den Marktzugang vor und verlangen, dass die EU durch Abbau der inländischen Stützung mehr internationalen Wettbewerb auf den Binnenmarkt zulässt, weniger agrarische Überschussprodukte mit hohen Subventionen auf dem Weltmarkt exportiert und Drittländern einen höheren Mindestmarktzugang ermöglicht.

Auf Grund dieser Verpflichtungen wurde die europäische Agrarpolitik in den vergangenen 15 Jahren bis hin zur Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) im Jahre 2003 mehrfach angepasst und reformiert. Nachfolgende Tab. 2–6 fasst die Säulen der GAP und die für die Erzeugung von Biomasse relevanten Aspekte in einer Übersicht zusammen.

Tab. 2–6: Übersicht über Bereiche und Maßnahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik
(aus <http://www.smul.sachsen.de/de/wu/landwirtschaft/gap/index.html> am 16.01.2007)

Gemeinsame Agrarpolitik
1. Säule: Marktordnung
<p>ab 2007 finanziert durch Europäischen Garantiefonds für die Landwirtschaft (EGFL)</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Direktzahlungen (Flächen- und Tierprämien)▪ Verbleibende Marktordnungsausgaben <p>Eines der Hauptelemente der Reform der ersten Säule ist, dass die als Flächen- oder Tierprämien bekannten Direktzahlungen nicht mehr an die einzelnen Produkte und Produktmengen gebunden sind (Entkopplung). Dadurch erhalten Landwirte mehr Entscheidungsfreiheit und können das produzieren, was der Markt verlangt. Die Direktzahlungen sind an die Einhaltung bestimmter Bewirtschaftungsstandards geknüpft. Sie umfassen die Bereiche Umwelt, Lebensmittelsicherheit, Tier-/Pflanzengesundheit und Tierschutz. Damit soll eine nachhaltige Landwirtschaft gestärkt werden. Diese Regelungen werden als "Cross Compliance" bezeichnet. Wenn die Bewirtschaftungsstandards nicht eingehalten werden, kann es zur Kürzung oder Streichung der staatlichen Zahlungen kommen.</p> <p>Die Reformen bei den Direktzahlungen und Marktordnungen wurden weitestgehend abgeschlossen und in das deutsche Umsetzungsmodell integriert.</p> <p>Im Februar 2006 beschloss der Agrarrat die Zuckermarktreform zur Preissenkung in mehreren Schritten und zur Zahlung von betriebsindividuellen Ausgleichen.</p>
2. Säule: Strukturpolitik für den ländlichen Raum
<p>ab 2007 finanziert durch Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER)</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Flächenbezogene und investive Förderung der Entwicklung des ländlichen Raumes durch ELER für die Förderperiode von 2007 bis 2013 (VO(EG) Nr. 1698/2005) <p>Es wurden Änderungen sowohl bei den flächenbezogenen Fördermaßnahmen (Agrarumweltmaßnahmen; Benachteiligte Gebiete; NATURA 2000-Gebiete) als auch bei der Förderung von investiven Maßnahmen vorgenommen, die im Einzelnen zu entnehmen sind aus:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ der nationalen Strategie▪ der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) als inhaltliche und finanzielle Rahmenregelung für die Länderprogramme und▪ dem jeweiligen Entwicklungsprogramm der Bundesländer (hier: Entwicklungsprogramm für den ländlichen Raum im Freistaat Sachsen 2007 – 2013 (Entwurf vom 10.11.2006))

Im Einflussbereich der *Marktordnungspolitik* bedeutsame Rahmenbedingungen für die Erzeugung von Biomasse sind

- die veränderte Preisentwicklung und Wettbewerbsfähigkeit der Nahrungsmittelerzeugung, insbesondere bei Getreide, Ölsaaten und Zuckerrübe,
- der tendenziell rückläufige Flächenbedarf in der Milch- und Rindfleischproduktion infolge der Preissenkungen,
- die in der Tendenz rückläufige Entwicklung der obligatorischen und freiwilligen Flächenstilllegung und
- die Gewährung der Energiepflanzenprämie.

Im Bereich der *Strukturpolitik* relevante Einflussgrößen für die Erzeugung und die energetische Verwendung von Biomasse sind

- die Gewährung einer flächenbezogenen Ausgleichszulage in benachteiligten Gebieten auf stillgelegten Flächen beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen sowie
- Zulagen zur Modernisierung von landwirtschaftlichen Betrieben durch Investitionen zur Erzeugung und Nutzung von regenerativen Energien sowie durch Umstellung auf regenerative Energien.

Darüber hinaus haben im Agrarbereich *Maßnahmen des Natur- und Umweltschutzes* einen Einfluss auf die Erzeugung von Biomasse. In Bezug auf die für die Energieerzeugung zur Verfügung stehende Fläche zu berücksichtigende Faktoren sind

- das Anspruchsniveau der Bewirtschaftungsstandards im Rahmen des Cross Compliance,
- der Umfang der Agrarumweltmaßnahmen,
- die Ausdehnung des ökologischen Landbaus und
- der Umfang der Bewirtschaftung von Natura-2000-Gebieten gemäß Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG vom 2. April 1979) und FFH-Richtlinie (92/43/EWG vom 21. Mai 1992) sowie von Flusseinzugsgebieten gemäß Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG vom 23. Oktober 2000).

2.2.3 Forstpolitik

Energie-, wirtschafts-, umwelt- und agrarpolitische Beschlüsse haben derzeit den stärksten Einfluss auf die Mobilisierung forstlicher Potenziale, weil auf EU-Ebene eine koordinierte und kohärente Forstpolitik nicht stattfindet. Forstpolitik findet insofern eher über andere Politikfelder vermittelt statt.

Durch die energiepolitischen Rahmenbedingungen und insbesondere durch das Ziel, den Einsatz von Biomasse für die Energieerzeugung zu fördern, werden sich direkte Auswirkungen auf die Forstwirtschaft ergeben. Auf Grund der generellen politischen Ausrichtung in Richtung nachhaltige Entwicklung, Erhöhung des Anteils regenerativer Energie etc. erscheint es wahrscheinlich, dass die energetische Nutzung von Holz auf Ebene der EU künftig eine stärkere Förderung erfahren wird.

Für Deutschland stellen das INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT et al. (2005) in diesem Kontext fest, dass die auf nationaler Ebene im EEG getroffenen Regelungen, die vornehmlich energie- und umweltpolitische Ziele umsetzen sollen, eine viel größere Wirkung auf die Mobilisierung forstlicher Biomassepotenziale haben, als forstpolitische Beschlüsse des Bundes und der Länder. Eine hohe Bedeutung für die stark angestiegene Verwendung von holzartigen Festbrennstoffen (Verwendung von Waldrestholz) haben darüber hinaus auch Investitionsanreize im Bereich der Verwertung, wie etwa das Marktanzreizprogramm zur Förderung der regenerativen Wärmeerzeugung. Noch größere Impulse für die

Holznutzung sind vermutlich von einem Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEW) zu erwarten, nach dem u. a. der Einsatz von Biomasse honoriert werden würde. (Laut AP-Meldung vom 17.01.2007 hofft Umweltminister Sigmar Gabriel, sich in der Koalition bis Mitte 2007 auf einen Gesetzentwurf einigen zu können.)

Ein weiterer wichtiger Bereich, über den forstpolitische Maßnahmen möglich sind, ist die Gemeinsame Agrarpolitik bzw. die Politik für den ländlichen Raum; sie ist Grundlage forstlicher Förderung. Die Förderung des ländlichen Raums im Bereich der Forstwirtschaft umfasst nach der ELER-Verordnung (VO(EG) Nr. 1698/2005) wie für die Landwirtschaft u. a. die Wettbewerbsfähigkeit und die Verbesserung der Umwelt und Landschaft. Verglichen mit der alten VO (EG) Nr. 1257/1999 werden Maßnahmen im forstlichen Bereich ausgeweitet. Als neue, im Hinblick auf erneuerbare Energien wichtige Maßnahme, kann die Förderung von Agroforstsystemen gesehen werden. Hierunter fallen u. a. Kurzumtriebsplantagen, die auch energetisch genutzt werden können (vgl. Kap. 6.2.2).

In Deutschland erfolgt die Umsetzung über die GAK in den Bundesländern. Für die Nutzung von Biomasse relevante Schwerpunkte der Förderung forstwirtschaftlicher Maßnahmen im Rahmenplan der GAK 2006 bis 2009 sind:

- Waldbauliche Maßnahmen
- Forstwirtschaftlicher Wegebau
- Forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse
- Erstaufforstungsprämie
- Maßnahmen auf Grund neuartiger Waldschäden
- Verbesserung und Rationalisierung der Bereitstellung, Bearbeitung und Vermarktung forstwirtschaftlicher Erzeugnisse
- Förderung von Maßnahmen zur Erhöhung der Stabilität der Wälder

In der GAK ist die Förderung von Erstaufforstungen zum Zweck des Kurzumtriebsanbaus allerdings ausgeschlossen.

Die Förderbestimmungen von Sachsen für die Erstaufforstung landwirtschaftlicher Flächen sind bislang in der Richtlinie 93/03 zur Ökologischen Waldmehrung und für die anderen Maßnahmen in der Richtlinie 52/04 zur Förderung der naturnahen Waldbewirtschaftung und der Forstwirtschaft festgelegt. Neuregelungen infolge der ELER-Verordnung und des neuen Rahmenplans der GAK sind im Entwurf zur Richtlinie zur Förderung von flächenbezogenen Agrarumweltmaßnahmen und der ökologischen Waldmehrung im Freistaat Sachsen (Förderrichtlinie Agrarumweltmaßnahmen und Waldmehrung – AuW/2007, Stand vom 12.12.2006) angelegt und beinhalten ebenfalls den Ausschluss der Förderung von Kurzumtriebsanlagen.

2.2.4 Naturschutzpolitik

Im Rahmen der Naturschutzpolitik werden Flächenansprüche formuliert, die zum Teil qualitativ rechtlich fixiert sind. Die Anforderungen an die Bewirtschaftung und Pflege dieser Flächen stehen grundsätzlich in Konkurrenz zum Anbau von Energiepflanzen; eine energetische Verwertung des Aufwuchses wäre aber grundsätzlich möglich.

Die Europäische Union hat mit der *FFH-Richtlinie* in Anhang I insgesamt 198 besonders schützenswerte „natürliche oder naturnahe Lebensraumtypen“ für Europa festgelegt, für die Schutzgebiete ausgewiesen werden sollen. Im Freistaat Sachsen kommen davon ca. 50 vor. Von den 706 in Anhang II der FFH-Richtlinie benannten besonders zu schützenden Tier- und Pflanzenarten sind bisher über 40 in Sachsen nachgewiesen.

Dazu kommen noch etwa 40 Vogelarten des Anhangs I der *Vogelschutzrichtlinie*, die in Sachsen brüten. Hierfür sind von den Mitgliedsstaaten ebenfalls „Besondere Schutzgebiete“ auszuweisen, die den Erhalt und die Entwicklung der Lebensräume und Arten sichern sollen.

Für die Meldung an die EU-Kommission hat Sachsen 270 Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung (kurz: FFH-Gebiete) vorgeschlagen. Zusammen mit den 20 gemeldeten europäischen Vogelschutzgebieten („SPA-Gebiete“) soll ein zusammenhängendes, flächendeckendes Schutzgebietsnetz – das „kohärente ökologische Netz NATURA 2000“ – entstehen. Die Errichtung und der Schutz des europäischen Biotopverbunds ist nach § 22a im Sächsischen Naturschutzgesetz verankert.

Eine quantifizierte Zielvorstellung über den Anteil an Biotopverbundfläche gibt es nach dem Sächsischen Naturschutzgesetz nicht; wohl aber gibt es die fachliche Zielvorstellung, 10 bis 15 % der Landesfläche für die Belange des Naturschutzes zu sichern (LFUG 2001, S. 24).

Darüber hinaus hat das LFUG (2001) *Umwelthandlungsziele* formuliert, die in Konkurrenz zum Anbau von Energiepflanzen stehen. Von den Zielflächen ist aber Biomasse aus Landschaftspflegemaßnahmen zu erwarten:

- Erhöhung des Anteils „ökologischer Landbau“ auf mindestens 10 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche Sachsens bis 2005
- Erhalten bzw. Wiedereinbringen typischer Flurelemente der Agrarlandschaft (Parzellenmosaik, Hecken, Solitärgehölze, Feldraine etc.) in ausgeräumten Landschaften
- Einrichtung extensiv genutzter Pufferzonen zu naturnäheren Landschaftsbestandteilen (Waldränder, Moore, Gewässer, Magerrasen etc.)
- Rückwandlung von Ackerflächen in Dauergrünland

Wie und wo Flächen für die Umsetzung dieser Ziele zu ermitteln sind, haben mehrere Studien im Auftrag des LFUG gezeigt, die in FELDWISCH & MEYER-MARQUART (2006) zusammengefasst sind.

Vorstehend wurden im Wesentlichen Vorgaben berücksichtigt, die im Sinne der Themenstellung dieses Kapitels einen Einfluss auf die flächenbezogene Ausdehnung der Erzeugung und des Anbaus von Biomasse haben. Anforderungen an den Anbau und die Verwertung sowie anlagebezogene Vorschriften des Umwelt- und Naturschutzrechts werden in Kap. 7.1 berücksichtigt.

2.3 Ökonomische Rahmenbedingungen

Im Rahmen dieser Vorstudie ist es nicht möglich, die verschiedenen Anbausysteme und Technologiepfade für die Verwendung von Biomasse hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit zu vergleichen. Zu berücksichtigen wären u. a. eine kaum mehr überschaubare Anzahl von Verfahren und eine hoch dynamische Preisentwicklung auf den Rohwarenmärkten. Daher sollen an dieser Stelle einige generelle ökonomische Einflussfaktoren für den Ausbau der Biomasse als Energieträger aufgezeigt werden.

Wettbewerbsfähigkeit erneuerbarer Energien gegenüber konventionellen Energien

Ein wesentlicher Einflussfaktor für den Ausbau erneuerbarer Energien sind die Differenzkosten gegenüber konventionellen Energien. Neben der Ausbaudynamik sind dafür vor allem die Preise für fossile Energieträger und die Kosten von Klimaschutzmaßnahmen, z. B. für CO₂-Zertifikate, von Bedeutung: Steigen die Preise für konventionelle Energien und für Umweltmaßnahmen weiter merklich an, so wird prognostiziert, dass die Differenzkosten um 2015 ihr Maximum erreichen und um 2025 negativ werden, d. h., ab diesem Zeitraum haben erneuerbare Energien ihre Wirtschaftlichkeit erreicht. Umgekehrt ist bei niedrigeren Preisen und weniger intensiven Klimaschutzmaßnahmen mit deutlich höheren Differenzkosten für den Ausbau von Erneuerbaren Energien zu rechnen (BMU 2006).

Umgekehrt ist bei der Beurteilung der Wettbewerbsfähigkeit von Bioenergien deren Einfluss auf die zukünftige Rohstoffnachfrage im Auge zu behalten (HENKE 2006): Hohe Ölpreise steigern die Wettbewerbsfähigkeit der Bioenergien (unter der Annahme, dass die landwirtschaftlichen Rohstoffpreise nicht steigen) und verschärfen den Handlungsdruck in der Politik. Die Nachfrage nach Rohstoffen für die Produktion von Bioenergie steigt dann weiter.

Preisniveau fossiler Energieträger

ISERMEYER & ZIMMER (2006) kommen in ihrem Thesenpapier zur Bioenergie-Politik zu dem Schluss, dass das zukünftige Energiepreisniveau unsicher bleibt: Denn auf der einen Seite ist davon auszugehen, dass infolge des weiter steigenden Weltenergiebedarfs und der instabilen politischen Entwicklungen in einigen Ölexportländern die Erdölpreise weiter in die Höhe steigen. Auf der anderen Seite machen hohe Preise die Erschließung alterna-

tiver Energiequellen rentabel und zwingen zu weiteren Anstrengungen bei der Energieeinsparung. Außerdem dämpfen hohe Energiepreise die Konjunktur der Weltwirtschaft und somit die Nachfrage und den Preis von Energie.

TANGERMANN & LAMPE (2007) zitieren dagegen eine Studie der Internationalen Energie-Agentur: Die Arbeit kommt zu dem Ergebnis, dass absehbar nicht mit einem deutlichen Anstieg des realen, also inflationsbereinigten Preisniveaus für Rohöl zu rechnen ist. Für 2010 wird ein Realpreis von nur leicht über dem von 2005 erwartet, für 2015 sogar ein etwas niedriger und für 2030 nur ein um 10 % höherer Preis als 2005. In diesen Schätzungen selbstverständlich nicht enthalten sind nationale steuerpolitische Maßnahmen, etwa zum Klimaschutz. Allerdings räumen TANGERMANN & LAMPE auch ein, dass es bei der Entwicklung des Rohölpreises so viele Erwartungen wie Studien gibt und letztlich alle Angaben mit großen Unsicherheiten behaftet sind.

Einfluss der Energiepreise auf den Agrarsektor

Im Agrarsektor bedeuten hohe Energiepreise steigende Preise. Denn mit steigenden Energiepreisen erhöhen sich nicht nur die Kosten der landwirtschaftlichen Produktion über teurere Treibstoffe, sondern z. B. auch über energieintensive Dünge- und Pflanzenschutzmittel. Bei hohen Erdölpreisen wird global betrachtet jenen Standorten, die Bioenergie kostengünstig erzeugen können, immer mehr Fläche für den Nahrungsmittelerzeugung entzogen, was zu steigenden Preisen auf dem Agrarmarkt führt. Beispielsweise treibt aktuell die Bioethanolerzeugung in den USA die Preise für Mais in die Höhe und im Gefolge die Kosten für die Tierproduktion und schließlich für Nahrungsmittel (FEEDINFO 05.01.2007, 15.01.2007). Allerdings ist nicht zu erwarten, dass ein steigendes Angebot an Bioenergie zu einer spürbaren Dämpfung der Energiepreise führt, weil der Energiemarkt um ein Mehrfaches größer ist als der globale Nahrungs- und Futtermittelmarkt.

ISERMEYER & ZIMMER (2006) schlussfolgern, dass bei hohen Energiepreisen und bei infolgedessen hohen Agrarpreisen davon auszugehen ist, dass Agrarflächen nicht mehr brach fallen bzw. nicht noch weitere Flächen stillgelegt werden müssen. Ob zukünftig Nahrungsmittel oder Biomasse erzeugt werden, hängt von den komparativen Kostenvorteilen ab.

Angebots- und Nachfragesituation am globalen Agrarmarkt

Der Wettbewerb zwischen Nahrungsmittel und Bioenergie wird aktuell beeinflusst durch weltweit betrachtet schlechte Ernten bei gleichzeitig wachsender Nachfrage nach Biomasse für energetische Zwecke. Zum Beispiel beklagen sich zurzeit die deutschen Ethanolhersteller, dass sie ihre Anlagen weit unter der Auslastung fahren, weil die Getreidepreise infolge der knappen Vorräte und des gleichzeitigen Bioenergiebooms in die Höhe geschneit sind (Ernährungsdienst 13.12.2006, Nr. 95, S. 1). Ein weiteres Beispiel sind Pflanzenöle: Die Weltnachfrage nach Pflanzenöl steigt erheblich. 50% des Nachfrage-

booms wird durch die Bioenergien ausgelöst. In Europa hat der Biodieselboom die Nachfrage vor allem nach Rapsöl stark erhöht. 60% des Rapsölkonsums der EU-25 gehen bereits in die Biodieselproduktion. Da sich das Wachstum der Rapsölproduktion verlangsamen wird, weil der Anteil von Raps an der Fruchtfolge auf den geeigneten Standorten an seine Grenzen stößt, steigt die Weltmarktabhängigkeit von Soja- und Palmöl (OIL WORLD ANNUAL 2006, VOL. 1, IN: HENKE 2006). Wegen des zusätzlichen inländischen Bedarfes erhöhen sich trotz steigender Produktion die Importe von pflanzlichen Ölen in die EU; gleichzeitig reduzieren sich die Getreide- und Zuckerexporte. Die Folge sind Marktpreise, die zum Teil erheblich höher liegen, als eine Entwicklung ohne wachsenden Verbrauch an Biokraftstoffen. Eine OECD-Prognose zeigt, dass das für den Zeitraum 2004 bis 2014 zu erwartende Biokraftstoff-Wachstum allein bei Weizen zu etwa 5 bis 7 % höheren Preisen im Vergleich zum Null-Wachstum führen kann (OECD/VON LAMPE 2006, in: ZIMMER 2007; s. Abb. 2–2).

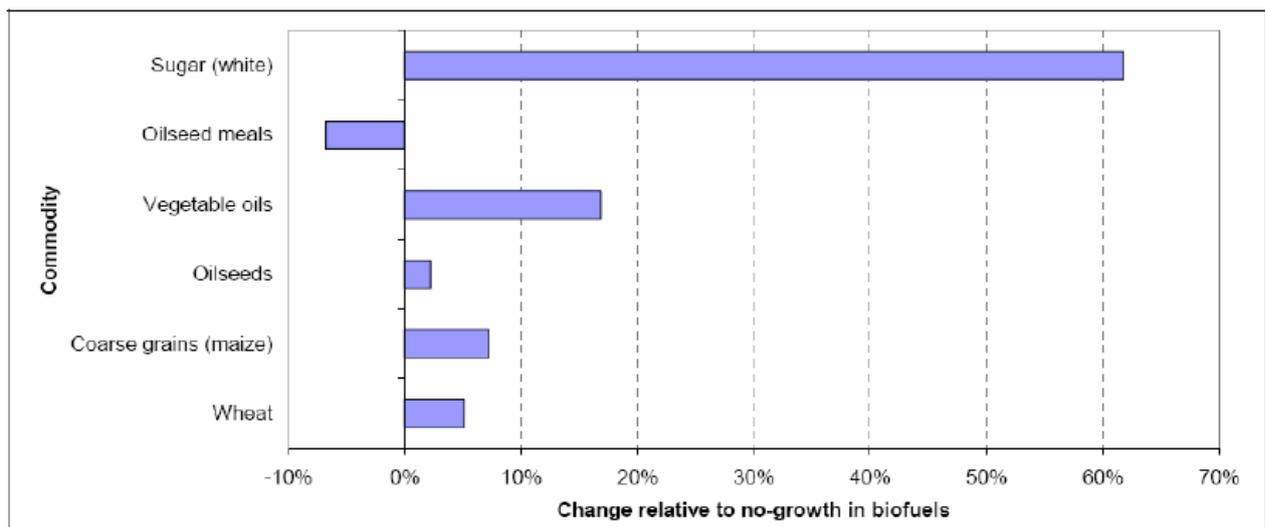


Abb. 2–2: Vorsichtige Preis-Prognosen der OECD (OECD/VON LAMPE 2006, zit. in: ZIMMER 2007)

Einfluss der energiepolitischen Fördermaßnahmen

Neben den Preisen für Energie und CO₂-Zertifikate beeinflussen in bedeutendem Maße die energiepolitischen Fördermaßnahmen die Wettbewerbsfähigkeit der Biomasse. Zum Beispiel machen Ölmühlen die Subventionierung der Bioenergie für die Preisentwicklung verantwortlich: Durch die massive Förderung des Bioenergiesektors würde die aufgrund der aktuellen Erntesituation ohnehin geringe Getreidemenge weiter verknappt (ERNÄHRUNGSDIENST 02.12.2006, Nr. 92, S. 1).

Generell kann festgestellt werden, dass der Staat seine Interventionstätigkeit in den letzten Jahren im Bereich der Umwelt- und Energiepolitik stark ausgedehnt hat, während er sich aus der klassischen Agrarmarktpolitik u. a. aufgrund internationaler Verpflichtungen zurückgezogen hat und dies auch noch weiter tun wird. Kurz gefasst: Es muss ein stetig weiter liberalisierter Lebens- und Futtermittelmarkt mit einem stark subventionierten Energiepflanzenmarkt konkurrieren.

Derzeitige Wettbewerbsfähigkeit von Biomasse

Zur derzeitigen Wettbewerbsfähigkeit von erneuerbaren Energien stellt HENKE (2006) zusammenfassend fest:

- Die Vergütung für regenerativen Strom ist etwa doppelt so hoch wie der Marktpreis (Börsenpreis) für Grundlaststrom.
- Bei Biokraftstoffen variiert die Kostendifferenz zu herkömmlichen Kraftstoffen stark in Abhängigkeit vom Anbau- und Technologiepfad von 0,15 bis 0,60 €/Liter Kraftstoff-äquivalent.
- Im Bereich Wärme ist Biomasse teilweise wettbewerbsfähig, z. B. Holzpellets, Hackschnitzel in Bezug auf die Rentabilität der Investitionskosten (siehe Abb. 2–4). Bei funktionierender Technik sind Getreideheizung und Kurzumtriebsplantagen für Wärmeproduktion sowie Biogas auf Basis von Gülle und Abfällen wirtschaftlich und klimapolitisch sehr attraktiv. (Bezüglich der Wettbewerbsfähigkeit von Kurzumtriebsplantagen kommen PALLAST ET AL. (2006) allerdings zu einem gegenteiligen Ergebnis; vgl. auch Kap. 6.2.2, Ausführungen zur Wirtschaftlichkeit)
- Selbst bei hohen Netto-Energieerträgen pro Flächeneinheit kann der Subventionsbedarf hoch sein, weil die Investitionskosten einen hohen Anteil haben, z. B. bei Biogas (ZIMMER 2007, Abb. 2–3).
- Ein Vergleich der erneuerbaren Energien untereinander zeigt, dass andere erneuerbare Energien z. T. noch weit kostenintensiver sind als Bioenergie, wie beispielsweise Fotovoltaik und Geothermie.

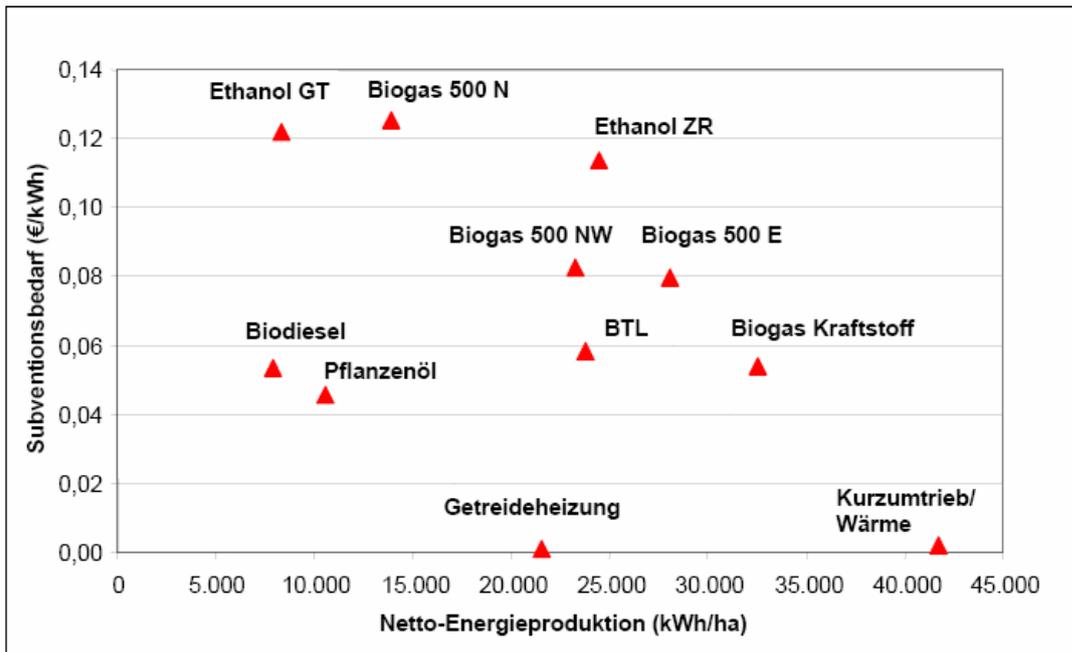


Abb. 2–3: Flächenproduktivität und Subventionsbedarf Bio-Energie (ZIEGENBEIN & ZIMMER 2006, zit. in: ZIMMER 2007)

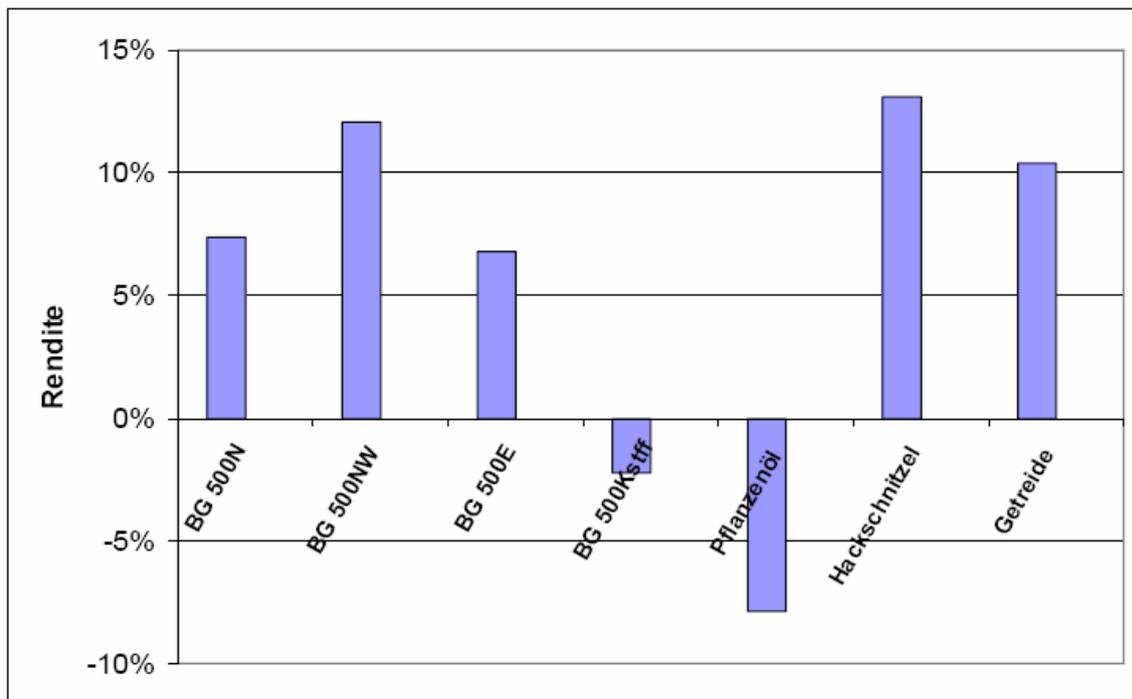


Abb. 2–4: Rentabilität der Investitionen bei verschiedenen Bioenergie-Pfaden (ZIEGENBEIN & ZIMMER 2007, zit. in: ZIMMER 2007)

Internationaler Wettbewerb bei Biomasse

Viele andere Länder außerhalb der Europäischen Union können wesentlich kostengünstiger produzieren und sind ohne Subventionen wettbewerbsfähig, wie etwa Brasilien bei der Ethanolherzeugung (siehe Abb. 2–5; auch: ZIMMER 2007, Abb. 20; TANGERMANN & VON LAMPE 2006, Übersicht 4). Wo global betrachtet am günstigsten produziert werden kann, hängt nach ISERMEYER & ZIMMER (2006) vor allem von folgenden Faktoren ab:

- Erzeugungskosten für die agrarischen Rohstoffe,
- Verarbeitungskosten,
- Verwertung der anfallenden Nebenprodukte und
- Transportkostenrelationen zwischen agrarischen Rohstoffen und Energieträgern.

Nach Auffassung der zuletzt genannten Autoren ist die wissenschaftliche Informationsbasis hierzu noch äußerst lückenhaft und bedarf der weiteren Fundierung.

Eine Abschottung der Europäischen Union gegen überseeische Bioenergie-Importe ist aufgrund internationaler Verpflichtungen und angesichts noch zu führender Verhandlungen im Welthandel unwahrscheinlich. Bei Biodiesel und Ethanol sind erhebliche Importe wahrscheinlich bzw. notwendig. Strom und Wärme aus Biogas sind als „stationäre“ Produkte nicht von Importen bedroht (ZIMMER 2007).

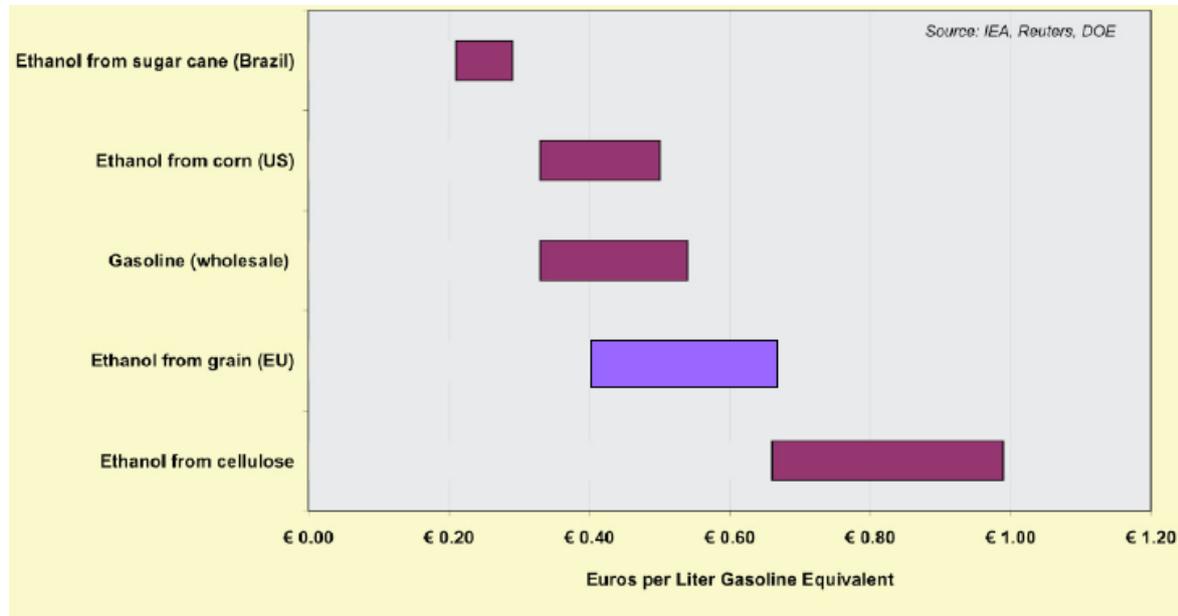


Abb. 2–5: Internationaler Kostenvergleich bei Bioethanol (WWI, FNR, GTZ 2006, zit. in: WIEGMANN & FRITSCH 2006)

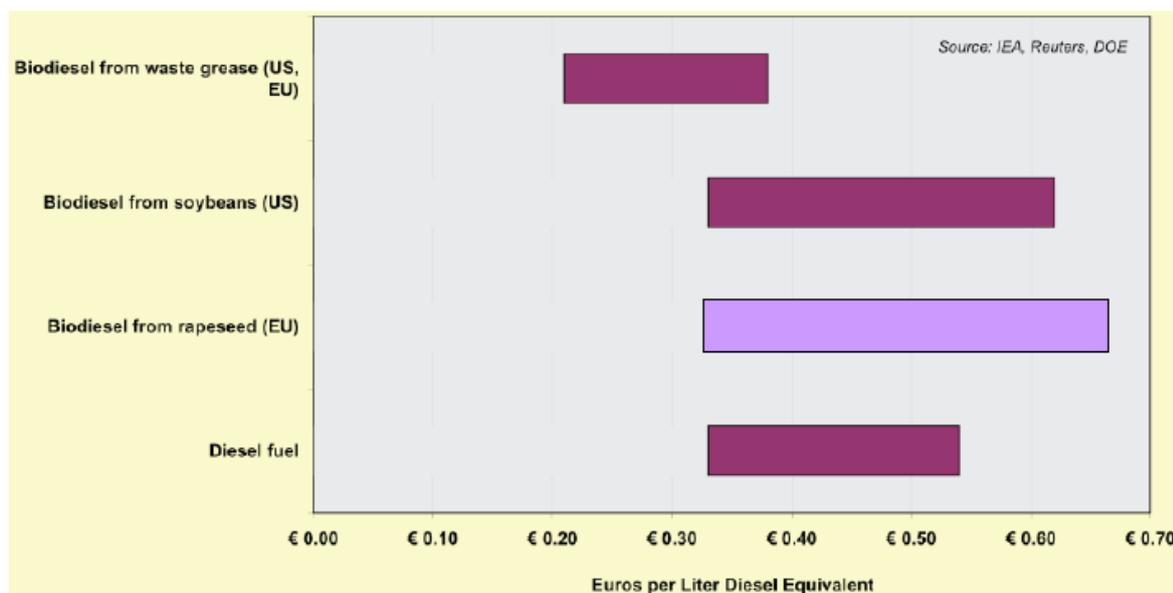


Abb. 2–6: Internationaler Kostenvergleich bei Biodiesel (WWI, FNR, GTZ 2006, zit. in: WIEGMANN & FRITSCH 2006)

Betriebswirtschaftliche Betrachtungen zum Biomasseanbau

Einzelbetrieblich hängt die Wirtschaftlichkeit einzelner Anbau- und Technologiepfade je nach Kostenstruktur in unterschiedlichen Maß im Wesentlichen ab von (HEIßENHUBER & BERENZ 2005, 2006; PALLAST et al. 2006):

- der Effizienz bei der Rohstoff- und Energieproduktion
- den Investitionskosten
- der Entlohnung der Bioenergie
- dem Preis für fossile Energieträger
- politischen Rahmenbedingungen

Im Folgenden wird exemplarisch für die betriebliche Ebene eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von HEIßENHUBER & BERENZ (2005) zu drei Energiepflanzen-Kulturen wiedergegeben. Der Landwirt hat in dem Beispiel die Möglichkeit, als Rohstoffproduzent zu agieren oder zusätzlich als Produzent von Endenergie in Form von elektrischem Strom und im besten Falle auch von Wärme. Letzteres erfordert erhebliche Investitionsmaßnahmen sowie zusätzlich eine starke Beanspruchung der Produktionsfaktoren Arbeit und Boden. Tab. 2–7 gibt die Deckungsbeiträge der untersuchten Kulturen wieder. Für die Kulturart Mais wird eine Differenzierung vorgenommen nach Verkauf des Erntegutes ab Feld bzw. frei Anlage sowie eine Eigenverwertung in einer eigenen Biogasanlage mit und ohne anteilige Wärmenutzung. Für die Variante der Eigenverwertung wurde eine vollständige Zupacht der Flächen unterstellt.

Tab. 2–7: Deckungsbeitragsrechnung zu verschiedenen Kulturen

Kultur		Weizen	Raps	Mais	Mais	Mais	Mais
Erntegut		Korn	Korn	Silage	Silage	Silage	Silage
Verwendung		EtOH	RME	Verkauf frei	Verkauf frei	Biogas	Biogas
Fläche		Eigentum	Eigentum	Feld	Anlage	oWN ¹	mWN ²
				Eigentum	Eigentum	Pacht	Pacht
Ertrag	t/ha	8,0	4,0	45	45	45	45
Erlös	€/t	100 €	200 €	18 €	23 €		
	€/ha	800 €	800 €	810 €	1.040 €	2.980 €	3.020 €
proportionale Spezialkosten	€/ha	570 €	590 €	630 €	860 €	590 €	590 €
Konversionskosten ³	€/ha					1.760 €	1.760 €
Deckungsbeitrag	€/ha	230 €	210 €	180 €	180 €	630 €	670 €
Pachtaufwand	€/ha					420 €	420 €
DB nach Pachtaufwand	€/ha	230 €	210 €	180 €	180 €	210 €	250 €
Arbeit Feld	Akh/ha	7	7	6	15	18	18
Arbeit Biogasanlage	Akh/ha					12	12
Faktorentlohnung Arbeit	€/AKh	32,86 €	30,00 €	30,00 €	12,00 €	7,00 €	8,34 €

¹ oWN: ohne Wärmenutzung
² mWN: mit Wärmenutzung, Ersatz von 10.000 l Heizöl
³ Biogasanlage 240 kW zu 850.000 €, inkl. aller Betriebskosten exkl. Substratkosten Mais

Die Tab. 2–7 zeigt deutlich, dass keines der dargestellten Verfahren zu einer Deckung der Vollkosten, welche bei allen Verfahren in der gleichen Größenordnung liegen, beitragen kann. Der abgeleitete Deckungsbeitrag dient zur Abdeckung der Fixkosten, welche auf dem landwirtschaftlichen Betrieb anfallen. Darüber hinaus sind weitere kalkulatorische Größen wie die betriebseigenen Flächen sowie die eingesetzte familieneigenen Arbeitskräfte zu entlohnen. Die hier unterstellte Situation stellt die Arbeitskraft als den zunächst knappsten Faktor dar und somit wird aus dem Deckungsbeitrag direkt die Faktorverwertung der eingesetzten Arbeit ausgewiesen. Entsprechend weisen arbeitsintensive Verfahren wie die Biogaserzeugung aus Silomais das schlechteste Ergebnis auf.

Da sich allgemein zwischen den einzelnen Verfahren nicht eines als das überzeugendste hervorhebt, gilt es, betriebsindividuell zu überprüfen, welches oder welche sich am besten unter den betriebspezifischen Rahmenbedingungen am ökonomisch sinnvollsten darstellen lässt oder lassen.

Auf betriebswirtschaftlicher Basis wurden bereits eine Reihe von Kostenvergleichen für die verschiedenen Energieträger – Festbrennstoffe, Biogas und Biokraftstoffe – pfadbezogen vorgelegt oder es befinden sich solche derzeit in Bearbeitung. Tab. 2–8 gibt eine begrenzte aktuelle Auswahl wieder.

Tab. 2–8: Auswahl von Wirtschaftlichkeitsanalysen zu Biomasse bzw. Bioenergie, bezogen auf verschiedene Endenergieträger und Produktionspfade

Titel	Auftraggeber/Auftragnehmer bzw. Autor	Anmerkungen
Marktanalyse nachwachsenden Rohstoffe	Meó Consulting Team et al. 2006	bezogen auf stoffliche und energetische Nutzung von Nachwachsenden Rohstoffen
Ökonomische Bewertung des Anbaus und der Nutzung von Energiepflanzen für die Biogasnutzung	AG: BMELV/FNR AN: Justus-Liebig-Universität	Im Verbundvorhaben zum Energiepflanzen-Anbauversuch EVA wird in einem Teilvorhaben eine ökonomische Bewertung des Anbaus und der Nutzung von Energiepflanzen für die Biogasnutzung vorgenommen.
Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse Bd.1 Gesamtergebnisse	AG: BGW und DVGW AN: Wuppertal Institut (2006)	Kosten der Biogaserzeugung, Aufbereitung und Einspeisung (Produktgaskosten) Kostenvergleich der Endenergienutzung (Strom, Wärme, Kraftstoff) im Vergleich zu anderen Pfaden
Schnellwachsende Baumarten – Chance für zusätzliches Einkommen im ländlichen Raum?	PALLAST et al. 2006	bezogen auf Rentabilität von Balsampappel
Biomass-to-Liquid-Realisierungsstudie	dena (2006)	bezogen auf BtL-Kraftstoffe

CO₂-Vermeidungskosten

Zur Frage der Wirtschaftlichkeit gehören aus klimapolitischer Sicht die Kosten, die die angestrebte CO₂-Vermeidung im Vergleich der Bioenergieträger und im Vergleich zu CO₂-Zertifikaten, die ansonsten erworben werden müssen, verursacht. Bei der dafür zugrunde liegenden Bilanz, zu welchen Kosten wie viel CO₂-Emissionen durch die Einsparung fossiler Energien zu vermeiden sind, ist zu berücksichtigen, dass die Produktion von Biomasse unabhängig vom Verwendungszweck nicht klimaneutral ist (Aufwand an Kraftstoff, Dünger, Pflanzenschutzmittel sowie Entstehung von klimaschädlichen Gasen wie z. B. NO₂). Aufgrund der komplexen Zusammenhänge ist die Berechnung der CO₂-Einsparungen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Gleichwohl hat ZIMMER (2007) für die verschiedenen Bioenergiepfade Größenordnungen für die CO₂-Vermeidungskosten zusammengetragen (Abb. 2–7).

Der Vergleich von ZIMMER zeigt, dass neben Ethanol und Biodiesel auch Biogas im Vergleich der Bioenergiepfade und im Vergleich zum CO₂-Börsenpreis sehr hohe Kosten verursacht, wobei die unterschiedlichen Bereitstellungspfade sicher noch differenzierter betrachtet werden müssen. Die wesentlichen Ursachen für diese Unterschiede sind zum einen die unterschiedlich hohen Aufwendungen pro Einheit produzierte Bioenergie sowie das Verhältnis zwischen Input und Output (Energieeffizienz). Mit anderen Worten, je mehr Energie verbraucht wird, um z. B. einen Liter Ethanol herzustellen, umso weniger wird netto an CO₂-Emissionen eingespart und umso teurer wird jede Tonne CO₂, die vermieden wird. Wie teuer einige der bisher geförderten Bioenergiepfade sind, wird nach Auffassung von ZIMMER deutlich, wenn man die günstigeren Alternativen „Getreideverbrennung“ oder andere Formen der Verbrennung von fester Biomasse zur Wärmeerzeugung (z. B. Kurzumtriebsholz) betrachtet – je nach Preisrelation wird sogar ein Gewinn erzielt. Aus diesem Blickwinkel könnte demzufolge mit einer stärkeren Focussierung auf die Wärmeproduktion bei gleichem Aufwand gegenüber der aktuellen Situation ein Vielfaches der positiven Wirkungen biogener Energieträger erreicht werden.

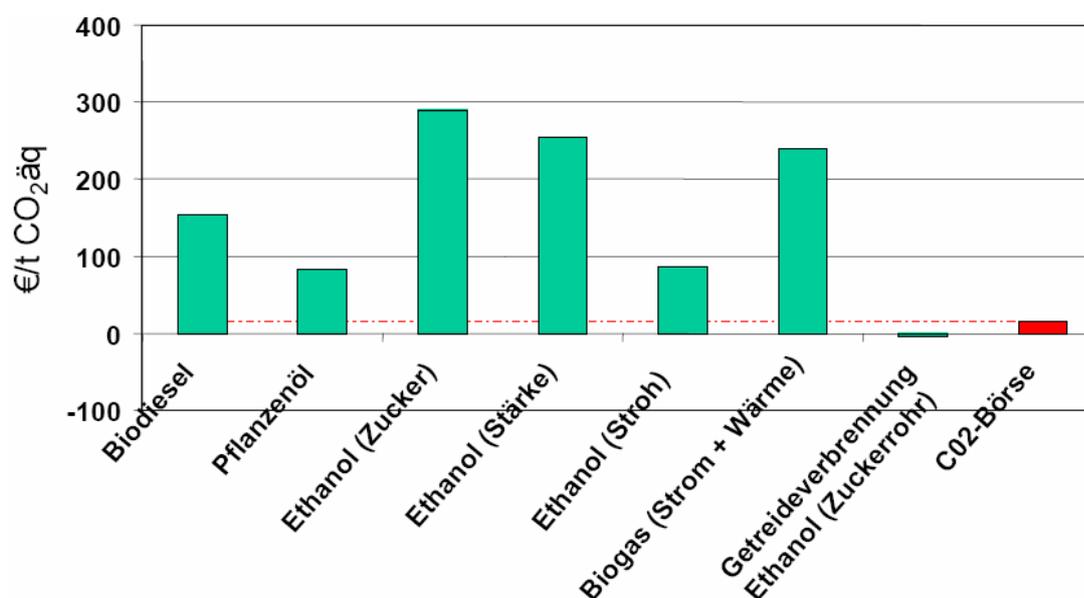


Abb. 2-7: CO₂-Vermeidungskosten (ZIMMER 2007)

Beschäftigungseffekte

Zu der gesamtwirtschaftlichen Betrachtung der positiven Effekte einer Förderung von erneuerbaren Energien gehören die angestrebten Auswirkungen auf Konjunktur und Beschäftigung. Bezogen auf Anbau und Anfall von Biomasse sind besonders die Beschäftigungseffekte im ländlichen Raum von Interesse. ZEDDIES, G. (2006) ist der Auffassung, dass trotz zahlreicher Studien keine eindeutigen Aussagen zu den Beschäftigungseffekten zulässig wären, weil die verwendeten Prognosemodelle hinsichtlich ihrer Geschlossenheit und der Modellannahmen sehr verschieden sind.

Bei aller Vorsicht soll dennoch an dieser Stelle eine Studie im Auftrag des BMU (2006) mit folgendem Ergebnis zitiert werden:

- Im Basisjahr 2004 belief sich die *Bruttobeschäftigung* im Bereich regenerativer Energien in Deutschland auf 157.000 Arbeitsplätze. Davon entfielen 57.000 auf Bioenergie (36 %) und 64.000 auf die Windenergie (41 %) sowie 36.000 auf Sonnenenergie, Wasserkraft und Geothermie (23 %). Unter Zugrundelegung diverser Annahmen, u. a. auch der energiepolitischen Zielstellungen, wird eine Verdopplung der Arbeitsplätze bis 2020 geschätzt.
- Der heutige Ausbauzustand erneuerbarer Energien bewirkt gegenüber einem fiktiven Zustand ohne ihre Nutzung gegenwärtig einen *positiven Nettobeschäftigungseffekt* (d. h. Brutto-Beschäftigungseffekte minus negative Effekte wie Substitution, kleineres Budget bei Energieverbrauchern sowie Außenhandelsbilanz) von etwa 35.000 bis 40.000 Beschäftigten (Ergebnis für das Basisjahr 2004).

- Die Branche ist bisher mittelständisch geprägt. Inwieweit im Sinne der Politik für den ländlichen Raum, besonders in strukturschwachen Gebieten, Netto-Beschäftigungs- und/oder Netto-Einkommenseffekte bei Landwirten erzielt werden, bleibt künftigen Analysen überlassen. Bei grober regionaler Betrachtung konnte aber bereits festgestellt werden, dass der Anteil regionaler Wertschöpfung in Norddeutschland besonders hoch ist (ca. 50 %) und in Ostdeutschland am niedrigsten (ca. 20 %).

Die sektorale Betrachtung von HENKE (2006) ergibt ein anderes Bild: Bioenergien haben in der deutschen Landwirtschaft bereits zu einer Flächenbindung von ca. 1,4 Mio. ha geführt und nehmen einen Großteil der Stilllegungsfläche in Anspruch. Zusätzliche Beschäftigung entsteht in der landwirtschaftlichen Bodenproduktion nur, wenn die genutzte Fläche über die Stilllegungsflächen hinaus ausgedehnt wird. Die Ackerflächen in Deutschland sind aber relativ konstant. Eine tatsächliche Flächenausdehnung ist in Deutschland nur sehr begrenzt möglich. Bei Nichtausdehnung der Flächen kann es in der Landwirtschaft lediglich zu Beschäftigungssicherungseffekten kommen.

Eine weitere Möglichkeit der Beschäftigungssicherung liegt für die Landwirtschaft in der Einbeziehung eines größeren Anteils der Wertschöpfungskette, der über die Rohstoffproduktion hinausgeht, z. B. über Biogasanlagen oder Brennereien, also einer Form der betrieblichen Veredlung, ähnlich der tierischen Veredlung (Erzeugung von Fleisch, Milch und Eiern).

In den Schlussfolgerungen aus seiner Analyse gelangt HENKE (2006) zu der Auffassung, dass das Ziel der Förderung des ländlichen Raums aufgrund der geringen Beschäftigungswirkung nur bedingt erreichbar ist. Dennoch sind Einkommenseffekte aufgrund von Preissteigerungen auf den Agrarmärkten möglich.

Sachsen

Für den Freistaat Sachsen wurde im Auftrag des Energieeffizienzentrums eine Analyse der Beschäftigungs- und Umsatzentwicklung für erneuerbare Energien von 2002 bis 2006 erstellt (SCHLEGEL & WOWTSCHERK 2006). Die Ergebnisse beruhen auf einer Befragung von Unternehmen, Hochschulen und Vereinen. Das Energieeffizienzzentrum leitet aus den Daten ein starkes Wirtschaftswachstums der Branche ab: Die direkt und indirekt Beschäftigten haben 2005 gegenüber dem Vorjahr um 18 % und 2006 nochmals um 10% zugenommen. Der Umsatz ist 2005 gegenüber dem Vorjahr um 15 % angestiegen und 2006 sogar um 30 %.

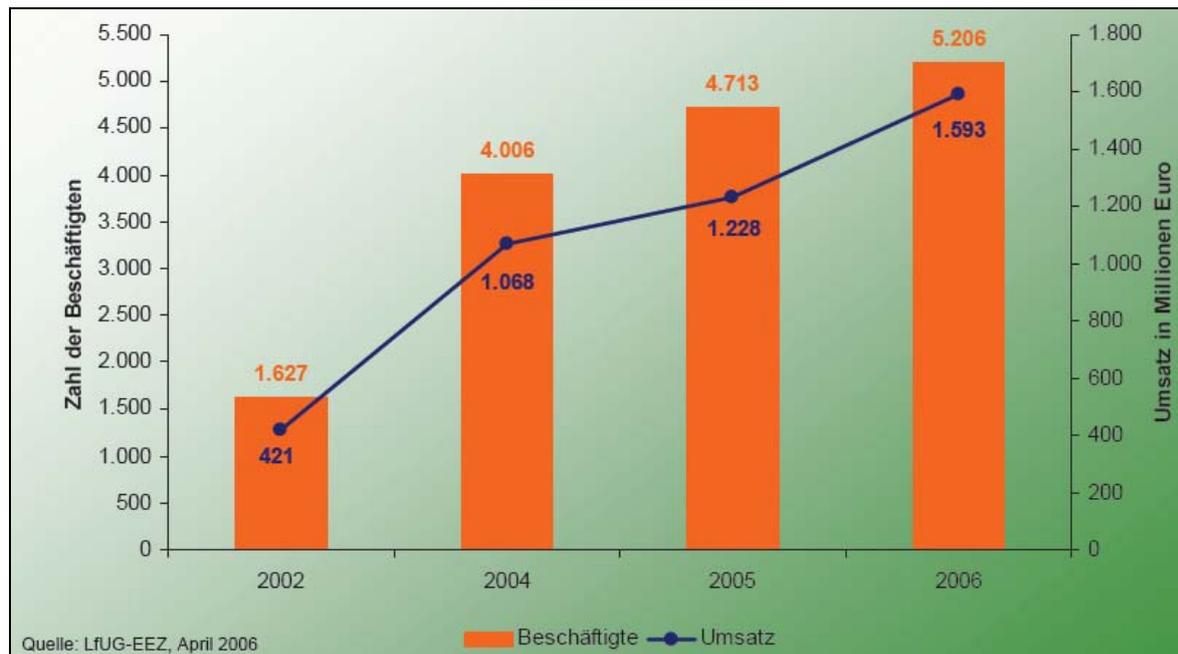


Abb. 2–8: Mittelfristige Beschäftigten- und Umsatzentwicklung in Sachsen im Sektor Erneuerbare Energien

(Zum Vergleich: Angenommen, es handelt sich um einen Netto-Beschäftigtenzuwachs, und bezieht den Zuwachs von ca. 700 Personen in 2005 bzw. 500 Personen in 2006 auf die jeweilige Zahl der Arbeitslosen von ca. 375.000 bzw. 330.000 (Arbeitsmarktbericht des SMWA vom 03.01.2007), so entspricht dies einem Anteil von 0,2 % in 2005 und 0,15 % in 2006.)

2.4 Zwischenfazit

Die Europäische Union, Deutschland und der Freistaat Sachsen haben sich ehrgeizige Ziele zum Ausbau von Bioenergie gesetzt und diese sowohl energie- und klimapolitisch als auch einkommens- und beschäftigungspolitisch begründet und dazu eine Fülle von Maßnahmen ergriffen. Der weitere Ausbau wird im Wesentlichen beeinflusst von den Rohstoffpreisen, den politischen Anreizinstrumenten zum Ausbau der Bioenergie und vom Wettbewerb mit anderen Flächennutzungsansprüchen bzw. von der Durchsetzungsfähigkeit von Anforderungen des Umwelt- und Naturschutzes.

Zurzeit ist in der Europäischen Union, so auch in Deutschland, ein Teil der Bioenergiepfade nur mit Hilfe von Stützungsmaßnahmen nutzbar. Dies führt zu erheblichen Kosten für öffentliche Haushalte und Verbraucher. Zudem besteht die Gefahr von Marktverzerrungen, die in anderen Sektoren, insbesondere im Agrarsektor, mühsam reduziert und in der internationalen Handelspolitik zunehmend infrage gestellt werden müssen.

Aus förderpolitischer Sicht gilt es nach einer stürmischen Initialzündung für Bioenergie (vgl. Kap. #0) künftig präziser zu prüfen, wo, wie viel welche Bioenergie und welche Nahrungsmittel erzeugt werden. Ziele und Auswirkungen von Fördermaßnahmen müssen ge-

nauer analysiert, stärker mit anderen Politikfeldern abgestimmt und ggf. in eine andere Richtung gelenkt werden. Mittelfristig werden der Subventionsbedarf pro kWh Bioenergie oder die Höhe der CO₂-Vermeidungskosten die Politik stärker beeinflussen müssen und somit auch die Vorzüglichkeit von Anbau- und Technologieoptionen.

3 Stand des Anbaus und der energetischen Verwendung von Biomasse

3.1 Ist-Situation

Der Anteil erneuerbare Energien ist in den vergangenen Jahren insbesondere am Strommarkt, aber auch im Kraftstoff- und Wärmesektor deutlich gewachsen (Abb. 3–1 und Abb. 3–2). In der Abb. 3–1 wird neben den Zielen und Entwicklungspotenzialen die Ist-Situation erneuerbare Energieträger zusammenfassend visualisiert.

Das Ziel zum Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch für 2010 wurde bereits 2005 überschritten und beträgt heute 7,7 % (Daten 2006), der angestrebte Anteil am Bruttostromverbrauch liegt mit 11,6 % in greifbarer Nähe des Ziels von 12,5 % (vgl. Tab. 2–1 und Abb. 3–1).

Der Beitrag erneuerbarer Energien zum Klimaschutz, mithin auch der nachwachsenden Rohstoffe, ist größer als der zur Energieversorgung: Durch ihre Nutzung wurden im Jahr 2005 rund 84 Mio. t CO₂ vermieden. Ohne ihre Nutzung wären die gesamten CO₂-Emissionen rund 10,7 % höher. (Zum Vergleich: Der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch siehe oben.)

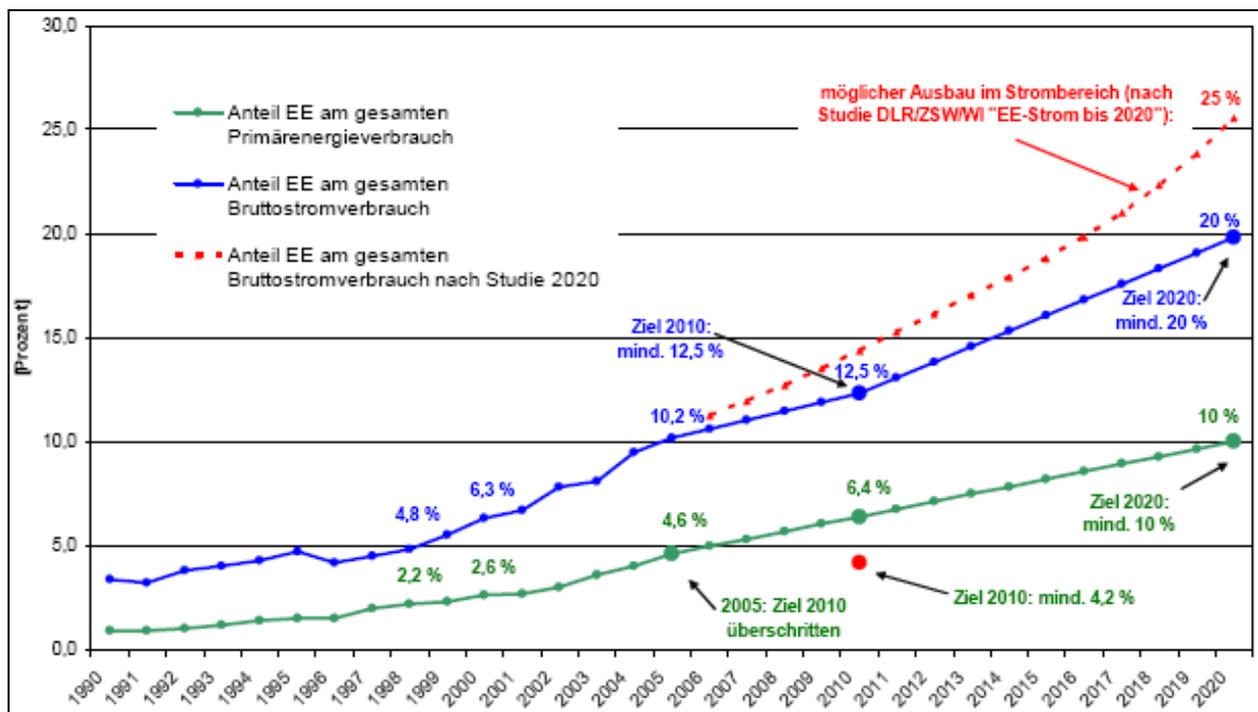


Abb. 3–1: Entwicklung der Anteile erneuerbarer Energien am Primärenergie- und Bruttostromverbrauch, Ziele der Bundesregierung und mögliche Entwicklung (BMU 2006a)

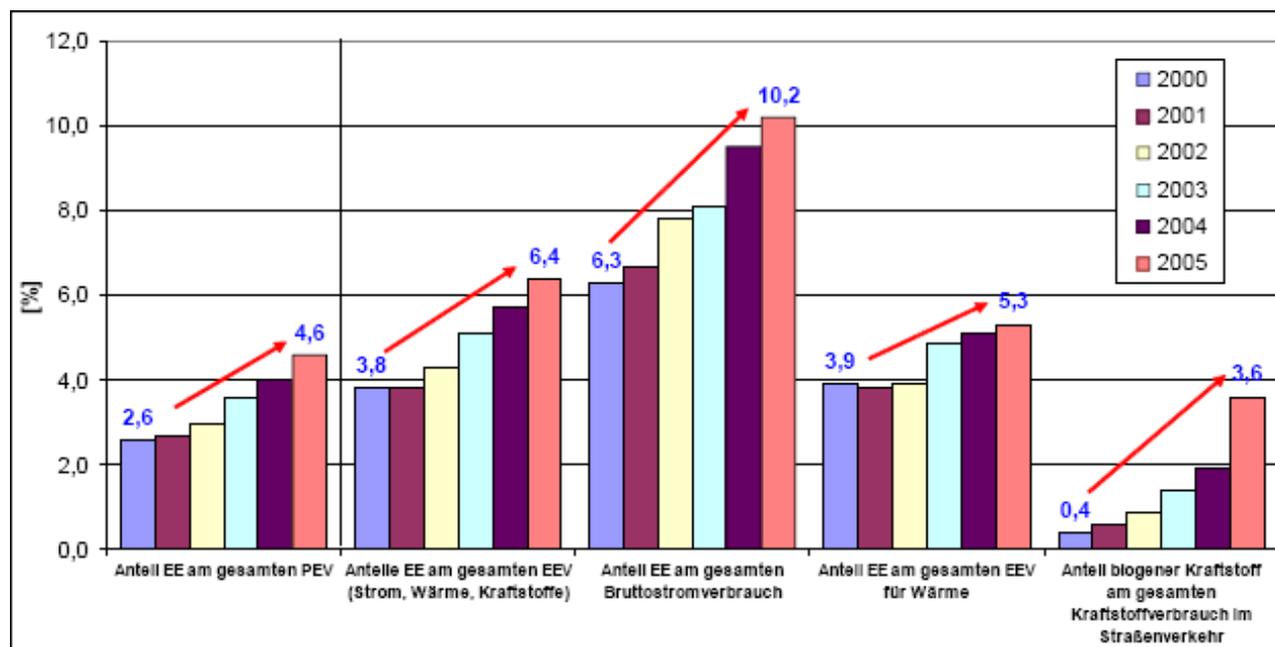
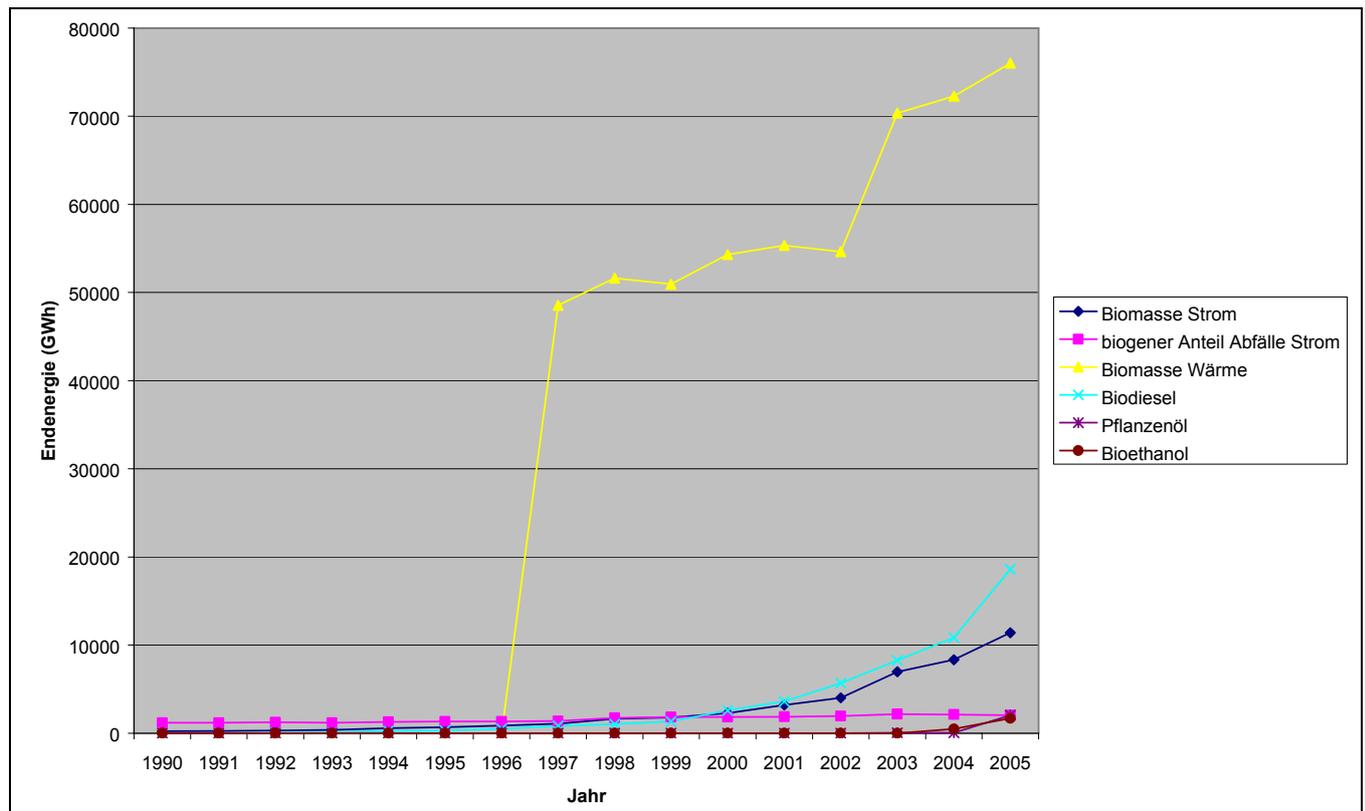


Abb. 3–2: Entwicklung der erneuerbaren Energien 2000 bis 2005 (BMU 2006a)
(PEV = Primärenergieverbrauch, EEV = Endenergieverbrauch)

Der Nutzung der Biomasse wird eine besondere Rolle zugeschrieben, vor allem mit den Argumenten der CO₂-Einsparung, der regionalen und sicheren Versorgung und der alternativen Einkommensquelle für die Landwirtschaft (BMVEL 2004, BMU 2006b). In nur wenigen Jahren wurde eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, die die Energiebereitstellung aus Biomasse bei allen Verwendungspfaden deutlich verstärkt haben (vgl. Abb. 3–3).



Erläuterung: Bei Wärme lagen vor 1997 keine Angaben vor.

Abb. 3-3: Entwicklung der Energiebereitstellung aus Biomasse von 1990 bis Ende 2005
 (Daten aus: BMU 2006b; eigene Darstellung)

Insgesamt werden derzeit (Stand 2005) mehr als zwei Drittel (ca. 68 %) der gesamten Endenergie aus erneuerbaren Energiequellen aus Biomasse bereitgestellt. Holzheizungen und Holzkraftwerke, Biogas-Anlagen und Biokraftstoffe leisten zusammen einen Beitrag von 3,3 % zur Energieversorgung (BMU 2006a). Damit ist aus Sicht des BMVEL (2004) das Ziel, bis zum Jahr 2010 3 % des Primärenergieverbrauchs aus Biomasse zu erzeugen, bereits im Jahre 2005 übertroffen.

Mit der Biomasseverordnung von 2001 und der Verbesserung der Stromvergütung im Rahmen der Novellierung des EEG im Jahr 2004 sind der Einsatz nachwachsender Rohstoffe und biogener Rest- und Abfallstoffe auf den Weg gebracht worden. Seither hat sich die Stromerzeugung aus Biomasse verdreifacht, die Wärmeerzeugung wurde um mehr als 30 % gesteigert.

Biokraftstoffe sind seit der Reform des Mineralölsteuergesetzes 2004 steuerbegünstigt, entsprechend stieg die Erzeugung von Biokraftstoffen, insbesondere von Biodiesel, deutlich an und liegt mit einem Anteil von 5,4 % nahe der Zielvorgabe der EU von 5,75 % (Stand 2006). Unter den EU-25 sind Deutschland und Schweden als einzige in die Nähe des Ziels gerückt. Zukünftig wird der angestrebte Anteil an Biokraftstoffen quasi per Gesetz erreicht (Kap. 2.1.2)

Auf den Anbau von Energiepflanzen hat sich besonders förderlich ausgewirkt, dass er auf Stilllegungsflächen erlaubt ist und auf den anderen Flächen eine Prämie gewährt wird. Diese Maßnahmen fördern alle Energiebereitstellungsformen. Aufgrund der günstigen Rahmenbedingungen hat sich der Anbau von Energiepflanzen seit 2004 verdreifacht (vgl. Tab. 3–1):

Der Anbau von 00-Raps (v. a. für Biodiesel, Pflanzenöl) wurde auf Nicht-Stilllegungsflächen um etwa 40 % ausgeweitet. Aus Kreisen der praktischen Landwirtschaft wird bereits berichtet, dass in manchen Regionen eine weitere Ausdehnung von Raps nicht mehr durchführbar ist

Noch rasanter hat der Anbau von Energiegetreide zugenommen: Er ist von 2004 bis 2006 auf Stilllegungsflächen um mehr als 800 % und auf anderen Flächen um weit über 1000 % angestiegen, wobei der Anteil an der gesamten Energiefläche nur 12 % umfasst. Doch auch hier ist ein erhebliches Wachstum zu erwarten, insbesondere wenn die Getreideverbrennung durch Einführung eines Wärmegesetzes und die Novellierung der BImSchVO noch attraktiver wird.

Die Anbaufläche für Energiemais (v. a. Substrat für Biogasanlagen) ist gegenüber 2004 um das Fünzfache gewachsen und hat heute einen Anteil von 20 % an der gesamten Fläche für Energiepflanzen (2004: 3,5 %).

Tab. 3–1: Anbau von Energiepflanzen auf Stilllegungsflächen und Flächen mit Energiepflanzenprämie (VETTER 2006, Mitteilung BLE vorläufig, Sept. 2006)

Art	Deutschland							
	Stilllegungsflächen NAWAROS				Fläche mit Energieprämie			
	2004	2005	2006	Vergleich 2005/2006	2004	2005	2006	Vergleich 2005/2006
	ha	ha	ha	%	ha	ha	ha	%
1. Sonstiges	13	153	80	-48	8	290	434	50
2. Getreidekorn	82	3.613 ¹⁾	35.633	886	446	4.094 ¹⁾	57.535	1.305
3. Gräser, Mischungen	483	886	1.034	17	247	2.317	4.078	76
4. Silomais	2.765	21.410	36.848	72	7.863	45.578	118.543	160
5. GGP	147	656	1.232	88	1.075	4.560	10.370	127
6. CCM,LKS	93	1.731	2.078	20	235	11.482	3.284	-71
7. Sudangras	110	214	153	-29	19	144	382	166
8. Futterrüben	21	23	4	-81	1	60	22	-64
9. 00-Raps	195.707	308.415	312.407	1	81.000	120.000	172.000	43
Gesamt ohne Getreidekorn	199.339	333.489	353.836	6	90.447	184.430	309.113	68
Gesamt	199.420	337.103	389.469	16	90.893	188.524	366.648	94

¹⁾ inkl. Ethanolgetreideproduktion

Gleichwohl gilt festzustellen, dass beispielsweise der Anteil der Anbaufläche für Mais zur Biogasnutzung an der gesamten Maisanbaufläche 2006 „erst“ 9% beträgt. Dabei wurde die Gesamtfläche kaum ausgedehnt oder, im Gegenteil, sogar verringert (Tab. 3–2). Angesichts der weitgehend gleich gebliebenen Gesamtmaisfläche wird allerdings deutlich, dass eine starke Verdrängung zu Lasten des Futtermais stattfindet. Außerdem zu berücksichtigen ist, dass für 2006 und 2007 viele weitere Anlagen projektiert sind, so dass von einer weiteren erheblichen Steigerung nicht nur für die Biogas-, sondern auch für Ethanolherzeugung auszugehen ist. Die von vielen befürchtete „Vermaisung“ der Landschaft ist offenbar bislang noch als ein Problem standörtlich besonders geeigneter Regionen zu sehen: So hat z. B. der Biogas-Mais in Niedersachsen derzeit einen realen Anteil an der gesamten Maisfläche von ca. 15 %. Nach einer von BREUER & HOLM-MÜLLER (2006) durchgeführten ökonomischen Potenzialanalyse könnte sich im Landkreis Borken (NRW) sogar ein Maisanteil von über 50 % der Ackerfläche ergeben. In Sachsen ist der aktuelle Anteil von 3 % dagegen vergleichsweise sehr gering (Tab. 3–2).

Tab. 3–2: Maisanbaufläche zur Biogasnutzung und Gesamtmaisfläche in Deutschland 2005 und 2006 nach Bundesländern (nach Daten des Statistischen Bundesamtes, BLE, DMK, 28.08.2006; eigene Zusammenstellung)

Bundesland	Maisanbaufläche zur Biogasnutzung (Stilllegungsfläche und Nicht-Stilllegungsfläche) (ha)		Maisanbaufläche gesamt (ha)		Anteil Maisfläche zur Biogasnutzung an Gesamtmaisfläche, gerundet (%)	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Baden-Württemberg	4.091	9.123	145.800	147.600	3	6
Bayern	18.491	32.144	415.800	422.700	5	8
Berlin	0	0	0	-	0	-
Brandenburg	2.021	8.218	116.500	119.700	2	7
Bremen	4	2	100	0	4	-
Hamburg	0	0	400	0	-	-
Hessen	778	2.226	31.500	31.200	3	7
Mecklenburg-Vorpommern	2.287	9.718	84.400	87.800	3	11
Niedersachsen	28.235	55.484	357.500	380.400	8	15
Nordrhein-Westfalen	8.435	13.301	223.100	218.700	4	6
Rheinland-Pfalz	1.288	2.458	24.900	20.500	5	12
Saarland	0	18	2.900	2.900	-	1
Sachsen	482	1.912	75.400	74.200	1	3
Sachsen-Anhalt	1.260	3.338	80.400	80.800	2	4
Schleswig-Holstein	4.108	10.589	103.00	106.300	4	10
Thüringen	256	1.122	43.500	42.600	1	3
Gesamt	71.983	149.653	1.705.700	1.743.300	4	9

Anmerkung: - kein Wert vorhanden

Nach Angaben der FNR (2006) umfasste der Anbau nachwachsender Rohstoffe im Jahr 2005 insgesamt ca. 1,4 Mio. ha (= 12 % der deutschen Ackerfläche). Im Jahr 2006 sind es bereits 10 % mehr: 1,56 Mio. ha (= 13 %) (Abb. 3–4). Vergleicht man den Umfang der Energiepflanzenfläche mit dem im Kap. 4.2 zitierten Flächenpotenzial des WUPPERTAL INSTITUTS (2006) von ca. 1,6 Mio. ha (Basis 2005), so ist dieses errechnete technische Potenzial bereits nahezu ausgeschöpft.

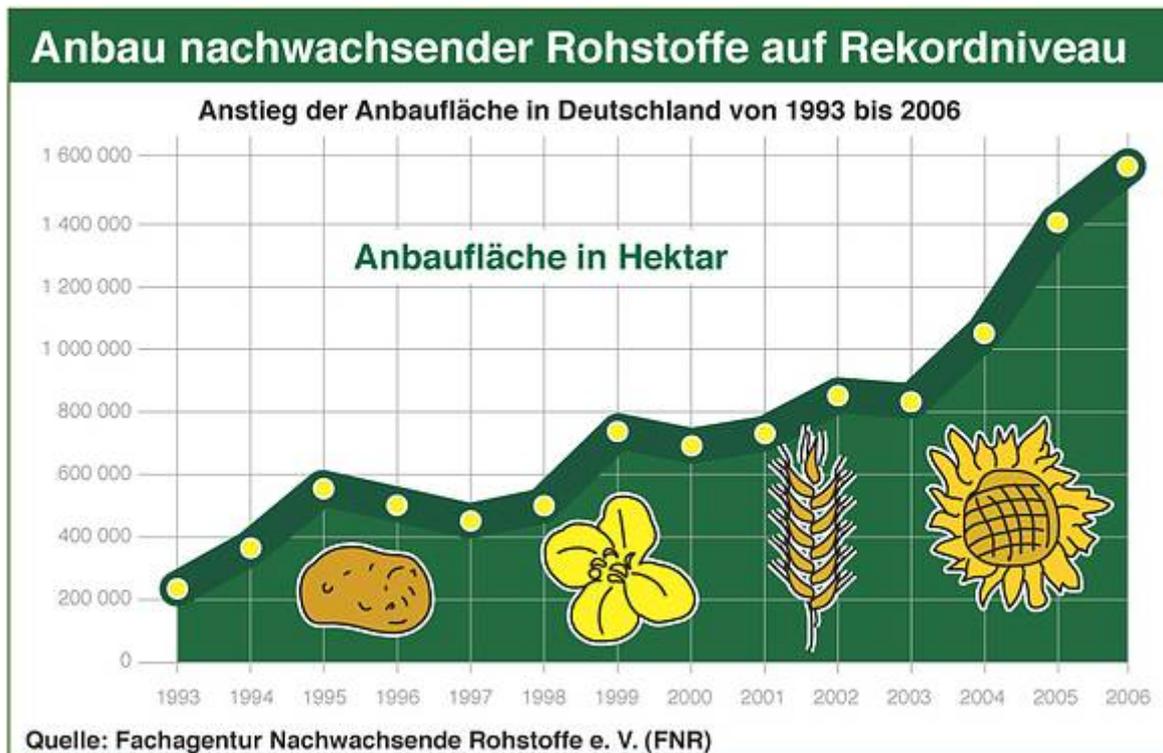


Abb. 3–4: Entwicklung der Anbaufläche für Nachwachsende Rohstoffe in Deutschland

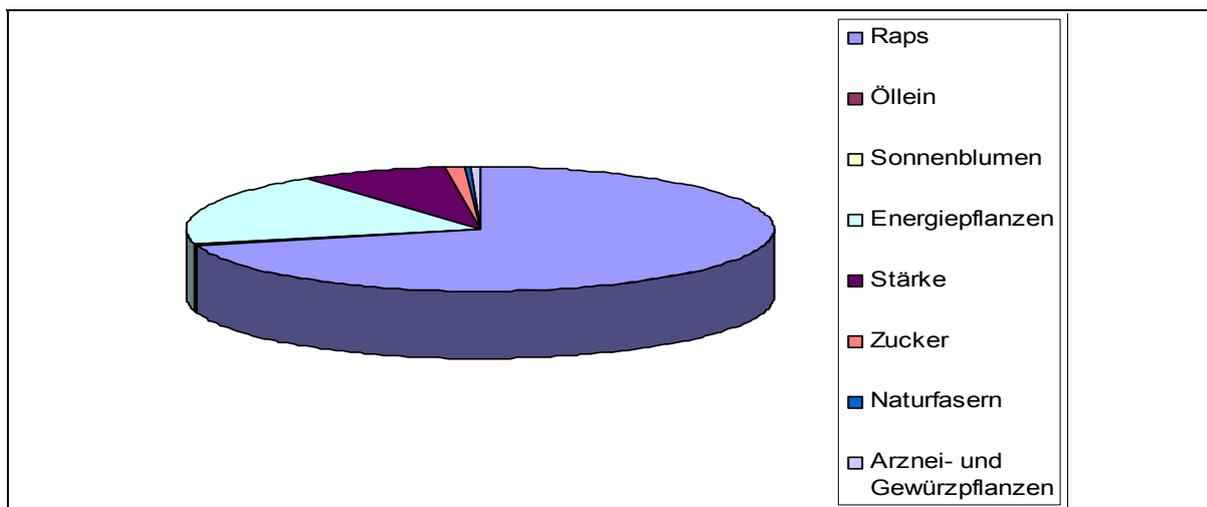
Zur Gesamtfläche der nachwachsenden Rohstoffe (\cong 13 % der Ackerfläche) gehören auch Energiepflanzen – vor allem Raps –, die nicht auf Stilllegungsflächen angebaut oder mit einer Prämie gefördert werden und als „Basisfläche“ erfasst werden. Etwa die Hälfte der Fläche mit nachwachsenden Rohstoffen sind Basisflächen ohne Energiepflanzenprämie und kommen somit ohne Förderung aus (\cong 7 % der Ackerfläche), Stilllegungsflächen und Basisflächen mit Prämien nehmen je rund ein Viertel der Gesamtfläche ein (Tab. 3–3). Seit 2004 hat sich der Anbau von Energiepflanzen mit Prämienzahlung von Jahr zu Jahr ungefähr verdoppelt (Tab. 3–1).

Tab. 3–3: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (2006) (FNR 2007)

Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (2006)				
Anbau in Hektar	Basisfläche*		Stilllegung	gesamt
Rohstoffe	ohne Energiepflanzen- prämie	mit Energiepflanzen- prämie		
Ölpflanzen				
Raps	610.000	172.000	318.000	1.100.000
Öllein	3.000			3.000
Sonnenblumen	4.000		1.000	5.000
Energiepflanzen	30.000	188.000	77.000	295.000
Stärke	128.000			128.000
Zucker	18.000			18.000
Naturfasern	2.000			2.000
Arznei- und Gewürz- pflanzen	10.000			10.000
Summe	805.000	360.000	396.000	1.561.000

*geschätzt, da Datengrundlagen im Detail nicht zur Verfügung stehen und Außenhandelsbilanzen nicht exakt erfasst werden können

Zu den nachwachsenden Rohstoffen gehört in erster Linie Raps, der allein mehr als zwei Drittel der Anbaufläche einnimmt, außerdem Stärke-Kulturen, Zucker, Sonnenblumen, Arznei- und Gewürzpflanzen, Leinöl sowie Faserpflanzen, zum Teil also Kulturen, die auch der stofflichen Verwendung dienen (Abb. 3–5).



**Abb. 3–5: Flächenverteilung nachwachsender Rohstoffe 2006
 (Daten der FNR 2007; eigene Darstellung)**

Sachsen

Der Anteil der erneuerbaren Energien am Energieverbrauch ist in Sachsen seit 2000 kontinuierlich auf 4,1 % angewachsen und befindet sich mit einem Erfüllungsgrad von rund 80 % bereits nahe dem Ziel von 5 % für den Zeitraum bis 2010 (Abb. 3–6).

Durch die Nutzung dieser Energieformen wurden jährlich 2,3 Mio. t CO₂ vermieden, die ansonsten bei der Strom- und Wärmeerzeugung durch die Verwendung von fossilen Brennstoffen entstehen. Das entspricht nahezu dem Ziel von 2,5 Mio. t/a für den Zeitraum 2005 bis 2010.

Gegenwärtig werden im Freistaat Sachsen sämtliche bisher erwähnten erneuerbaren Energieträger für die Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraftstoff genutzt.

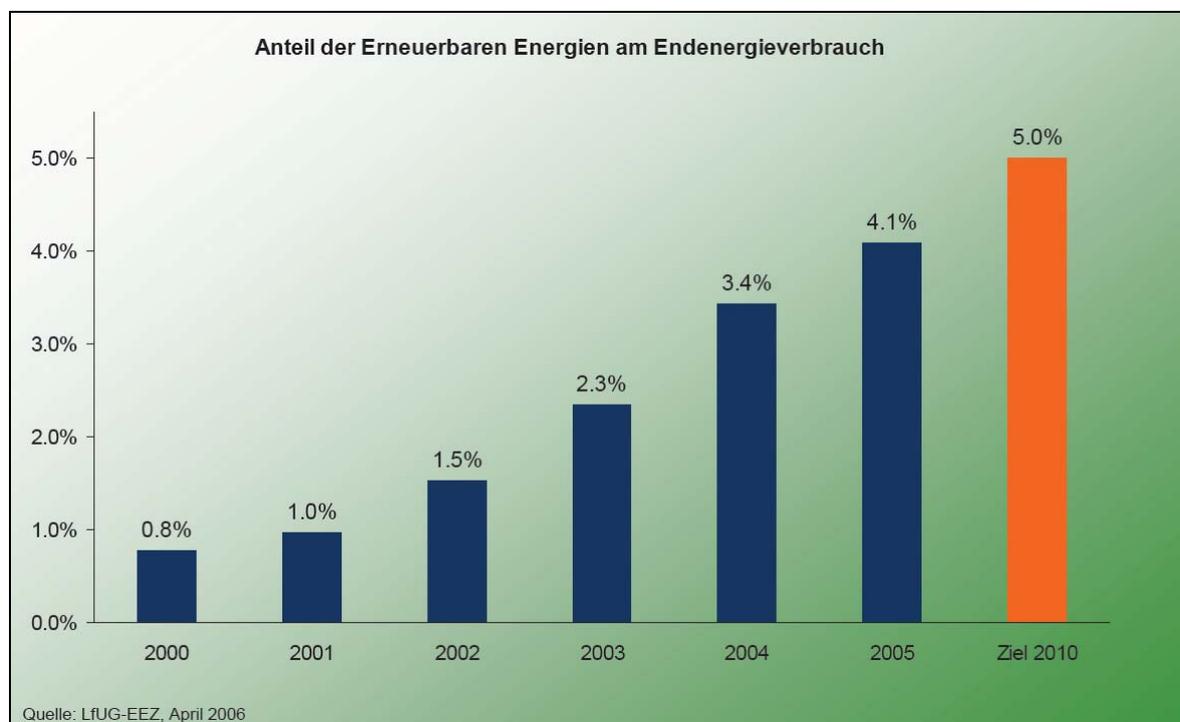


Abb. 3–6: Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien in Sachsen (LfUG/EEZ 2006)

Dabei ist der Anteil der Biomasse dynamisch angestiegen auf heute 57 % der erneuerbaren Energie (Wärme und Strom) (Stand 2005; s. Abb. 3–7). Doch auch unter Hinzurechnung des bundesweiten Biokraftstoffanteils von durchschnittlich 3,6 % liegt er damit unter dem derzeitigen Anteil auf Bundesebene von 69% und noch deutlich unterhalb der Zielstellung des Freistaates von rund 70 % (für Strom und Wärme) (vgl. Tab. 2–1).

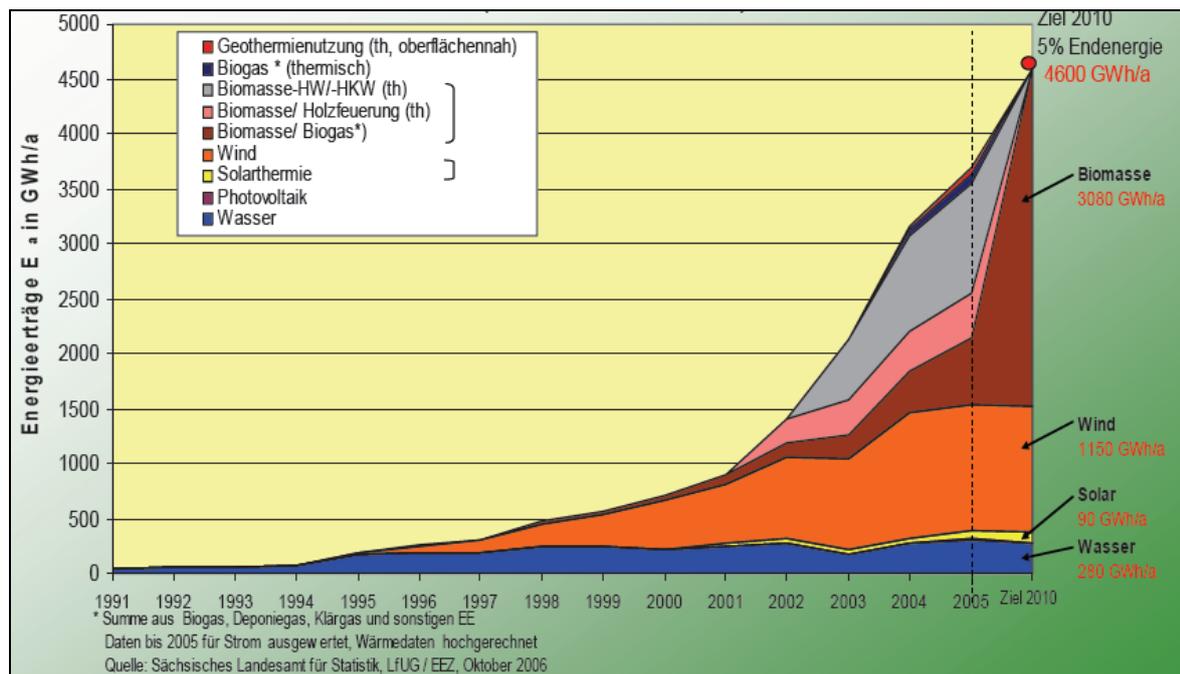


Abb. 3–7: Entwicklung, Stand der Nutzung und Zielstellungen erneuerbarer Energien (Strom und Wärme) in Sachsen (LfUG/EEZ 2006)

Im Vergleich zu den Bereichen Wasser, Wind und Solarenergie, wo die Ausbauziele nahezu erreicht sind, muss der Beitrag der Biomasse noch um ein Drittel gesteigert werden, um die angestrebten Ziele zu erfüllen (Abb. 3–8). Mit anderen Worten: Wenn die angestrebten Ziele für erneuerbare Energien erreicht werden sollen, ist in erster Linie die Nutzung der Biomasse auszubauen; es sei denn, bei den anderen Energieträgern wurden bisher unausgeschöpfte Potenziale übersehen.

Der Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch betrug 2005 in Sachsen bereits 10,2 %; damit liegt Sachsen exakt in gleicher Höhe wie Deutschland. Bezogen auf den gesamten Stromverbrauch hat Biomasse noch einen vergleichsweise geringen Anteil von nur 2,7 %. Doch gemessen am Gesamtbeitrag der erneuerbaren Energien hat Biomasse bereits einen bedeutsamen Anteil: Biomasse stellt 70 % der Wärmenutzung aus regenerativer Energie und 27 % des Stromverbrauchs bereit. Damit liegt der Beitrag von Biomasse im Strombereich deutlich über dem deutschen Schnitt (17 %) und im Wärmebereich klar darunter (95 %). Den weitaus größten Anteil am Strom aus erneuerbaren Quellen stellte bisher die Windenergie; während diese aber allmählich stagniert, entfalten Biomasse und Biogas die stärkste Dynamik (Abb. 3–9).

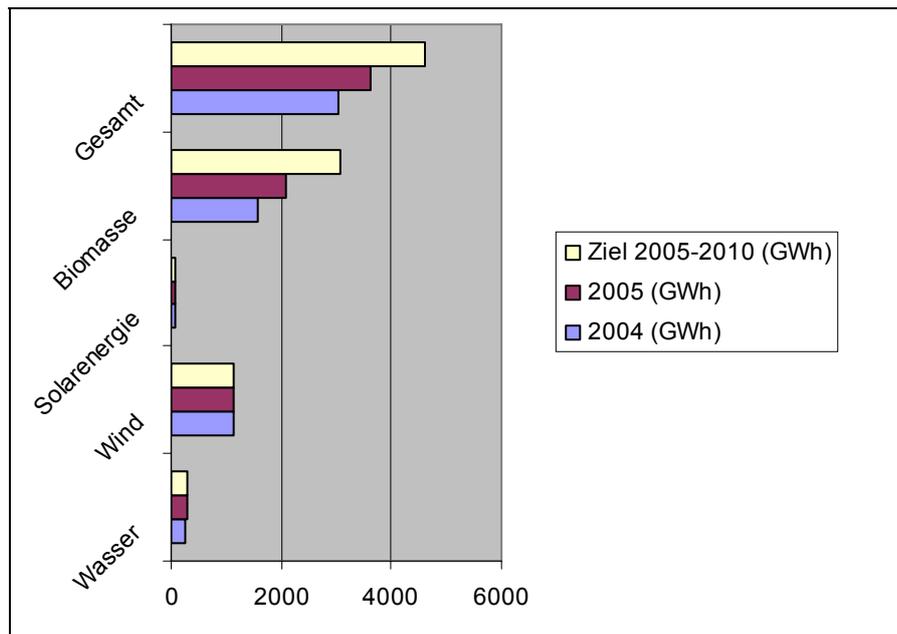


Abb. 3-8: Erneuerbare Energieträger in Sachsen im Ziel-Ist-Vergleich (Daten aus: SMUL 2005, LFUG/EEZ 2006; ohne Geothermie)

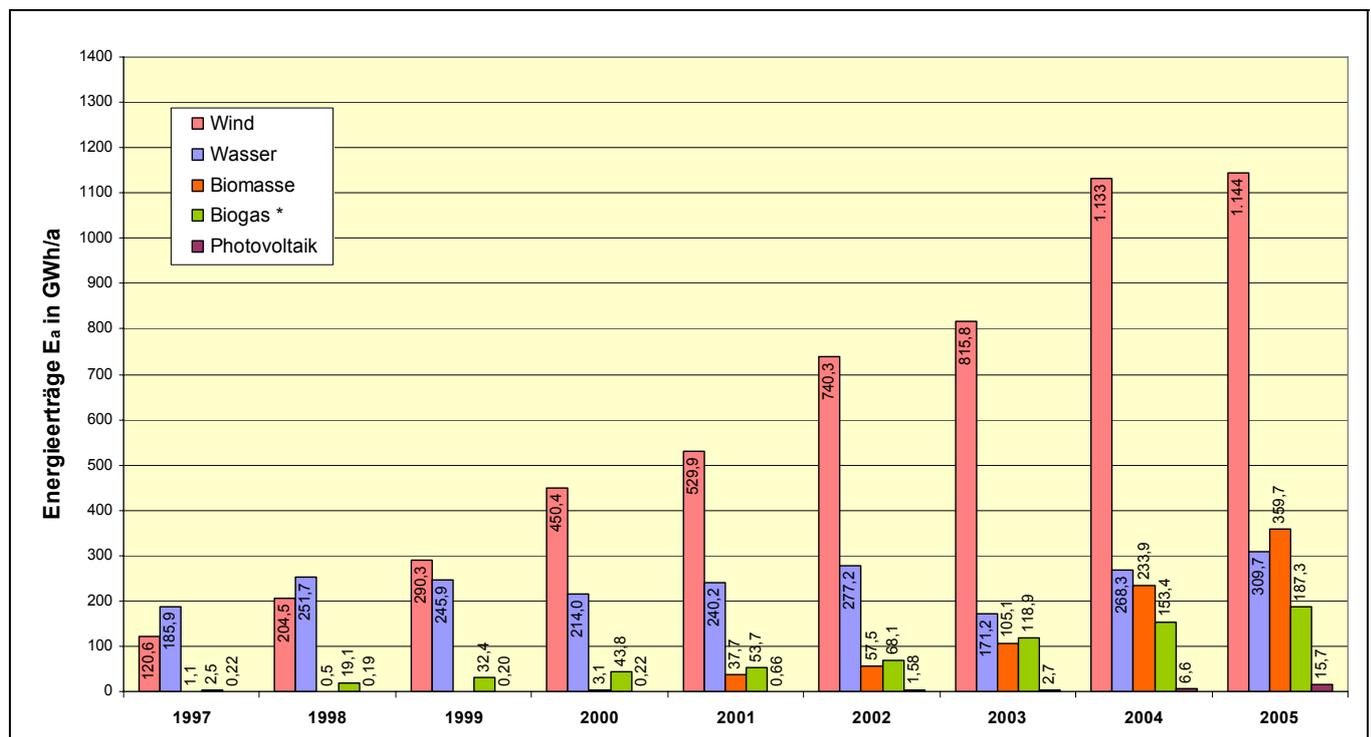


Abb. 3-9: Entwicklung Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Sachsen (aus: SCHLEGEL 2006)

Der Anbauumfang nachwachsender Rohstoffe auf Stilllegungsflächen in Sachsen betrug in 2005 ca. 41.000 ha, der Anbau mit Energiepflanzenprämie ca. 17.000 ha (Abb). Der Anbau, der ohne Prämien erfolgt, ist hierin nicht enthalten. In Sachsen werden bereits seit mehreren Jahren über die Hälfte der Stilllegungsfläche mit nachwachsenden Rohstoffen bestellt (LfL 2005; Abb. 3–10). Zusammen hat der mit Prämien geförderte Anbau von Biomasse einen Anteil von ca. 7 % an der gesamten Ackerfläche (ca. 820.000 ha); das entspricht dem bundesweiten Durchschnitt. Als Energiepflanzen werden fast ausschließlich Raps, Weizen und Roggen angebaut, Mais spielt eine vergleichsweise geringe Rolle (siehe Tab. 3–2). Allein 00-Raps hat über Jahre einen Anteil am Anbau auf Stilllegungsfläche von über 90 %.

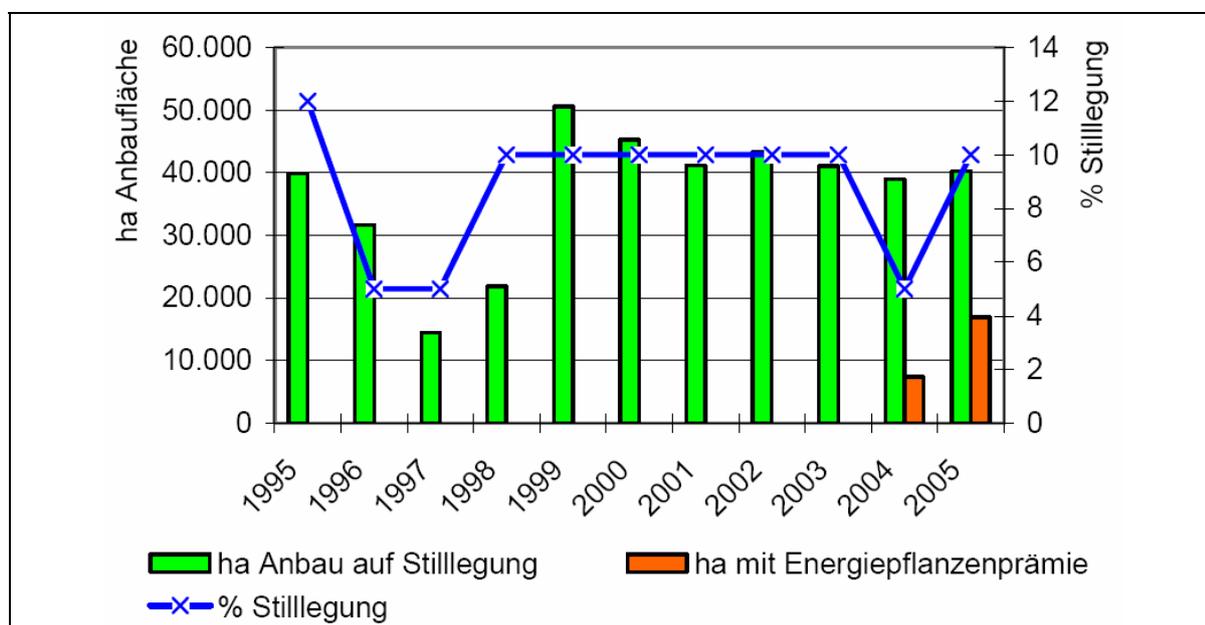


Abb. 3–10: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Sachsen (LfL 2005a, S. 7)

3.2 Zwischenfazit

Die Ziele für den Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch sind in Deutschland bereits übererfüllt und im Freistaat Sachsen nahezu erreicht.

Bezogen auf den Energiepfad besteht bundesweit der größte Nachholbedarf bei der Bereitstellung von Wärme aus Biomasse.

In Sachsen ist Biomasse die regenerative Energieform, die gemessen an den Ausbauzielen noch bei weitem nicht ausgeschöpft ist. Unter den derzeit technologisch einsetzbaren Energieträgern bietet Biomasse das größte Potenzial, den Anteil der erneuerbaren Energie an der Primärenergieverbrauchs in Sachsen weiter zu erhöhen. Dabei spielt ebenfalls die Wärmenutzung eine zentrale Rolle.

Je nach Betrachtungsansatz stößt allerdings die in Deutschland verfügbare landwirtschaftliche Fläche für die Erzeugung von Biomasse zu energetischen Zwecken bereits an ihre Grenzen. Für Sachsen ist dieser Feststellung anhand der den Autoren vorliegenden Informationen nicht zu klären. Für die zukünftige Politikplanung einschließlich der Forschungsförderung ist daher regional zu ermitteln,

- wie viel Fläche nachhaltig, d. h. unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Belange, für Bioenergie bereitgestellt werden kann,
- wo die nachhaltigen Potenziale der Effizienzsteigerung bei den bekannten Anbauverfahren liegen und
- welche ökologisch wie ökonomisch belastbaren alternativen Herkunftsquellen für Biomasse jenseits der Erzeugung auf Ackerflächen zukünftig in Betracht kommen (Reststoffe, Landschaftspflegeaufwuchs).

Anhand der Ergebnisse sind ggf. die Ausbauziele für Biomasse zu korrigieren und zu differenzieren und mit den übergreifenden Zielen für erneuerbare Energien abzustimmen.

4 Potenziale von Biomasse

In der Diskussion um die Potenziale erneuerbarer Energieträger werden im Allgemeinen das theoretische Potenzial, das technische Potenzial, das wirtschaftliche und das ausschöpfbare Potenzial unterschieden (Zu den Definitionen im Einzelnen siehe KALTSCHMITT & THRÄN 2003, HOLM-MÜLLER & BREUER 2006). Darüber hinaus ist aus volkswirtschaftlicher Sicht das *effiziente Potenzial* informativ, das sich aus dem kostenminimalen Energiemix ergibt, mit dem ein bestimmtes Emissionsvermeidungsziel erreicht werden kann.

Während die zuerst genannten Ansätze einen deskriptiven Charakter haben, übernimmt der Effizienzansatz eine eher normative Funktion, weil definierte Zielwerte einfließen (HOLM-MÜLLER & BREUER 2006). Nach der Definition der Autoren kann der Einsatz von Biomasse dann als volkswirtschaftlich effizient bezeichnet werden, wenn der Nettonutzen für die Volkswirtschaft bei einem bestimmten Umfang größer wäre als bei allen anderen denkbaren Umfängen und Verwendungen der Biomassenutzung. Dieser Nettonutzen wäre zu errechnen aus der Gegenüberstellung von zusätzlichen Kosten bei einem Umstieg auf erneuerbare Energieträger, wie z. B. Biomasse, und dem daraus entstehenden Nutzen. Als politische Ziele, denen dieser Umstieg dient, werden im Wesentlichen benannt: verringerte Klimaschäden, eine geringere Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und eine Förderung des ländlichen Raums. Von diesen Zielen wäre die Verringerung von Klimaschäden am ehesten einer Kosten-Nutzen-Analyse zugänglich. So ist beispielsweise das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in der Lage, die Kosten einer eingesparten Tonne CO₂-Äquivalent monetär zu erfassen. Akzeptiert man diesen Ansatz, wäre es möglich, ein Optimum an vermiedenen CO₂-Emissionen anzugeben.

In den Programmen auf den verschiedenen politischen Ebenen wird in der Regel das *technisch nutzbare Potenzial* für erneuerbare Energien angegeben, so auch für Biomasse. Dabei wird nach Einschätzung von HOLM-MÜLLER & BREUER (2006) nicht immer nachgewiesen, dass die angenommenen Techniken großtechnisch einsatzfähig sind. Neben den technischen Möglichkeiten fließen in die Schätzungen zahlreiche weitere Annahmen über die verfügbaren Ressourcen ein, z. B. über die für Energiepflanzen nutzbare Fläche. Bei Angaben zum Flächenumfang ist zu berücksichtigen, dass das Potenzial für Biomasse nur als Gesamtsumme angegeben werden kann, weil es zwischen den meisten Bio-Energieträgern eine Konkurrenz um dieselbe Fläche gibt. Im Hinblick auf verschiedene Biomassepfade differenzierte Potenzialbetrachtungen sind nur unter Zugrundelegung standortbezogener Anbauverfahren möglich. Deshalb dürfen technische Potenziale, die sich auf einzelne Energieträger beziehen (Silomais, Raps) und unterstellen, dass diese die gesamte nutzbare Fläche beanspruchen, nicht mit Potenzialen anderer Energiepflanzen addiert werden. Allerdings von vornherein getrennt ermittelt werden können Reststoffe, die an den Flächenbedarf des Hauptprodukts gebunden sind.

Neben dem Wettbewerb um die Fläche sind Verwendungskonkurrenzen zu berücksichtigen; denn eine Einheit Biomasse kann entweder für die Stromerzeugung oder für die

Wärmeversorgung oder für die Kraftstoffbereitstellung verwendet werden: Nach einem Beispiel von HOLM-MÜLLER & BREUER (2006) berechnet die FNR unter Vernachlässigung konkurrierender energetischer Nutzungsansprüche ein Potenzial für Biokraftstoffe von 60 % des heutigen Kraftstoffverbrauchs. Werden hingegen Flächenkonkurrenzen berücksichtigt, wie im Verbundvorhaben zur Stoffstromanalyse (ÖKO-INSTITUT et al. 2004), ergibt sich bei Fortschreibung der bisherigen Tendenzen im „Referenz“-Szenario bis 2020 ein technisches Potenzial von lediglich 1,3 %.

Das *ökonomische Potenzial* oder, besser, das *betriebswirtschaftliche Potenzial* gibt für einen bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft das Biomasseaufkommen an, das betriebswirtschaftlich im Vergleich zu anderen Produktionssystemen vorteilhaft genutzt werden kann. Um dieses berechnen zu können, sind eine Vielzahl von Annahmen zu berücksichtigen, z. B. über die Entwicklung des Energiesektors, alternative Gewinnerzielungsmöglichkeiten in Abhängigkeit von der Gemeinsamen Agrarpolitik und den Veränderungen der Produktionskosten. So dynamisch und vielfältig wie die Eingangsgrößen sind, so unterschiedlich wird das Ergebnis sein. Deshalb sind sie stets nur für einen begrenzten Zeitraum und unter vollständiger Offenlegung der Annahmen zu interpretieren: So geht z. B. die häufig vorgenommene Gleichsetzung der verfügbaren Fläche für Biomasse mit der Stilllegungsfläche von bestimmten ökonomischen Rahmenbedingungen aus (z. B. ein bestimmter Grad an Selbstversorgung, Fortführung der Stilllegungsmaßnahme), die sowohl zu einer deutlichen Über- als auch zu einer Unterschätzung des ökonomischen Potenzials führen können.

Trotz aller damit verbundenen Komplexität regt BREUER (2007, zitiert in Ernährungsdienst 2007, Nr. 2) an, den ökonomischen Ansatz zur Abschätzung des Bioenergie-Potenzials zu verfolgen, um das Nutzungspotenzial, die Flächennutzung und damit die Folgen unter den jeweils gegebenen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen realistischer beurteilen zu können als beim üblicherweise verwendeten technischen Potenzial.

4.1 Technisches Energiepotenzial

Bislang wird in der Regel der technische Ansatz zur Ermittlung des Energiepotenzials von Biomasse gewählt. Aufgrund unterschiedlicher Annahmen zur Verfügbarkeit geeigneter Standorte, zu den technischen Eigenschaften der Nutzungstechnologien und zu weiteren Faktoren streuen die Ergebnisse dieser Potenzialabschätzungen sehr weit. Nachfolgende Beispiele aus zum Teil aufwändig angelegten Verbundvorhaben sollen dies veranschaulichen. Die Studien sind teilweise von zentraler Bedeutung, weil sie eine Informationsgrundlage für die Biomassepolitik der Bundesregierung darstellen und zum Teil aufeinander aufbauen:

Die in Tab. 2–1 angegebenen Potenzial-Angaben für Deutschland berücksichtigen nach Darstellung des BMU (2006b) explizit die Belange des Natur- und Landschaftsschutzes

und stellen eher eine Untergrenze des technisch erschließbaren Potenzials dar. Die prozentuale Zuordnung der energetischen Nutzung von Biomasse zu den Bereichen Strom, Wärme und Kraftstoffe kann wegen der vielfältigen und flexiblen Einsetzbarkeit variieren. Dies gilt besonders für den Anbau von Energiepflanzen.

Den Angaben zum technischen Potenzials von Bioenergie in Deutschland in Tab. 2–1 liegen Studien von DLR et al. (2004) und ÖKO-INSTITUT et al. (2004) sowie Angaben des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg zugrunde (BMU 2006b, S.26). Außerdem haben das INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT et al. (2005) und das WUPPERTAL INSTITUTS (2006) Schätzungen vorgelegt. Sie wurden unter zahlreichen verschiedenen Annahmen ermittelt, die im Einzelnen den Studien zu entnehmen sind (ÖKO-INSTITUT et al. 2004, S. 74 ff.; DLR et al. 2004, S.16 ff.; INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT et al. 2005, S. 53 ff., WUPPERTAL INSTITUT 2006, S. 8 ff.). Die Potenziale für Bioenergie können sich im Unterschied zu den anderen Formen erneuerbarer Energien je nach Randbedingungen (Flächen, Anbau- und Bewirtschaftungsform, Konkurrenznutzung; Nutzungsrestriktionen) vergleichsweise kurzfristig ändern, weshalb sie in allen Studien dynamisch für mehrere Zeitpunkte ermittelt wurden.

Es wurde unterschieden in die Erzeugung von Biomasse für verschiedene energetische Verwendungsformen und in die eigentliche Nutzung im Sinne der Bereitstellung von Endenergieträgern. Die drei erst genannten Studien vergleichen ein Referenzszenario, das im Wesentlichen den Trend von heute fortschreibt mit Szenarien, die deutliche stärkere Restriktionen durch den Natur- und Umweltschutz annehmen als heute: „Naturschutz“ (DLR et al. 2004), „Umwelt“ (ÖKO-INSTITUT et al. 2004), „Environment“ (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT et al. 2005). Zu den Details der Restriktionen durch Flächenansprüche des Naturschutzes und deren Auswirkungen auf die Biomassenutzung siehe KÖPPEL et al. (2004) im Anhang von ÖKO-INSTITUT et al. (2004).

In dem Vorhaben von ÖKO-INSTITUT et al. (2004) wird außerdem in einem „Biomasse“-Szenario die maximale Nutzung und Förderung der Biomasse abgeschätzt. Die Ergebnisse des „Umwelt-Szenarios“ und des „Biomasse“-Szenarios bilden quasi den Korridor des möglichen Entwicklungspotenzials. Aus der Analyse der Ergebnisse der beiden Szenarien wurde das Szenario „Nachhaltig“ entwickelt und anhand dessen Umsetzungsempfehlungen abgeleitet.

Die etwas jüngere Studie des INSTITUTS FÜR ENERGETIK UND UMWELT et al. (2005) zur Entwicklung der Biomassepotenziale im europäischen Vergleich ist trotz teilweise sehr unterschiedlichen Methoden dem Trend nach zu ähnlichen Resultaten gekommen wie die Vorläuferstudien (ÖKO-INSTITUT et al. 2004, DLR et al. 2004), wie nachfolgende Abbildung veranschaulicht (Abb. 4–1).

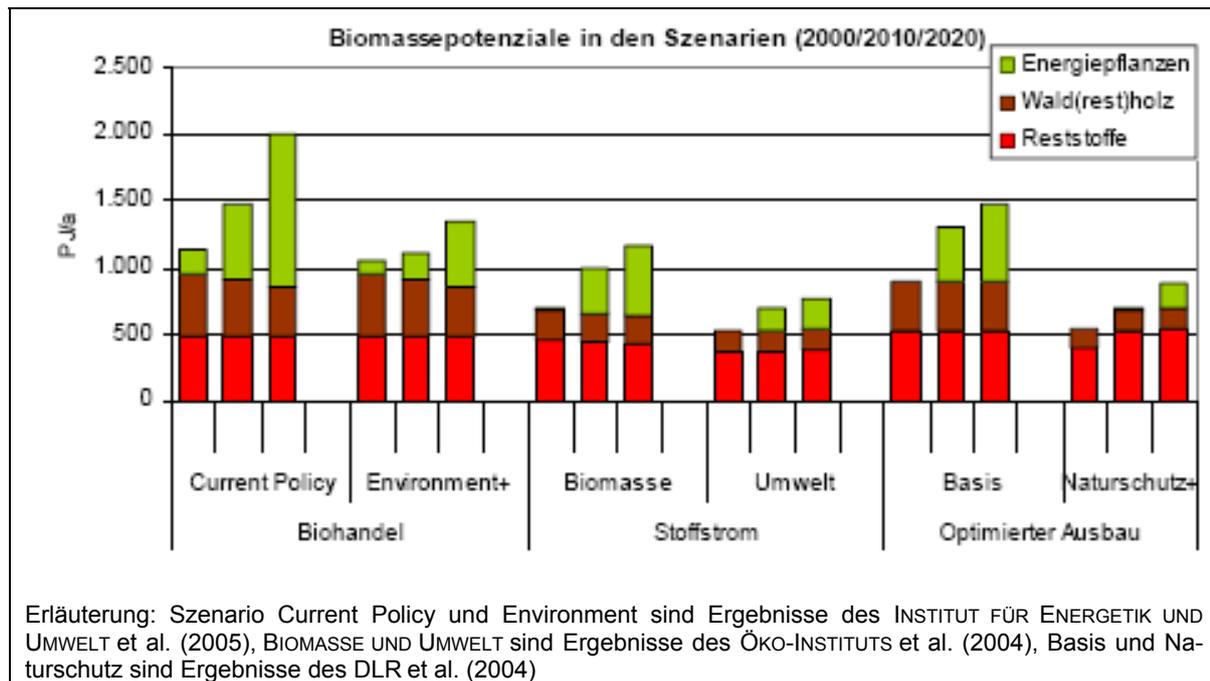


Abb. 4–1: Technische Energiepotenziale von Biomasse in Deutschland im Vergleich von verschiedenen Szenarien (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT et al. 2005, S. 171)

Über den Energiepflanzenanbau hinaus wurde im Verbundvorhaben (ÖKO-INSTITUT et al. 2004) das Potenzial für Reststoffe aus Land- und Forstwirtschaft, aus Holzindustrie, Abfallwirtschaft und aus der Landschaftspflege sowie das Potenzial für tierische Biomasse ermittelt. Insgesamt ist die Dynamik der Reststoffpotenziale über den betrachteten Zeitraum gering. Auch unterscheiden sie sich bei den verschiedenen Szenarien kaum, so dass insgesamt stabile Ergebnisse für Reststoffe vorliegen (Abb. 4–2). Zudem wurden die Ergebnisse durch die Potenzialabschätzung des INSTITUTS FÜR ENERGETIK UND UMWELT et al. (2005) bestätigt.

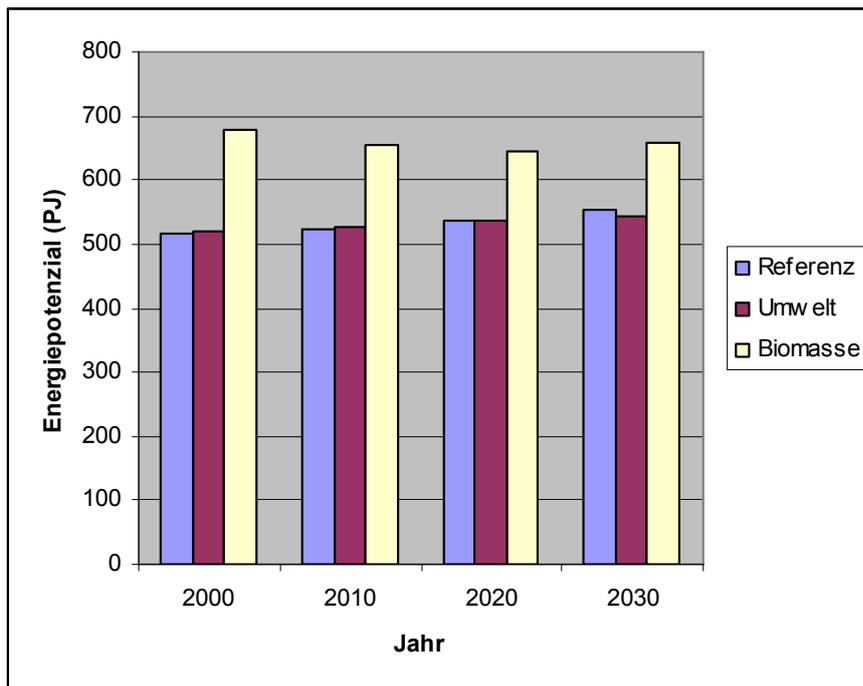


Abb. 4–2: Technisches Energiepotenzial nutzbarer Biomasse-Reststoffe (ÖKO-INSTITUT et al. 2004, S. 198; eigene Darstellung)

Eine Analyse der regionalen Energiepotenziale ausgewählter biogener Reststoffe und Umwandlungspfade hat BECKMANN (2006) vorgelegt. Wie nicht anders zu erwarten, ist beispielsweise das Energiepotenzial aus Reststroh in den typischen Ackerbaustandorten und das Biogaspotenzial in den viehstarken Regionen Nordwestdeutschlands besonders hoch. Die drei untersuchten Reststoffe tierische Exkrememente, Getreidestroh und Restholz können zusammen 3 bis 4 % zum derzeitigen deutschen Gesamt-Primärenergieverbrauch beitragen. Das entspricht dem Beitrag der gesamten Biomasse von heute (BMU 2006a; s. Kap. 3.1).

Gemessen am Bundesdurchschnitt des Pro-Kopf-Primärenergieverbrauchs liegen die Gesamtpotenziale für Reststoffe in fast der Hälfte der Regionen bei 5 % und mehr. Acht der 97 Raumordnungsregionen überschreiten sogar die 10%-Marke. Regionsspezifisch ergeben sich also beachtliche Beiträge zur Energieversorgung, allein aus Reststoffen.

Im Vergleich zu den Biomasse-Reststoffen variieren die Ergebnisse für das Energiepotenzial aus dem Anbau von Energiepflanzen erheblich. Langfristig ist das Potenzial des Energiepflanzenanbaus höher als das der Reststoffe (Abb. 4–3).

In Abb. 4–3 wird das Energiepotenzial von Biomasse im Vergleich zu anderen Energieträgern dargestellt. Daraus ist zu entnehmen, dass Biomasse in allen Szenarien über den Zeitablauf weit mehr als die Hälfte der regenerativ erzeugbaren Energie beisteuern kann.

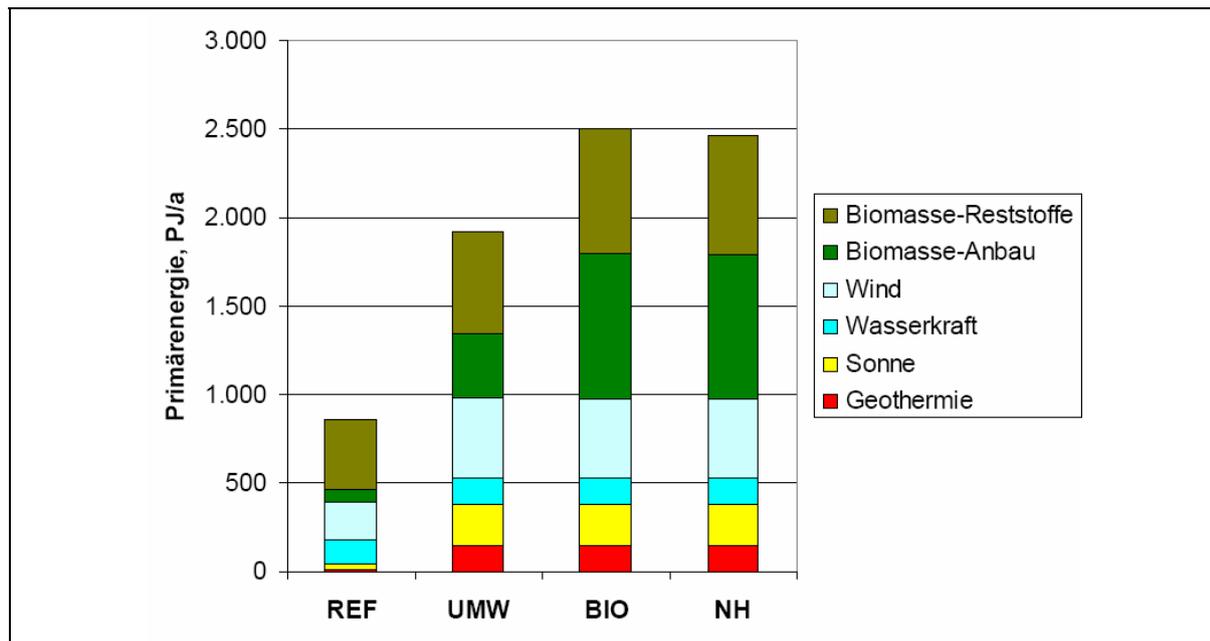


Abb. 4-3: Energiepotenziale erneuerbarer Energieträger im Vergleich
 (ÖKO-INSTITUT et al. 2004, S. 210)

Das Potenzial für den prozentualen Anteil der gesamten Biomasse am Primärenergiebedarf wird in Tab. 4-1 zusammengefasst.

Tab. 4-1: Prozentualer Anteil der gesamten Biomasse am Primärenergiebedarf
 (nach ÖKO-INSTITUT et al. 2004, S. 208 f.)

Anteil Biomasse (%)	2000	2010	2020	2030
Referenz	1	1	2	3
Umwelt	1	3	6	9
Biomasse	1	5	9	14
Nachhaltig	1	5	9	14

Da die verfügbare Biomasse aber immer nur einmal verwendet werden kann, ist es wichtig, zu differenzieren, welchen Beitrag sie auf welchem Technologiepfad leisten kann und welche die effizienteste Verwendung wäre.

Das WUPPERTAL INSTITUT (2006) hat beispielsweise eine nach Biomassearten und Technologiepfaden differenzierte Abschätzung des aktuellen technischen Potenzials vorgelegt und jeweils das Energiepotenzial nach Verwendung als Festbrennstoff und nach Umwandlung zu Biogas verglichen. Die wichtigsten Ergebnisse sind:

- Die Verbrennung der vorhandenen holzartigen Biomassen bieten die höchsten Potenziale: 563 PJ/a (157 TWh/a).
- Je nach Wassergehalt kann die weniger bedeutende halmgutartige Biomasse auf thermo-chemischem Weg (Verbrennung, Vergasung) mehr als das Sechsfache an Energie bereitstellen (192 PJ/a bzw. 53 TWh/a) als auf bio-chemischem Weg (Vergärung zu Biogas) (31 PJ/a bzw. 8,6 TWh/a).
- Die sonstigen Reststoffe aus Landwirtschaft, Kommunen und Industrie können bio-chemisch genutzt werden und ergeben 143 PJ/a (40 TWh/a).
- Der Anbau von Energiepflanzen auf 1,6 Mio. ha lässt ein Potenzial von max. 101 PJ (28 TWh/a) erwarten. Wird diese landwirtschaftliche Fläche zur Herstellung von Biodiesel verwendet, liegt das Potenzial dafür lediglich bei 50 PJ (14 TWh/a). Somit wird bei Nutzung als Kraftstoff im Vergleich nur die Hälfte des anderweitig erzielbaren Energiepotenzials verfügbar gemacht.
- Das maximal technisch nutzbare Gesamtpotenzial für Verbrennung und Vergasung von Biomasse liegt derzeit bei 857 PJ/a (238 TWh/a), für Vergärung zu Biogas liegt es bei etwa einem Drittel davon (260 PJ/a bzw. 72 TWh/a). (Zum Vergleich: Derzeit (Stand 2005) werden auf allen Energiepfaden insgesamt ca. 113 TWh des Energieverbrauchs aus Biomasse bereitgestellt (BMU 2006b), d. h. grob vereinfacht, etwa die Hälfte der Energie, die allein durch thermo-chemische Nutzung der Biomasse erzeugt werden könnte.)

4.2 Flächenpotenziale

Die zukünftige Verfügbarkeit von Biomassepotenzialen wird maßgeblich durch die Entwicklung der Anbauflächen für Energiepflanzen bestimmt. Denn wie in Kap 2.1.2 bereits dargestellt, entwickeln sich demgegenüber die Reststoffmengen vergleichsweise konstant.

Unter dem Begriff Energiepflanzen werden ein- oder mehrjährige Kulturen verstanden, die auf landwirtschaftlichen Flächen zu ausschließlich energetischen Zwecken angebaut werden. Grundsätzlich steht der Energiepflanzenanbau in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion und zu nicht-landwirtschaftlichen Nutzungen. Forstwirtschaftlich genutzte Flächen werden in diesem Kontext nicht betrachtet. Bei der Ermittlung der Anbaufläche sind deshalb im Wesentlichen folgende Größen zu berücksichtigen:

- Aus der Differenz zwischen vorhandener landwirtschaftlicher Nutzfläche und dem Flächenbedarf für Nahrungsmittelproduktion kann die für den Biomasseanbau verfügbare Fläche ermittelt werden.
- Für den Flächenbedarf der Nahrungsmittelproduktion wesentliche Faktoren sind Bevölkerungsentwicklung, Nahrungsmittelkonsum pro Kopf, Selbstversorgungsgrade, Futtermittelbedarfe, Flächenverwendung und Flächenerträge. Generell ist festzustellen, dass infolge der abnehmenden Bevölkerung und einer damit einher gehenden

sinkenden Inlandsnachfrage, zunehmender Importe aus Osteuropa und steigender Flächenerträge der Flächenbedarf tendenziell sinkt. Bei Ausweitung ökologischer Anbauformen steigt allerdings der Flächenbedarf für Nahrungsmittel und der Grünlandanteil nimmt zu.

- Außerdem in Abzug zu bringen ist die Flächeninanspruchnahme durch andere konkurrierende Nutzungen wie Verkehrs- und Siedlungsfläche, Kompensationsflächen sowie bisher unerfüllte Ansprüche des Naturschutzes und des Gewässer- und Trinkwasserschutzes.
- In bestimmten Regionen, insbesondere in Ostdeutschland, sind außerdem Ernterückgänge infolge des Klimawandels zu beachten. Das ZALF (EULENSTEIN O. J.) hat über einen Zeitraum von 50 Jahren einen Rückgang von 5 % gegenüber dem Zeitraum von 1991 bis 2001 prognostiziert. Dies erscheint nicht dramatisch; dennoch könnte der Einfluss auf die verfügbare Fläche für Biomasseerzeugung regional relevant sein, weil sich die Anbausysteme ändern könnten. Beispielsweise vertragen die Energiepflanzen Roggen und Mais geringere Niederschläge besser und sind unter Umständen wirtschaftlich überlegen. (Dieser Aspekt wird von den nachfolgend zitierten Studien nicht berücksichtigt.)

Prinzipiell sind die ermittelten Flächen zur Produktion von Pflanzen sowohl zur thermochemischen (z. B. Holz aus Kurzumtriebsplantagen) und bio-chemischen (z. B. Mais, Getreide für Biogas) als auch zur physikalisch-chemischen Umwandlung (Raps, Zuckerrüben, Weizen für Biokraftstoffe) geeignet. In welchem Maße die Fläche zu welcher energetischen Nutzung verwendet wird, ist von vielfältigen Faktoren abhängig:

- Wirtschaftlichkeit einer Kultur/ eines Anbausystems
- politische Rahmenbedingungen/ (Agrar-)Fördermaßnahmen
- Entwicklung der globalen Agrar- und Rohstoffmärkte
- Standort- und Bodenqualität
- geeignete Fruchtfolgen
- verfügbare Technik
- Unternehmerwissen.

Die in Tab. 2–1 (Spalte 2) aufgeführten Potenzial-Daten für Deutschland wurden nach Angaben des BMU (2006b) auf der Basis einer Anbaufläche von 4,2 Mio. ha ermittelt. Diese Flächenangabe ist in den zugrunde gelegten Studien (ÖKO-INSTITUT et al. 2004, DLR et al. 2004) nicht unmittelbar nachzuvollziehen: Je nach Szenario liegt das Ackerflächenpotenzial für Energiepflanzen bis 2030 zwischen 2,47 und 3,94 Mio. ha. Dabei berücksichtigt wurden u. a. steigende Erträge, unterschiedliche Anteile des Ökolandbaus, Nachfrage, Flächenverbrauch und unerfüllte Ansprüche des Naturschutzes. In den ersten Studien wurde das Potenzial für Energiepflanzen im Anbaumix auf etwa 2 Mio. ha geschätzt (BMVEL 2004, KALTSCHMITT et al. 2003, HARTMANN & KALTSCHMITT 2002;), was beim ÖKO-INSTITUT et al. in etwa dem Wert für das „Referenz“-Szenario von 2010 ent-

spricht. Insgesamt entfalten nach Angaben des ÖKO-INSTITUTS et al. Acker und Grünland zusammen bis 2030 ein Flächenpotenzial zwischen 3,01 und 4,44 Mio. ha, davon Grünland zwischen 0,5 bis 0,86 Mio. ha. (Mit BMU-Förderung erfolgt eine Fortführung und Aktualisierung der Stoffstromanalyse Bioenergie durch das ÖKO-INSTITUT, bei der u. a. die Datenbasis ergänzt und die Szenarien aktualisiert werden. Dieses Projekt läuft bis Mitte 2007.)

Das WUPPERTAL INSTITUT (2006) ermittelt, teilweise ausgehend von den oben aufgelisteten Faktoren und unter Berücksichtigung einer jährlichen Ertragssteigerung von 2 %, Flächenpotenziale für die wichtigsten Energiekulturen bzw. Umwandlungswege bis 2030 von insgesamt 3,0 Mio. ha (Tab. 4–2). Grünland bleibt dabei unberücksichtigt. Die Ergebnisse für Acker liegen zwischen den Werten des „Umwelt“- und „Biomasse“-Szenarios des ÖKO-INSTITUTS et al. (2004). Aus beiden Studien kann abgeleitet werden, dass sich der Energiepflanzenanbau langfristig gegenüber 2005 verdoppeln und 2030 bei 3 bis 4 Mio. ha liegen kann, wenn die Annahmen, die den Potenzialabschätzungen zugrunde liegen, akzeptiert werden bzw. eintreffen.

Tab. 4–2: Entwicklung der Flächen- und Energiepotenziale nach Energiepflanzen und Umwandlungspfad (nach: WUPPERTAL INSTITUT 2006)

Energiepflanzen	Holz/ Stroh		Mais		Raps	Weizen	Raps/ Weizen	Stoffliche Nutzung	gesamt ²⁾
	Fläche Mio. ha	Potenzial TWh/a	Fläche Mio. ha	Potenzial TWh/a	Fläche Mio. ha		Potenzial TWh/a		
	thermo-chemisch (Festbrennstoffe)		bio-chemisch (Substrat)		physikalisch-chemisch (Kraftstoff)				
2005	0,55	28	1)	24	0,74	0,15	14	0,1	1,6
2020	1,15	79		68	0,8	0,25	21	0,2	2,4
2030	1,6	134		115	0,8	0,25	26	0,35	3,0

Anmerkungen:

¹⁾ wie thermo-chemisch (Flächenkonkurrenz). Die alternativen Verwendungspfade dürfen nicht addiert werden!

²⁾ In Deutschland stehen insgesamt ca. 12 Mio. ha Ackerfläche zur Verfügung.

In der Langfristperspektive zu doppelt so hohen Ergebnissen gelangen das INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT et al. (2005) in ihrer Studie zu Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext: Unter bestimmten Annahmen zu den Selbstversorgungsgraden bei den verschiedenen Produktionsrichtungen und auf der Basis der Import-/Exportsalden und des Umfangs der Stilllegungsflächen, die nicht bereits zur Erzeugung von Biomasse genutzt werden, kalkulieren sie für die Basisjahre 2000 bis 2003 ein Flächenpotenzial für Bioenergieträger von 2,6 Mio. ha. Das entspricht 15 % der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche (LN) von 17 Mio. ha. In der Projektion der Entwicklung der Potenziale ermitteln sie für 2010 4,7 Mio. ha (= 28 % der LN) und für 2020 bereits 7,2 Mio. ha

(= 42,5 % der LN). Dabei gehen sie im Gegensatz zu den anderen Quellen sogar von einem Bevölkerungswachstum aus, welches eine Ausdehnung der Fläche für die Nahrungsmittelerzeugung bzw. ein geringeres Potenzial für die Energieerzeugung erwarten ließe. Der höhere Lebensmittelbedarf wird nach Ihrem Modell aber überkompensiert durch eine Ertragssteigerung von rund 15 %.

Die Übersicht in Tab. 4–3 fasst die sehr weit gestreuten Flächenpotenziale der zitierten Expertisen zusammen.

Um zu einer realistischen Einschätzung zu gelangen, sind die naturschutz- und umweltschutzfachlichen Anforderungen in den Szenarien im Einzelnen nachzuprüfen bzw. bei künftigen Studien zu berücksichtigen. Im Einzelnen sind dies:

- NATURA 2000 (x % der Landesfläche für FFH-Gebiete reservieren),
- Flächen zur Bewahrung der Kohärenz zwischen FFH-Gebieten und die Anteile der EU-Vogelschutzgebiete bzw. des Biotopverbundes auf den Ebenen des Bundes und der Länder, die nicht mit FFH-Gebieten deckungsgleich sind,
- Einhaltung der guten fachlichen Praxis und der Anforderungen im Rahmen des Cross Compliance gemäß der Anforderungen der Regelungen des Agrarumweltrechts (BNatSchG, BBodSchG und WHG,WRRL),
- Zielstellungen zum Anteil extensiver Landbauformen und
- weitere flächen- oder produktivitätsrelevanter Zielstellungen im Bereich der Landnutzung.

Tab. 4–3: Technisches Flächenpotenzial für den landwirtschaftlichen Anbau von Biomasse zur energetischen Verwendung nach div. Autoren in Deutschland

Quelle	Öko-Institut et al. 2004, DLR et al. 2004 (je nach Szenario) (Mio. ha)	Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche von ca. 17 Mio. ha (%)	Wuppertal Institut 2006 (nur Ackerfläche) (Mio. ha)	Anteil an der Ackerfläche von ca. 12 Mio. ha (%)	Institut für Energetik und Umwelt et al. 2005 (Mio. ha)	Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche von ca. 17 Mio. ha (%)
Basisjahr	-	-	1,6 (2005)	13	2,6 (2001-2003)	15
2010	0,82 bis 2,03	5 - 12	-	-	-	-
2020	1,88 bis 3,45	11 - 20	2,4	20	4,7	28
2030	3,01 bis 4,44	18 - 26	3,0	25	7,2	42

Angesichts der Umweltbelastungen, die zum einen im Energiesektor und zum anderen in der Landwirtschaft verursacht werden, ist zu fragen, welche nachhaltige landwirtschaftliche Produktionssysteme es außer denen gibt, die in den Szenarien der zitierten Potenzialstudien definiert worden sind, und welches Energiepotenzial diese entfalten. Mit Blick

auf den ökologischen Landbau als eine Form des nachhaltigen Landbaus hat WOLTERS (1999) unter unterschiedlichen Annahmen untersucht, ob und in welcher Höhe Energiepotenziale von Biomasse aus ökologischem Anbau gemäß Rahmenrichtlinien der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Landbau zu erwarten sind. Bei einem Öko-Landbau mit der Produktivität zum Zeitpunkt der Untersuchung auf 100 % der Fläche liegt der Gesamtflächenbedarf zur Deckung des Nahrungsmittelbedarfs in Deutschland bei 25 Mio. ha. Jedoch stehen nur 17 Mio. ha zur Verfügung; an einen Öko-Energiepflanzenanbau wäre also nicht zu denken. Beim Szenario mit gesteigerter Produktivität ließe sich in der niedrigen Variante eine Fläche von 1 Mio. ha mit einem Energiepotenzial von 240 PJ/a erschließen. Im dritten Szenario mit verändertem Ernährungsverhalten ergibt sich eine Fläche für den Energiepflanzenbau von 4 Mio. ha mit einem Energiepotenzial von 800 PJ. Das letzte Ergebnis entspricht der Größenordnung der Potenzialstudien zur gegebenen Landbewirtschaftungsform (vgl. Tab. 4–3, Abb. 4–1). Dem erschließbaren Potenzial aus dem Öko-Landbau hinzuzufügen wäre noch der vermiedene Energieeinsatz des durchschnittlich weniger energieintensiven Anbaus.

4.3 Ökonomisches Energiepotenzial

Über das technische Energiepotenzial hinaus haben das INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT et al. (2005) das ökonomische (= wirtschaftliche) Energiepotenzial von Biomasse ermittelt, um das Biomasseangebot in den nächsten Jahrzehnten abschätzen zu können.

Die Abschätzung der Angebotsentwicklung erfolgt auf der Grundlage von den beschlossenen politischen Rahmenbedingungen, weitergehenden Ertragsfortschritten und unter Berücksichtigung einer sich ändernden Wettbewerbsfähigkeit der Produktionsverfahren und darauf beruhender Substitutionen. Die Schätzung basiert auf Betriebsmodellen repräsentativer Betriebe.

Zudem wird untersucht, wie sich das Angebotspotenzial bei sich ändernden politischen Rahmenbedingungen entwickelt (z. B. Verzicht auf obligatorische Flächenstilllegung, gezielte Förderung des Ethanolrübenanbaus). Ohne diese zusätzlichen Biomasse steigernden Maßnahmen zeigt sich, dass in Deutschland (vgl. INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT et al. 2005, S. 113 ff.)

- der Weizenanbau weiter an Wettbewerbsfähigkeit gewinnt und
- aufgrund überproportionaler Ertragsfortschritte die Gerste stärker verdrängt.
- Roggen gewinnt auf den besseren Standorten an Wettbewerbsfähigkeit.
- Körnermais setzt sich in den Gunstlagen stärker durch.
- Unter den gegebenen politischen Rahmenbedingungen wächst die Angebotsmenge von rund 59 auf 69 Mio. t, von der Basis 2000 bis 2010 pro Jahr um 1,7 %.

Wird die Flächenstilllegung aufgehoben, werden die bisher stillgelegten Flächen fast vollständig zur Produktion genutzt und zwar überwiegend zum Anbau von Weizen, Roggen und Körnermais. Im Ergebnis führt dies zu einer Angebotssteigerung von 2,7 %.

Bei außerdem gezielter Förderung, z. B. von Ethanolrüben, kann das Potenzial weiter beträchtlich gesteigert werden. Dabei ist nach Meinung der Autoren allerdings zu berücksichtigen, dass nur ein Teil der Getreideanbauflächen als Ganzpflanzen für Bioenergie genutzt werden kann, weil zum einen keine flächendeckende Nachfrage wegen der Transportempfindlichkeit entstehen wird und zum anderen die regionale Grundversorgung aufrecht erhalten bleiben muss.

In der Studie wurde nach Anpassung der Eingangsfaktoren das wirtschaftliche mit dem technische Potenzial verglichen. Danach beträgt der Anteil des wirtschaftlichen Potenzials an dem technischen Potenzial über den gesamten Zeitraum bis 2020 67 %, also etwa zwei Drittel des technisch Machbaren.

Bei einem Verzicht auf die obligatorische Flächenstilllegung käme es bis dahin zu einer Nutzung des technischen Potenzials von ca. 90 %. Werden darüber hinaus gezielt Maßnahmen etwa zur Förderung von Ethanol ergriffen, wird das technische Potenzial vollständig ausgeschöpft.

Tab. 4–4: Auf einzelne Energieträger bezogene Potenzialabschätzungen (Auswahl)

Titel	Auftraggeber/Auftragnehmer bzw. Autor	Anmerkungen
Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse Bd.1 Gesamtergebnisse	AG: BGW und DVGW AN: Wuppertal Institut (2006)	bezogen auf Biogas
Rohstoffverfügbarkeit für die Produktion von Biokraftstoffen in Deutschland und in der EU	Zeddies, J. (2006)	bezogen auf Biokraftstoffe

4.4 Potenziale in Sachsen

Nach Angaben des SMUL (2006) bietet Biomasse in Sachsen insgesamt ein *technisch nutzbares Potenzial* von insgesamt etwa 8.400 GWh/a. Damit kann ein Anteil am sächsischen Strom- und Wärmeverbrauch von 9 bis 10 % gedeckt werden. Somit ist das Ausbaupotenzial etwa 2,7-fach so hoch wie das Ziel, das bislang für den Zeitraum 2005-2010 angestrebt wird (3.080 GWh/a bzw. 3,4 %). Im Vergleich dazu werden die Potenziale für Solarthermie und Geothermie < 400 m Teufe doppelt so hoch geschätzt (Abb. 4–4).

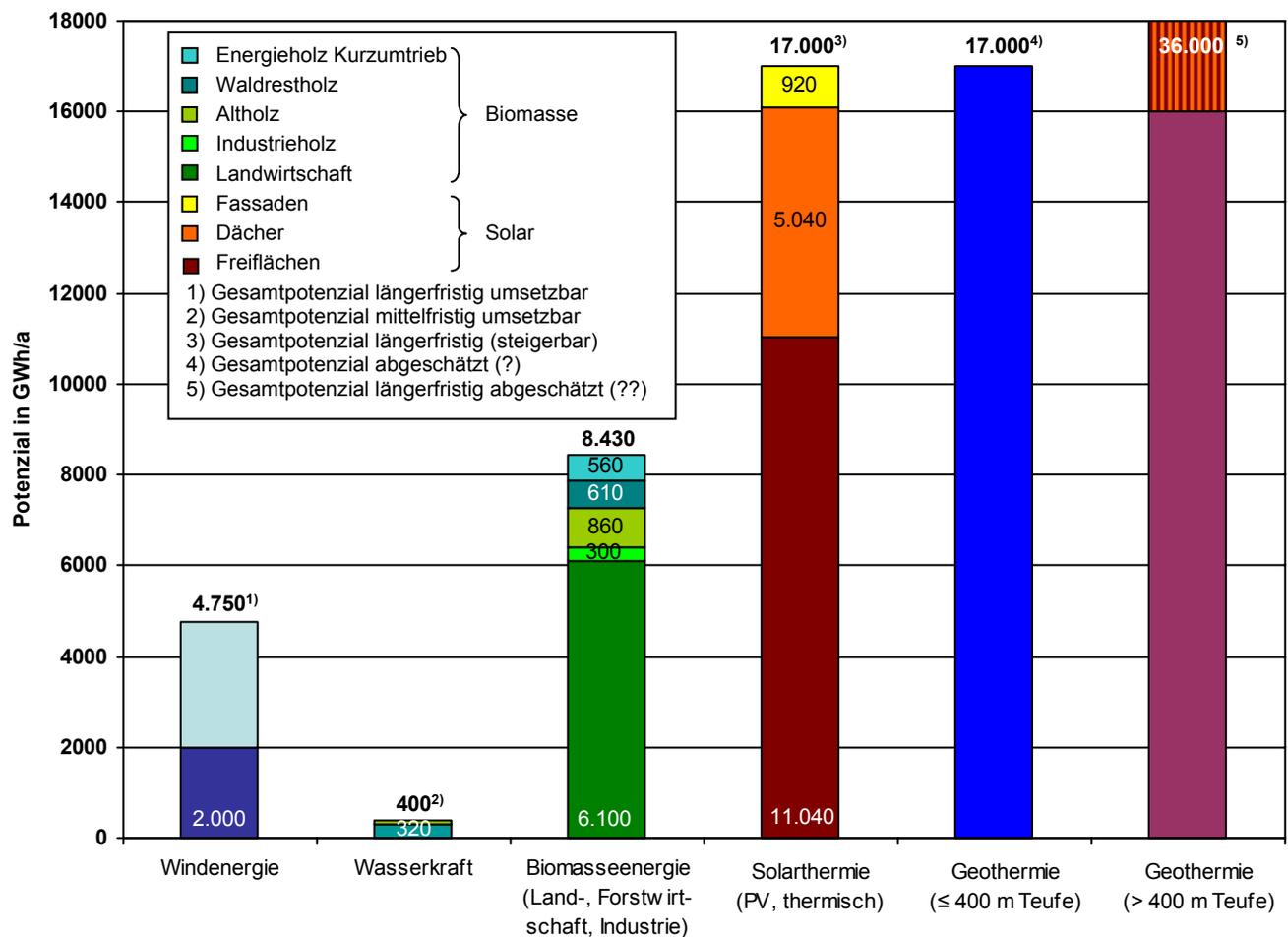


Abb. 4–4: Technische Potenziale Erneuerbarer Energien (Strom und Wärme) in Sachsen (aus: SCHLEGEL 2006)

Für Sachsen ist das technische *Energiepotenzial von fester Biomasse* mit Stand von 2002 ermittelt worden (LfL 2005a, S. 18). Zur betrachteten Biomasse gehören Energiepflanzen sowie Reststoffe aus Land- und Forstwirtschaft. Bei den Energiepflanzen wurden schnell wachsende Baumarten als Kurzumtriebsholz, Getreideganzpflanzen und *Miscanthus sinensis* sowie Getreidekorn und Aufwuchs von Dauergrünland berücksichtigt, bei den Reststoffen Raps- und Getreidestroh, Aufwuchs aus Landschaftspflegemaßnahmen und Waldrestholz. Als Potenzial erhoben wurde, was „nach Absicherung unverzichtbarer Aufgaben (z. B. Tierfütterung beim Stroh, Bodendüngung, Ackerland für menschliche Ernährung usw.)“ als Energieträger bereitgestellt werden könnte. Der Umfang der Biomasse wurde aus der Anbaustruktur der Vergangenheit abgeleitet.

Für feste Biomasse wurde ein Primärenergiepotenzial in der Größenordnung von 26 PJ/a ermittelt. Das entspricht 4,2 % des jährlichen Primärenergieverbrauchs (Stand 2002). Würde man entsprechend auf Heizöl und Erdgas verzichten, könnte die CO₂-Emission jährlich um 5,4% (34 Mio. t CO₂/a) verringert werden.

Dafür wird folgender Flächenumfang benötigt:

- Für die Biogaserzeugung aus Energiepflanzen wird ein Flächenpotenzial von 15 % der Ackerfläche geschätzt (ca. 109.000 ha bei einer Gesamt-Ackerfläche von ca. 728.000 (LFL 2003, S. 8).
- Der Flächenbedarf für Festbrennstoffe (ohne Stroh und Waldrestholz) und Biogas sowie Dauergrünland und Brachefläche beträgt 106.000 ha (= 15 % der sächsischen Ackerfläche).
- Der Flächenbedarf zur Erfüllung der Biokraftstoffquote im Jahr 2010 beträgt in Sachsen ca. 124.000 ha (= 17 % der sächsischen Ackerfläche).

Die Angaben dürfen nicht addiert werden; die Nutzungsformen stellen Alternativen dar oder können in der Kombination realisiert werden.

In einer früheren Darstellung des LFL (2003), die ebenfalls auf der Datenbasis aus Jahren vor 2002 beruht, wird das Potenzial von landwirtschaftlichen Reststoffen und Energiepflanzen für die Erzeugung von Wärme und Strom zusammenfassend dargestellt (Tab. 4–5).

Tab. 4–5: Energiepotenzial landwirtschaftlicher Biomasse in Sachsen, Stand 1999-2001 (nach LfL 2003, S. 8)

Bioenergieträger	Verwendung	Primärenergieertrag (PJ/a)	nutzbare Endenergie (PJ/a)
Getreidestroh	Wärme	12,6	8,8
Rapsstroh	Wärme	3,5	2,4
Heu Grünland	Wärme	6,9	4,8
Heu Brachland	Wärme	1,7	1,2
Biogas landwirtschaftliche Nutztiere	Biogas	4,7	1,7
Biogas Zuckerrübenblatt	Biogas	0,7	0,2
Energiepflanzen ¹⁾	Wärme	4,4	3,1
gesamt		34,5	22,2

¹⁾ schnell wachsende Baumarten, Miscanthus sinensis, Getreideganzpflanzen (Triticale, Roggen)

Die Ergebnisse beruhen auf der Annahme eines mittelfristigen Anbaukonzepts für Energiepflanzen in einem Umfang von 5 % der Ackerfläche (= 36.000 ha), das standörtlich differenziert ist (Tab. 4–6).

Tab. 4–6: Mittelfristiges Anbaukonzept lignocellulosehaltiger Energiepflanzen in Sachsen auf 5 % der Ackerfläche (nach LFL 2003, S. 7)

Energiepflanzen	vorrangige Anbau-standorte	standortabhängige Ertragsspanne (t TM/ha und Jahr)	Anbaufläche (ha)
Getreideganzpflanzen (Roggen, Triticale)	leichte bis mittlere Standorte	7 – 10	14.560
schnell wachsende Gräser (Miscanthus-Arten)	grundwasserbeeinflusste diluviale Böden, Kippenstandorte, Brachflächen, mittlere Lehm Böden	8 – 14	10.920
schnell wachsende Baumarten (Pappel- und Weide-Sorten)		8 – 14	10.920
gesamt			36.400

Die bisher in Sachsen vorliegenden Schätzungen zum Biomassepotenzial bzw. zur Bioenergie unterscheiden sich von denen auf Bundesebene (vgl. Kap. 4.2, 4.3) u. a. in folgenden Punkten:

- Zukünftige Entwicklungen bzw. Einflussfaktoren der Politik und des Marktes wurden bisher nicht antizipiert und für verschiedene Szenarien berechnet.
- Außerdem wurde eine begrenzte Auswahl an Energiepflanzen zugrunde gelegt.
- Wirtschaftliche Potenzialbetrachtungen liegen nach Kenntnisstand der Autoren für Sachsen bzw. bestimmte Standorte bisher nicht vor.

Darüber hinaus gibt es noch keine Studien zur Potenzialermittlung unter dem Gesichtspunkt der Ökoeffizienz. Mit anderen Worten, die Fragen, welche Anbaustruktur einer wirtschaftlich effizienten und ökologisch nachhaltigen Erzeugung von Biomasse entspricht und welche Energiepotenziale diese liefert, sind bisher nicht zu beantworten.

Bisher liegt in Sachsen keine Übersicht vor über Flächenansprüche der Lebens- und Futtermittelherzeugung, konkurrierender energetischer Nutzungen (Verwendung der Biomasse zu Wärme, Strom, Kraftstoff) und anderer Flächennutzungen wie Formen des umweltverträglichen Landbaus, unerfüllte Ansprüche nach dem Naturschutzrecht (unerfüllte Zielvorgaben des Landesnaturschutzgesetzes, FFH-Richtlinie/ NATURA 2000) und der Wasserrahmenrichtlinie, Infrastrukturzuwachs und Kompensationsfläche. In den Potenzialberechnungen auf Bundesebene sind diese Ansprüche bereits zum Teil in das Faktorensatz

der Szenarien eingeflossen. (Zu den möglichen Restriktionen der für die energetische Nutzung auf Bundesebene zur Verfügung stehenden Fläche durch den Naturschutz siehe KÖPPEL et al. (2004).)

4.5 Zwischenfazit

Da die Analyse der Ist-Situation zeigt, dass die Zielstellungen für den Ausbau der Bioenergie zu überprüfen und ggf. anzupassen sind, sind die ursprünglich zugrunde gelegten Potenzialschätzungen erneut aufzugreifen, ggf. weiterzuentwickeln und zu differenzieren.

Mit Biomasse von 13 % der Ackerfläche Deutschlands und von einem hier nicht näher bezifferten Anteil der Forstfläche werden in Holzheizungen und Holzkraftwerken, Biogas-Anlagen und durch Biokraftstoffe 3,3 % der Energieversorgung erzielt (Stand 2005). Zwar gibt es mit Ausnahme der Kraftstoffe weder auf Bundes- noch auf Landesebene feste Zielgrößen, wie hoch der Anteil der aus Biomasse erzeugten Energie am Energieverbrauch sein soll. Doch angesichts der Zielstellungen der Bundesregierung zu erneuerbaren Energien für 2020 (10 % des Primärenergieverbrauchs; 20 % des Bruttostromverbrauchs, 5,75 % Biokraftstoffe) und in Anbetracht der betont starken Rolle, die Biomasse beim Ausbau der erneuerbaren Energien sowohl auf Bundesebene wie auch in Sachsen spielen soll, wird deutlich, dass die errechneten Flächenpotenziale nicht zur Erfüllung aller energiepolitischen Zielstellungen ausreichen.

Wie groß die Lücke ist, hängt stark vom politisch angestrebten Selbstversorgungsgrad bei Nahrungsmitteln ab. Wenn ein hoher Selbstversorgungsgrad angestrebt wird, müssen künftige Steuerungsmaßnahmen in noch viel stärkerem Maße auf Effizienz bei der energetischen Verwendung von Biomasse orientiert sein als bisher, weil die Fläche begrenzt und nur zu Ungunsten anderer Nutzungsansprüche zu erweitern ist. Des Weiteren sind aus Umwelt- und Naturschutzsicht Anforderungen an die Qualität von importierter Biomasse zu definieren, weil bei gleichzeitig hohen Ausbauzielen im Energiesektor und hohen Selbstversorgungszielen im Agrarsektor mit stark wachsenden Importen zu rechnen ist.

Ein anderer Lösungsweg, den weiter steigenden Flächenbedarf durch hohe Erträge zu kompensieren, hat aus der Sicht des Natur- und Umweltschutzes seine Grenzen, und kann sicher nur zu einem Teil zu einer Gesamtlösung beitragen. Auch der Standort und mit ihm die Fruchtfolgegestaltung limitieren die Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus.

Angesichts der zunehmenden Flächenkonkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion und innerhalb der energetischen Verwendung sind zukünftig verstärkt ökonomische Ansätze zu verfolgen, um das Anbaupotenzial bzw. Flächenpotenzial für biogene Energieträger, das aus Sicht der Natur- und Umweltverträglichkeit von besonderer Bedeutung ist, realistischer einschätzen zu können.

Für die landespolitische Steuerungsebene sind wegen der Nutzungskonkurrenzen und der Grenzen der Fruchtfolgegestaltung bzw. der Umweltverträglichkeit insbesondere bei Raps (Kraftstoffe) und Mais (Gärs substrat) neben bundesweiten Potenzialbetrachtungen auch regionale Potenzialbetrachtungen notwendig.

Angesichts begrenzter Ressourcen und politischer Restriktionen muss sich die Politik – insbesondere auch auf Landesebene – im Hinblick auf die künftige Forschung und Förderung zunehmend fragen, welche Wirkungen eine politische Maßnahme auf die Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung hat, welche unerwünschten Wechselwirkungen auftreten und wie effizient sie etwas zur Erreichung der angestrebten Ziele beiträgt. Investoren (Landwirte, Anlagenbetreiber/Energiewirte) müssen angesichts der begrenzten Rentabilität der meisten Biomassepfade und der Abhängigkeit von Fördermitteln wissen, an welchem Standort welche Biomasseprodukte in welcher Menge in einem für Investitionen überschaubaren zeitlichen Horizont wettbewerbsfähig produziert und verarbeitet werden können.

Zur Beantwortung dieser Fragen ist ein Ansatz gefordert, der *regionale und sektorale Angebotsabschätzungen* von Biomasse mit *Wirtschaftlichkeitsanalysen* auf der Ebene der Land-, Forst- und Energiewirtschaft kombiniert. Zur Beantwortung der Kernfrage dieser Studie sind in die Angebotsabschätzung neben ökonomischen und sozialen Einflussfaktoren vor allem Anforderungen des Natur- und Umweltschutzes einzustellen, wie dies in Studien auf EU-Ebene (z. B. EEA 2006) und auf nationaler Ebene (z. B. INSTITUTS FÜR ENERGETIK UND UMWELT et al. 2005, ÖKO-INSTITUT et al. 2004, DLR et al. 2004) zum Teil schon praktiziert worden ist. Auch auf regionaler Ebene wurden schon eine Reihe von Potenzialabschätzungen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt (siehe Tab. 7–3).

5 Aktuelle Positionen relevanter Akteure zur Biomassenutzung und Natur- und Umweltverträglichkeit

Zum Teil liegen bereits aktuelle Stellungnahmen zur Biomassenutzung aus der Sicht des Natur- und Umweltschutzes vor. In vielen Institutionen werden diese allerdings zurzeit oder im Laufe des Jahres 2007 erarbeitet (u. a. UBA/BfN, SRU, LANA, LABO). In einer ersten groben Zusammenfassung stimmen die *wissenschaftliche Politikberatung und Natur- und Umweltverbände* in Bezug auf die Biomassenutzung zu energetischen Zwecken in folgenden Punkten überein:

- Primär ist der Energieverbrauch zu senken und die Energieeffizienz zu erhöhen.
- Der Einsatz von Biomasse zu energetischen Zwecken wird grundsätzlich befürwortet, insbesondere die Verwertung von Rest- und Abfallstoffen. Angesichts der begrenzten Potenziale ist Biomasse allerdings als ein Bestandteil eines Energiemix zu betrachten und künftig effizienter einzusetzen.
- Grundsätzlich wird eine differenzierte Betrachtung vorgenommen und eine nachhaltige Bereitstellung und Verwendung von Bioenergie gefordert. Bewertungskriterien hierfür sind:
 - energetische Effizienz
 - Flächenbedarf und Vereinbarkeit mit Naturschutzzielen
 - ökobilanzielle Parameter (Eutrophierung, Versauerung, Erosion usw.)
 - ökonomische Rentabilität
 - Struktur- und Arbeitsplatzeffekte
- Es wird vermutet oder zum Teil auch befürchtet, dass der Energiepflanzenanbau zu einer Verengung der Fruchtfolgen und zu einer Intensivierung der Bewirtschaftung führen und die biotischen und abiotischen Schutzgüter zusätzlich beeinträchtigen könnte. Dabei wird vielfach angenommen, dass gesicherte Aussagen hierzu nicht vorliegen. Deshalb wird von einigen Akteuren eine naturräumlich bzw. standörtlich differenzierende Untersuchung der Folgewirkungen einer starken Ausweitung des Energiepflanzenanbaus für notwendig erachtet und eine Weiterentwicklung von Ökobilanzen empfohlen (SRU, DRL).
- Des Weiteren wird mit Sorge kommentiert, dass die Ausweitung des Energiepflanzenanbaus regional bereits zu hohen Pachtpreisen geführt hat und in Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung und zu bisher unerfüllten Anforderungen des Naturschutzes und extensiver Landbauformen steht.
- In Bezug auf den Anbau von Energiepflanzen fordert ein Teil der Akteure die Einhaltung der guten fachlichen Praxis – unabhängig vom Verwendungszweck, während ein anderer Teil spezifische Mindeststandards für den Anbau und die Förderung von Energiepflanzen verlangt. Der WWF (FRITSCHKE et al. 2006) empfiehlt über die Einhaltung der guten fachlichen Praxis hinaus grundsätzlich den Vorrang der Energiepflanzenenerzeugung auf vorhandenem Ackerland sowie Maximalwerte für Treibhausgas-

Emissionen beim Anbau und der Umwandlung von Biomasse. Der NABU hat demgegenüber bereits konkrete Vorschläge zu Standards für den Energiepflanzenanbau vorgelegt (siehe Kap. 7.1).

- Davon unabhängig wird gefordert, dass der Ausbau der Biomassenutzung in Einklang zu bringen ist mit den noch unerfüllten Zielen des Natur- und Umweltschutzes (z. B. NATURA 2000, Agrarumweltprogramme, Cross Compliance; WRRL).
- Angesichts der sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Folgen, insbesondere in armen Ländern, wird von allen die Zertifizierung von importierter Biomasse empfohlen (ähnlich wie FSC-zertifiziertes Holz). Der WWF unterscheidet in Nachhaltigkeitsstandards für importierte Biomasse im Rahmen eines Zertifizierungssystems und in Standards für einheimische Biomasse, die im Wesentlichen die Regeln der guten fachlichen Praxis beinhalten (siehe oben).

Details der Argumentation und weitere Hinweise zu konkreten Verwendungs- und Technologiepfaden sind im Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu entnehmen.

6 Umweltwirkungen der energetischen Nutzung pflanzlicher Biomasse

Die möglichen Auswirkungen der energetischen Biomassenutzung auf Natur und Umwelt lassen sich in folgende Kategorien differenzieren:

- Nährstoffkreisläufe und Humusbilanz
- Nährstoffauswaschung
- Bodenerosion
- Bodenverdichtung
- Emissionen in die Atmosphäre
- Pflanzenschutz
- Arten- und Biotopschutz
- Landschaftsbild

Die vorgenannten Auswirkungskategorien sind grundsätzlich bei allen unterschiedlichen Verfahren der energetischen Biomassenutzung zu bewerten, wobei die Produktionsverfahren vielfach ähnliche Umweltwirkungen entfalten. Insofern können Verfahren mit ähnlichen Umweltwirkungen zusammengefasst werden.

Differenziert wird zwischen forst- und landwirtschaftlichen Produktionsverfahren, weil zwischen diesen Verfahren systematische Unterschiede in ihren Umweltwirkungen vorliegen. Im Zusammenhang mit den forstwirtschaftlichen Produktionsverfahren wird auch die Biomassegewinnung durch die Pflege holzartiger Landschaftsstrukturelemente thematisiert.

Bei der landwirtschaftlichen Biomasseproduktion wird zwischen der Produktion kraut- oder grasartiger Biomasse² einerseits und holzartiger Biomasse andererseits unterschieden.

Die vorstehende Gruppierung der Produktionsverfahren erlaubt eine systematische Beschreibung der Umweltauswirkungen anhand der Produktionsverfahren. So können Redundanzen – wie sie bei der Betrachtung jedes einzelnen Verfahrens zwangsläufig auftreten würden – vermieden werden.

Die Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf die Schadstoffemissionen in die Atmosphäre und das Landschaftsbild werden in gesonderten Kapiteln thematisiert.

6.1 Nutzung holzartiger Biomasse der Forstwirtschaft und Landschaftspflege

Zur energetischen Nutzung bietet sich grundsätzlich so genanntes Waldrestholz und Durchforstungsholz bzw. Schwachholz an. Beim Schwachholz handelt es sich um Stämme mit einem Brusthöhendurchmesser (BHD) von 7-20 cm. Zum Waldrestholz gehören

² Synonym zu nicht-holzartiger Biomasse. Der Begriff „Halmartige Biomasse“ würde zu sehr einengen und alle wurzel- und knollenartigen Ernteprodukte ausschließen.

stehendes und liegendes Totholz sowie Kronenholz, Reisholz und Rinde aus dem Schlagabraum. In der Regel kommen für eine energetische Nutzung das Schwachholz bzw. Durchforstungsholz sowie Kronenholz in Frage, der Rest verbleibt im Wald; Ausnahmen bilden nur voll mechanisierte Hackschnitzel-Bereitsstellungsverfahren, bei denen der gesamte Baum vor Ort verarbeitet wird (REINHARDT & SCHEURLEN 2004). Nach KALTSCHMITT et al. (2003) liegt der jährliche Zuwachs von Rohholz in den Wirtschaftswäldern Deutschlands bei rund 28,7 Mio. t_{atro} . Die Angaben zum gesamten nutzbaren Potential von so genannten Waldenergiehölzern schwanken relativ stark (vgl. Kap. 4), da bei einigen Studien z. B. der Feuchtegehalt nicht berücksichtigt wird; dieser ist aber für den Energieertrag entscheidend (RODE et al. 2005). Nach einer Studie der BFH (Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft) beläuft sich das technische Potential³ von Waldenergieholz, nach Abzug des Feuchtegehaltes, in Deutschland auf 14 Mio. t_{atro} , davon 4,3 Mio. t_{atro} Schwachholz und 9,5 Mio. t_{atro} Waldrestholz (DIETER & ENGELERT 2001). Die Untersuchung basiert auf Daten der Bundeswaldinventur (BICK & DAHM 1992) und dem Datenspeicher Waldfonds (ehemalige Walddatenbank der DDR). Die Berechnung der Potenziale erfolgte getrennt nach Baumartengruppen und basiert auf einer unteren Aufarbeitungsgrenze der Energiehölzer von 12 cm BHD. Höhere Energieholzaufkommen können durch niedrigere Aufarbeitungsgrenzen erzielt werden, allerdings erhöhen sich gleichzeitig die Bereitstellungskosten und somit auch die Preise für Hackschnitzel. Demnach würde sich bei einer Aufarbeitungsgrenze von 8 cm der Anteil für Schwachholz auf 7 Mio. t_{atro} und somit das Gesamtpotential auf 16,5 Mio. t_{atro} erhöhen.

Für den Freistaat Sachsen errechnet sich das Energieholzpotential aus Schwachholz und Waldrestholz bei einer unteren Aufarbeitungsgrenze von 8 cm BHD zu 0,65 Mio. t_{atro} (DIETER & ENGELERT 2001). Der Schwachholzanteil liegt dabei zwischen 40 und 50 % und ist wie in allen anderen Bundesländern mit linkssteiler Altersklassenstruktur der Waldbestände relativ hoch. Nach Studien der LfL (2005a) wird das technische Potenzial⁴ von darrtrockenem Waldrestholz (0% Holzfeuchte) mit 0,19 Mio. t/a auf Basis des Landeswaldes beziffert (Tab. 6–1), wobei dieser einen Anteil von 37 % am gesamten sächsischen Waldbestand hat (SCHLEGEL 2005). Die Angaben zu den Energieholzpotenzialen können aufgrund unterschiedlicher Annahmen erheblich schwanken; auch nach Umrechnung auf den Gesamtwaldbestand Sachsens weichen die Angaben zum Energieholzpotential erheblich voneinander ab. DIETER & ENGELERT (2001) berücksichtigen nicht die Eigentumsverhältnisse der Waldbestände, das LfL (2005a) wiederum liefert keine Informationen zu berücksichtigten Aufarbeitungsgrenzen bei der Berechnung der Potenziale. Außerdem besteht ein genereller Unsicherheitsfaktor bei einer Hochrechnung vom Landeswald auf

³ Technisches Potenzial nach RODE et al. (2005): Das technische Potenzial bildet den Anteil des theoretisch physikalisch nutzbaren Potenzials, der unter den gegebenen technischen Restriktionen sowie ökologischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen erschlossen werden kann.

⁴ Technisches Potenzial nach (LfL 2005): Das technische Potential berücksichtigt diejenige Menge an Biomasse, die nach Absicherung unverzichtbarer Aufgaben (z.B. Tierfütterung beim Stroh, Bodendüngung, Ackerland für menschliche Ernährung usw.) als nachwachsender Rohstoff bereitgestellt werden kann.

den Gesamtwald, da bei der Hochrechnung von gleichen Bedingungen in den Forstämtern ausgegangen wird; bei den Restholz-Schätzungen für den Landeswald wird von den jeweiligen Revierförstern das Derbholz (> 7 cm BHD) erfasst (TWISTEL & RÖHRICHT 2000).

Tab. 6–1: Technisches Potenzial der Land- und Forstwirtschaft in Sachsen (LfL 2005a)

	t / a	Bruttoenergie PJ / a	CO ₂ - Minderung t CO ₂ / a	Flächenbedarf ha	CO ₂ -Minderungs- faktor t CO ₂ / PJ
Getreidestroh (Trockenmasse 15 % Feuchte)	838.000	12,57	925.000	-	73.611 (Heizöl EL)
Waldrestholz (darrtrocken)	190.000	3,27	241.000	-	73.611 (Heizöl EL)
Festbrennstoffe (Trockenmasse 15 % Feuchte) und Biogas (organische TS)	192.000	2,88	186.000	19.200	64.722 (Mittel Heizöl EL und Erdgas)
Dauergrünland (Trockenmasse 15 % Feuchte)	347.000	5,20	383.000	49.500	73.611 (Heizöl EL)
Brachefläche (Trockenmasse 15 % Feuchte)	112.000	1,68	124.000	37.300	73.611 (Heizöl EL)
Gesamt		25,60	1.859.000	106.000	
Erläuterungen: Getreidestroh umfasst 33 % des jährlichen Gesamtaufkommens (Mittel 1991- 2001) Unterstellt wird eine maximale Strohversorgung der Landwirtschaft Waldrestholz Hochrechnung auf Basis des Landeswaldes 0,88 Efm/ha*a bezogen auf Holzbodenfläche Mit einem durchschnittlichen Biomasseertrag von 10 t Trockenmasse / ha wird der Ertrag für Festbrennstoffe / Biogaspflanzen angenommen Dauergrünland 156.133 ha (Dauerwiesen, Mähweiden) 30 % des Heuaufkommens und der Dauergrünlandflä- che; 7,4 t Heu / ha * a Brachefläche Begrünte Bracheflächen außerhalb der LN umfasst 37.298 ha (Stand 1999) mit einem angenom- menen Ertrag von 3 t Heu / ha CO ₂ -Emissionsfaktoren nach WINTZER et al. (1993) EL: Extra leicht					

Nutzungskonkurrenzen könnten in Zukunft im Hinblick auf die stoffliche Verwertung in der Holzwerkstoff-, Papier-, Zellstoff- und Sägeindustrie entstehen. Die im EEG geregelte Einspeisevergütung für Strom aus EE könnte den Rohstoff für eine stoffliche Nutzung verknappen lassen. Allerdings werden in der Regel Waldgehölze erst ab einer Aufarbeitungsgrenze von 16 cm BHD der stofflichen Verwertung zugeführt (KALTSCHMITT et al. 2003).

Die nutzbare Menge von **Landschaftspflegeholz**, das aus der Unterhaltung von Hecken, Gewässerrand- und Verkehrswegerandgehölzen anfällt, wird bundesweit mit 0,27 Mio. t/a bezogen auf 15 % Feuchtegehalt beziffert (KALTSCHMITT et al. 2003). In einer jüngeren Arbeit von TONN et al. (2006) werden außer den Landschaftspflegegehölzen aus linearen Strukturen auch die aus flächenhaften Nutzungen berücksichtigt. Demnach stehen jährlich insgesamt 0,62 Mio. t_{atro} zur Verfügung, wobei der Anteil an Landschaftspflegeholz aus li-

nearen Strukturen 0,24 Mio. t_{atro} beträgt (Tab. 6–2). Die Angaben zu potenziell nutzbaren Mengen an Landschaftspflegeholz sind als grobe Richtwerte zu interpretieren, da die exakte Erfassung von potenziell vorhandenen Flächen und Zuwachsraten der unterschiedlichen Gehölze sicher schwierig ist.

Tab. 6–2: Technische Biomasse- und Bioenergiepotenziale von Landschaftspflegeholz (TONN et al. 2006)

		Buddenberg & Kralemann (2002); Meinhardt (2000) ¹	Schneider et al. (2005) ²
Flächen- nutzungen	Öffentliche Grünflächen	1,19 Mio $t_{atro}/a \rightarrow 9,5 PJ/a$	---
	Obstbaumplantagen	0,28 Mio $t_{atro}/a \rightarrow 2,2 PJ/a$	0,38 Mio $t_{atro}/a \rightarrow 6,0 PJ/a$
	Rebflächen	1,45 Mio $t_{atro}/a \rightarrow 11,6 PJ/a$	
	Streuobstwiesen	6,30 Mio $t_{atro}/a \rightarrow 50,4 PJ/a$	
Lineare Strukturen	Feldhecken / Gehölze der freien Landschaft		0,17 Mio $t_{atro}/a \rightarrow 2,6 PJ/a$
	Verkehrswegerandgehölze		0,06 Mio $t_{atro}/a \rightarrow 0,9 PJ/a$
	Gewässerrandgehölze	0,01 Mio $t_{atro}/a \rightarrow 0,2 PJ/a$	
Summe		9,22 Mio $t_{atro}/a \rightarrow 73,8 PJ/a$	0,62 Mio $t_{atro}/a \rightarrow 9,7 PJ/a$
1: verändert: Ergebnisse zusammengeführt, Berechnung der Energiepotenziale mit $H_U=16 MJ/kg_{atro}$ 2: verändert: Umrechnung der Biomassepotenziale von FM (w=50 %) in absolut trocken, Berechnung der Energiepotenziale mit $H_U=16 MJ/kg_{atro}$; Biomassepotenzial Obstbaumplantagen, Rebflächen und Streuobstwiesen aus angegebenem Energiepotenzial berechnet			

In dem vom BMBF geförderten Verbundprojekt „Dendrom – Zukunftsrohstoff Dendromasse“ sollen u. a. die nachhaltigen technischen, ökonomischen und ökologischen Waldholzreserven identifiziert und konkrete Handlungskonzepte zur Konfliktlösung zwischen dem klima- und energiepolitisch erforderlichen Ausbau von EE einerseits und der umweltpolitisch erforderlichen naturnahen Waldbewirtschaftung andererseits erarbeitet werden. Die Modellregion für das Verbundvorhaben soll in Brandenburg ausgewiesen werden.

Bei der Nutzung holzartiger Biomasse aus der Forstwirtschaft und Landschaftspflege sind folgende Wirkungszusammenhänge zu betrachten:

- Nährstoffkreisläufe:

Verbleibt das anfallende Waldrestholz und Durchforstungsholz im Wald, dann werden damit dem Waldboden Mineralien zugeführt, die zur Aufrechterhaltung der Nährstoffkreisläufe und damit zur Absicherung der natürlichen Bodenfunktionen beitragen. Temporäre Versauerungstendenzen des Waldbodens, sowohl durch die Aufnahme von Kationen während des Pflanzenwachstums als auch durch atmosphärische Säureinträge, werden beim Abbauprozess von verrottendem Pflanzenmaterial wieder ausgeglichen (RODE et al. 2005). Auch eine nachhaltige Humusversorgung und die Bodenfruchtbarkeit bleiben durch die Nährstoffzufuhr gesichert. Eine verstärkte Nut-

zung des Restholzes führt prinzipiell zu einer Abschwächung oder Unterbindung der Nährstoffkreisläufe, so dass den Waldböden Mineralien entzogen werden und die Waldvegetation in ihrem Zuwachs potenziell beeinträchtigt wird. Neben Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen sind auch Beeinträchtigungen der Gewässer durch verstärkten Säure- und Schadstoffaustrag zu bewerten.

Besonders in der Nadel- und Blattmasse und nachfolgend in der Rinde liegen gegenüber dem Stammholz sehr hohe Nährstoffkonzentrationen vor. Als Beispiel sei hier das Verhältnis der Nährstoffkonzentrationen „Derbholz in Rinde/Nadeln und Reisig“ von Fichten aufgeführt (Tab. 6–3).

Tab. 6–3: Nährstoffentzüge bei der Entnahme von Fichtenholz (SPLECHTNA & GLATZEL 2005)

Fichtenholz	Calcium	Kalium	Magnesium	Phosphor	Stickstoff
			kg/t		
Derbholz in Rinde	2	0,7	0,3	0,2	0,7
Nadeln und Reisig	6,5	3,8	1,1	0,9	6,5

Eine Ganzbaumentnahme mittels voll mechanisierter Ernteverfahren kann erhebliche Nährstoffdefizite und eine mögliche Bodendegradation zur Folge haben. Dabei spielt das Bestandsalter auch eine entscheidende Rolle. So führt die Ganzbaumentnahme mit abnehmender Umtriebszeit zu steigenden Nährstoffentzügen (KIMMINS 1977). Bei Laubwäldern ist gegenüber Nadelwaldbeständen generell von einem höheren Nährstoffverlust auszugehen. In einem 65 Jahre alten Fichtenbestand würde bei der Ganzbaumentnahme gegenüber einer konventionellen Stammholzentnahme der Nährstoffentzug von N, P, K, Ca um 288 %, 367 %, 236 %, 179 % ansteigen; hingegen würde der Entzug bei einem älteren Bestand bis zu einem Alter von 350 Jahren lediglich um 116 %, 163 %, 32 %, 50 % zunehmen (KIMMINS 1977).

Aktuelle Untersuchungen in naturnahen Fichtenökosystemen Europas zeigen, dass etwa 30-90 % der nachwachsenden Waldgeneration auf vermoderndem Totholz wächst (HIRSCHBERGER 2006). Für Durchforstungen mit anschließender Ganzbaumentnahme wird ein Zuwachsverlust von 22 % gegenüber der ausschließlichen Stamm- bzw. Derbholznutzung angenommen.

In einem Feldversuch in Dänemark wurde an zwei Standorten auf nährstoffarmen Böden der Einfluss einer Ganzbaumentnahme auf den Bestandszuwachs untersucht. Nach Durchforstung der Fichtenbestände und anschließender Ganzbaumentnahme konnte in den 4 Folgejahren an beiden Standorten ein Zuwachsverlust der Bestände von 10 – 18 % bzw. von 5 – 17 % ermittelt werden (NORD-LARSEN 2002). Als Vergleichswert wurden die Zuwachsraten der Bestände herangezogen, in denen der Schlagabraum vor der Ganzbaumentnahme für eine Saison im Bestand belassen wurde, sowie Bestände in denen das Astwerk und Kronenmaterial nicht entnommen wurden.

Die zusätzliche Entnahme von Kronenmaterial in 7 – 70 Jahre alten Fichtenbeständen im Südosten der USA hatte im Gegensatz zu einer ausschließlichen Stammholzentnahme einen Rückgang der Biomasseproduktion von 18 % zur Folge (SCOTT & DEAN 2006). Im Boden verbleibende Wurzeln und Stubben sind ebenfalls wichtige Nährstofflieferanten. Durch den mikrobiellen Abbau der Wurzelmasse tragen die freigesetzten Nährstoffe direkt zum Wachstum der Folgegeneration nach der Wiederbestockung bei (WEATHERALL et al. 2005a+b).

Inwiefern die Entnahme von Waldenergieholz in bestimmten Mengen zu kritischen Beeinträchtigungen der Nährstoffbilanzen führt, ist im Einzelfall von den jeweiligen Standortbedingungen abhängig (RODE et al. 2005). Zum Beispiel ist die Entnahme von holzartiger Biomasse auf sandigen Substraten, deren Nährstoffdefizit bereits geogen geprägt ist, nur eingeschränkt möglich. Dem LWF-Bericht Nr. 22 (KÖLLING 2000) ist eine Methodik der systematischen Zuordnung von Standorten zu Stoffhaushaltstypen und den daraus abzuleitenden Entnahmemengen unter Erhalt der Nährstoffkreisläufe zu entnehmen (RODE et al. 2005).

Anthropogen verursachter Nährstoffmangel durch die übermäßige Nutzung von Waldenergieholz bedarf ggf. einer forstlichen Ausgleichsdüngung (WINKEL & VOLZ 2003). Die Düngung kann in diesem Zusammenhang alternativ durch die Rückführung von Holzasche erfolgen, eine Methode, die in skandinavischen Ländern bereits breite Anwendung findet. Probleme können sich allerdings bei der Ausbringung von Aschen mit erhöhten Schwermetallkonzentrationen ergeben (s. Kap. 6.3.2).

- Bodenverdichtung:

Eine verstärkte Holznutzung bedingt zum einen vermehrten Transportverkehr auf Waldböden, so dass tendenziell die Gefahr der schädlichen Bodenverdichtung ansteigt. Zum anderen werden aus ökonomischen Gründen weitere Verfahrensschritte im Wald notwendig, die die Waldböden mechanisch in Anspruch nehmen. So empfiehlt sich zur Reduzierung des Transportvolumens die Herstellung von Hackschnitzeln am Ort der Restholzgewinnung, also im Wald. Dafür werden weitere Flächen beansprucht, die durch Befahrungen verdichtet werden können. Nachteilig wirkt sich außerdem bei den derzeitig verfügbaren Vollerntern die Tatsache aus, dass bei diesen Verfahren komplette Bäume verarbeitet werden und es somit wiederum zu stark erhöhten Nährstoffausträgen kommt die den Nährstoffhaushalt empfindlich stören können (RODE et al. 2005). Darüber hinaus konkurriert die energetische Restholzverwertung mit der Verwendung des Restholzes zur Armierung der Rückegassen, wie sie sich in der Forstwirtschaft in den vergangenen Jahren insbesondere beim Einsatz moderner Harvester etabliert hat; fehlt Astwerk zur Armierung der Rücke- und Fahrgassen, dann werden in diesen Bereichen schädliche Bodenverdichtungen wahrscheinlicher.

- Artenschutz:

Bei der Betrachtung der ökologischen Auswirkungen durch die Nutzung von Biomasse werden im Hinblick auf die Erhaltung der biologischen Vielfalt meist die Artenzahl sowie die Anzahl der Individuen als Indikatoren herangezogen. Eine verstärkte Nutzung von Waldrestholz kann den Artenschutz in zweierlei Hinsicht direkt betreffen. Zum einen sind Zersetzergemeinschaften und auf diesen aufbauende Nahrungsketten durch eine verstärkte Restholznutzung betroffen; die Konsequenzen aus Sicht des Artenschutzes sind derzeit nicht abschätzbar und bisher nicht Gegenstand von systematischen Untersuchungen. Zum anderen birgt die verstärkte Nutzung von Restholz die Gefahr, dass Nisthöhlen z. B. in stehendem Totholz verloren gehen. Davon wären insbesondere Vögel, Fledermäuse und verschiedene Kleinsäuger betroffen.

Der Einfluss von Durchforstungen und der Restholznutzung auf die Biodiversität hängt von der Art und Weise der durchgeführten Maßnahmen und Entnahme ab. So werden bei der so genannten Niederdurchforstung einzelne zu fördernde Baumindividuen ausgesucht und die entwicklungshemmenden Konkurrenten in der Umgebung entnommen. Durch die Entnahme der Stämme kommt es zwangsläufig zur potenziellen Verminderung von Totholzbeständen und auch zum Verlust an vertikalen Strukturen, die gleichermaßen zu einer Beeinträchtigung der Habitatvielfalt und Biodiversität führen. Gleichzeitig kann aber durch die Lichtung eines Waldbestandes die Artenvielfalt gefördert werden.

Waldrestholz in Form von Kronenholz und Astwerk sowie Biotopbäume bilden noch vielmehr als stammartiges Totholz einen mannigfaltigen Lebensraum. Nach HIRSCHBERGER (2006) sind etwa ein Drittel aller waldbewohnenden Arten zumindest für einen Teil ihres Lebenszyklus von den Mikrohabitaten und Nischen auf totem oder absterbendem Holz abhängig. In Europa leben zum Beispiel etwa 1.350 Käferarten und 1.500 Großpilzarten in und am Totholz. Allerdings muss auch der Lebensraum Totholz und dessen Verbleib im Wald kritisch betrachtet werden. Während Laubhölzer als weniger problematisch angesehen wird, werden Nadelgehölze bevorzugt von Schädlingen wie Rindenbrütern befallen (ARETZ et al. 2003). Vor allem für die Familie der Borkenkäfer stellt totes Nadelholz ein brutfähiges Material und die Voraussetzung für eine Massenvermehrung dar.

Im Hinblick auf den im Januar 2007 über dem gesamten Bundesgebiet wütenden Sturm „Kyrill“ stellen die anfallenden Sturmholzmengen dieses Extremereignisses ein erhebliches Gefährdungspotenzial durch die Schädlingsverbreitung dar. Nach den Mitteilungen der Landesforstverwaltungen wird bundesweit mit einem Mengenanfall von 25 Mio. m³ Sturmholz ausgegangen (Pressemitteilung des BMELV, Nr. 016 vom 26.01.2007). In vielen Teilen des Bundesgebietes sind vor allem Fichtenbestände betroffen, die bevorzugt als Brutstätte des Buchdruckers (Fam. Borkenkäfer) heimge-

sucht werden. Ist die Käferpopulation erst einmal gestiegen, sind auch gesunde Bäume gefährdet und ein Übergreifen der Schädlinge auf andere Baumarten ist nicht auszuschließen. Daher wird im Rahmen einer „sauberen Waldwirtschaft“ vor allem nach solchen Extremereignissen die Entnahme und wirtschaftliche Verwertung des Restholzes gefordert (ARETZ et al. 2003).

Synergieeffekte zwischen Energieholznutzung und Artenvielfalt stellen sich nach SCHIESS (2006) im Rahmen der Waldbewirtschaftung bei einer mittleren Nutzungshäufigkeit ein. Demnach findet man die höchsten Artenzahlen nicht im Naturwald oder im Stammholzbestand, sondern in einem lichten Wald mit mittelwaldähnlichen Strukturen, der bei mittlerer Nutzung auch noch wirtschaftlich rentabel ist.

Bei holzartigen Landschaftsstrukturelementen treten die vorgenannten Beeinträchtigungen nicht oder nur in eingeschränktem Umfang auf. So sind traditionelle Nutzungs- bzw. Pflegeformen – wie das „auf den Stock setzen“ – zumeist mit der regelmäßigen Entnahme der gesamten Biomasse verbunden. Wird die Pflege und Nutzung entsprechend der Guten fachlichen Praxis sukzessive unter Erhalt von Rückzugsräumen für die Fauna durchgeführt, so werden keine negativen Auswirkungen auf die Artenvielfalt erwartet. Zum anderen wirken umliegende Nutzungen durch die größere Grenzlinienlänge stärker in die Bestände hinein; dies gilt auch für stoffliche Einträge, die Mineralverluste aufgrund der Biomassenutzung ausgleichen können.

6.2 Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse

6.2.1 Kraut- oder grasartige Biomasse

Die kraut- und grasartige Biomasse fasst alle Getreide-, Gras- und sonstige nicht-holzige Ernteprodukte wie Rüben zusammen. Ihnen ist gemeinsam, dass sie vergleichbar den derzeit üblichen Ackerbaukulturen angebaut bzw. vergleichbar den üblichen Wiesennutzungsverfahren gewonnen werden.

Aus diesem Grund unterscheidet sich der Anbau dieser Biomasseträger im Hinblick auf ihre Umweltwirkungen auch nicht grundlegend von den derzeit üblichen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren. Stattdessen sind graduelle Unterschiede auf Grund unterschiedlicher Ansprüche an das Erntegut zu erwarten.

Die möglichen Umweltauswirkungen bei der Produktion landwirtschaftlicher Biomasse können mit folgenden Produktionsverfahren des Ackerbaus und Grünlandes in Verbindung gebracht werden:

- Fruchtfolgegestaltung
- Bodenbearbeitung und Bestellung
- Düngung
- Pflanzenschutz

- Speziell Grünland: Schnittzeitpunkte und Schnittfrequenz
- Ernte/Entnahme

Anhand dieser Produktionsverfahren werden im Folgenden mögliche Umweltauswirkungen beschrieben.

- **Fruchtfolgegestaltung**

Das Spektrum der Ackerkulturen kann sich grundsätzlich durch Anbau von Energiepflanzen erweitern. Neben dem Anbau alter Kulturpflanzen, die derzeit weitgehend aus der Feldflur verschwunden sind, können auch neue Pflanzenarten wie Amaranth, Miscanthus oder Sudangras als Energiepflanzen angebaut werden. Daraus ergibt sich potenziell eine stärkere Differenzierung der Fruchtfolgen, die sowohl mit einer zeitlichen Aufweitung der Bearbeitungsverfahren als auch mit einer strukturellen Anreicherung der Feldflur verbunden sind. Beide Effekte kommen prinzipiell dem Artenschutz entgegen.

Entscheidend für die Auswahl der Energiepflanzen ist der Biomassezuwachs und der daraus zu erzielende Energiegewinn. Vor dem Hintergrund zeichnet sich die Auswahl weniger rentabler Energiepflanzen ab, die in einseitigen Anbaustrukturen angebaut werden könnten. Insbesondere beim Maisanbau zur Gewinnung von Co-Fermenten für die Biogasgewinnung aus Gülle und Mist wird eine starke Flächenausdehnung bereits beobachtet; dieser Trend wird wahrscheinlich in den kommenden Jahren zunehmen (vgl. Tab. 3–1 u. Tab. 3–2 inkl. textlichen Erläuterungen in Kap. 3). Bei konventionellen Maisanbauverfahren ist mit einer erhöhten Erosionsgefährdung zu rechnen. Gleichzeitig ist bei sehr engen Maisfruchtfolgen von einem erhöhten Aufwand an Pflanzenschutzmitteln auszugehen. Beide Folgewirkungen sind aus Sicht des Boden- und Gewässerschutzes nachteilig.

Vom Anbauumfang besonders bedeutend ist der Rapsanbau zur Gewinnung von Biodiesel oder Pflanzöl. In einigen Regionen Deutschlands – insbesondere in den nördlichen Bundesländern – wird bereits der phytosanitär noch vertretbare Anbauumfang von 33 % der Fruchtfolge ausgeschöpft (u. a. SCHUMANN et al. 2006, S. 16).

Die zum Teil derzeit zu beobachtende „Verrapsung“ und „Vermaisung“ einiger Regionen Deutschlands konterkariert die These der möglichen Erweiterung der Anbauvielfalt durch den Anbau von Energiepflanzen. Welche Entwicklung der Bioenergiepflanzenanbau in Zukunft nehmen wird, ist noch nicht abschließend zu beurteilen. Ein großes genetisches Potenzial zur Biomasseproduktion wird neben Mais insbesondere auch der Sonnenblume sowie Grasansaat, Miscanthus und Sudangras zugeordnet. Somit steht der Praxis grundsätzlich ein breiteres Spektrum von Energiepflanzen zur Auswahl. Ob sich der derzeitige Trend zum dominierenden Anbau von Mais und Raps fortsetzt – was zu erwarten ist – oder ob ein breiteres Spektrum an Energiepflanzen

mit relevanten Flächenanteilen angebaut werden wird, hängt entscheidend von den Gewinnerwartungen ab. Neben Mais und Raps wird wahrscheinlich der Energiegetreideanbau bedeutende Flächenumfänge einnehmen; diese Entwicklung lässt sich aus dem bereits beobachteten Anbauzuwachs der letzten Jahre ablesen (vgl. Tab. 3–1).

Aus natur-, bodenschutz- und gewässerschutzfachlicher Sicht ist jedwede Beschränkung des Anbauspektrums ungünstig einzustufen, weil gering differenzierte Fruchtfolgen zum einen für wildlebende Tiere nur eingeschränkte Habitatangebote bereitstellen und zum anderen auf Grund des erhöhten Krankheits- und Schädlingsdrucks auch höhere Pflanzenschutzmittelaufwendungen notwendig werden können.

Speziell zum Miscanthusanbau und seine möglichen Umweltwirkungen liegen umfangreiche Untersuchungsergebnisse aus Mecklenburg-Vorpommern vor (BOELCKE et al. 1998). Danach birgt der Anbau von Miscanthus grundsätzlich positive Auswirkungen auf die Umwelt, die besonders auf die langjährige Nutzungsdauer von 20 bis 30 Jahren zurückzuführen. In dieser Zeitspanne wird der Boden nur während der Ernte mechanisch belastet, ansonsten findet keine Befahrung statt. Auf Grund der langjährigen Bodenruhe und der jährlichen Rückführung von großen Mengen organischer Substanz in Höhe von ca. 5 t/ha wird das Bodenleben angeregt und es bildet sich ein lockeres Bodengefüge aus mit erhöhten Humusgehalten und mit hohen Anteilen biogener Makroporen. Dadurch sinken die Trockenrohdichten der Böden und die gesättigte Wasserleitfähigkeit nimmt zu. Bei gleichzeitig dichtem Pflanzenbewuchs besteht nur eine sehr geringe Erosionsgefährdung. Lediglich in der Phase der Bestandsgründung ist auf Grund der langsamen Bestandsentwicklung eine potenzielle Erosionsgefährdung zu besorgen, die jedoch vergleichbar der Erosionsgefährdung im Mais- oder Zuckerrübenanbau ist. BOELCKE et al. raten von der Ansaat von Untersaaten zur Begrenzung der Erosionsgefahr im 1. Jahr von auf Grund von Konkurrenz zum Miscanthus ab, führen aber keine Alternativen auf. Aus Sicht der Autoren müssten Mulchsaatverfahren geeignet sein, um die anfängliche Erosionsgefahr ausreichend zu begrenzen. Nährstoffauswaschungen sind im Regelfall im Vergleich zu klassischen Ackerbau deutlich geringer, weil auf eine N-Düngung zumeist verzichtet werden kann und gleichzeitig in Folge des hohen Wasserbedarfs der Miscanthusbestände die Sickerwassermengen stark reduziert sind. Weiterhin sind Pflanzenschutzmittelanwendungen auf das Pflanzjahr beschränkt und umfassen vergleichbare Herbizidmengen wie der Zuckerrüben- bzw. Maisanbau. Problematisch kann der Befall von Miscanthus mit Gerstengelbverzwergungsvirus sein, der zur Infektion von Wintergerstebeständen führen kann, so dass Fungizidanwendungen notwendig werden können. Bedeutende Insektenkalamitäten sind für Miscanthus nicht bekannt. Als problematisch wird der hohe Wasserbedarf von Miscanthus in Regionen mit geringer klimatischer Wasserbilanz angesehen; bei verbreitetem Anbau könnte die Grundwasserneubildung negativ beeinflusst werden.

Perennierende Gräser bieten auch die Chance, ergänzende Habitatangebote für wildlebende Tiere bereitzustellen. Am Beispiel des Anbaus von Rutenhirse (*Panicum virgatum*) als Energiepflanze zeigen ROTH et al. (2005) die Beeinflussung der Abundanz von Grünlandvogelarten. Bodenbrüter treten im Jahr nach der herbstlichen Ernte der Rutenhirse auf, wohingegen Bewohner von Langgrasbeständen wie der Seggen-Zaunkönig (*Cistothorus platensis*) die nicht abgeernteten Bestände bevorzugen. Daraus folgern ROTH et al., dass für ein möglichst breites Habitatangebot für unterschiedliche Vogelarten ein Nebeneinander von unterschiedlichen Entwicklungsstadien am günstigsten ist. Unter diesen Bedingungen kann das Habitatangebot in Ackerbauregionen durch den Anbau perennierender Gräser erweitert werden. Dieses Ergebnis aus Nordamerika ist nach Einschätzung der Autoren sicherlich auch auf entsprechende Kulturen in Deutschland wie Miscanthus oder Sudangras übertragbar.

Zur Steigerung der Bioenergieerträge werden auch Zweikultur-Nutzungssysteme untersucht (u. a. KARPENSTEIN-MACHAN 2005). Dabei wird als Erstkultur eine Winterfrucht angebaut, die bereits vor der Reife geerntet wird. Als Zweitkultur eignen sich Pflanzen, die an die Bedingungen des Hochsommers angepasst sind, deren Ernte dann im Herbst erfolgen kann. Wintergerste und Winterroggen sind als Erstkulturen sehr gut geeignet, weil sie im Vergleich zu Winterweizen hohe Biomassezuwächse durch eine frühe generative Phase realisieren. Als Zweitkulturen kommen vorwiegend Mais, Sonnenblumen, Hirsen, Sudangras, Hanf und Amarant in Frage (u. a. KTBL 2006, S. 343). Nach KTBL (2006, S. 345) kommen u. a. folgende Vorteile der Zweikulturnutzung zum tragen:

- Erweiterung der Pflanzenauswahl zur energetischen Verwertung.
- Begünstigung von Arten- und Sortenmischungen mit den damit verbundenen Vorteilen hinsichtlich der Ertragsstabilität, geringerer Krankheitsanfälligkeit und den Kombinationsmöglichkeiten von Leguminosen und Nichtleguminosen.
- Anbau alter Sorten zum Erhalt genetischer Ressourcen. Zum Beispiel sind alte Getreidesorten bezüglich der Biomasseleistung bis zur Milchreife durchaus mit neuen Sorten konkurrenzfähig (VON BUTTLAR 1996, zit. in KTBL 2006).
- Geringere Nährstoff- und Pflanzenschutzmittelausträge als im Einkultur-Verfahren und damit Schonung der Böden und Gewässer. Realisiert werden diese Vorteile durch die Nutzung der gesamten oberirdischen Pflanzenmasse inkl. der Unkräuter vor deren Samenreife, der verringerten Pflanzenschutzmittelaufwendungen und geringeren N-Düngergaben auf Grund geringerer Qualitätsansprüche an das Erntegut und durch die nahezu ganzjährige Bodenbedeckung mit Nährstoffentzügen bis in den Herbst hinein.

Vor dem Hintergrund der vorgenannten Vorteile eröffnet der Zweikultur-Anbau die Chance, das Anbauspektrum in Ackerbauregionen zu erweitern und somit potenziell naturschutzfachliche Vorteilswirkungen zu entfalten. Ob der Zweikultur-Anbau eine

größere Bedeutung in der landwirtschaftlichen Praxis erlangen wird, bleibt abzuwarten. Mögliche Zweikultur-Fruchtfolgen sind in Tab. 6–4 aufgeführt (vgl. auch KARPENSTEIN-MACHAN 2005).

Tab. 6–4: Beispiele für Zweikultur-Fruchtfolgen (KTBL 2006, S. 346f)

Fruchtfolgeglied	Bodengüte und Wasserangebot					
	niedrig		mittel		hoch	
	Frucht	Verwertung	Frucht	Verwertung	Frucht	Verwertung
Dreigliedrige Fruchtfolge						
1.	EK: Winterroggen-GPS ZK: Silomais	B, P B, P	EK: Winterraps-GPS ZK: Silomais	B, P B, P	Zuckerrüben ZR-Schnitzel ZR-Blatt	V V G/H
2.	Sommergerste-Korn, Stroh Phacelia	V G/H G/H	Winterweizen-Korn Stroh	V G/H	Winterweizen-Korn Stroh	V T, G/H
3.	Wintertriticale-Korn Stroh	V T, G/H	Wintergerste-GPS, Phacelia	B, P G/H	EK: Winterroggen-GPS ZK: Silomais	B, P B, P
Fünfgliedrige Fruchtfolge						
1.	Winterroggen-Korn Stroh Landsberger Gemenge	V G/H B, G/H	Winterraps-Korn Stroh Buchweizen	V G/H B, G/H	Zuckerrüben ZR-Schnitzel ZR-Blatt	V V G/H
2.	Kartoffeln	V	EK: Winterroggen- Wintererbbsen-Gemenge ZK: Silomais	B, P B, P	Winterweizen-Korn Stroh	V T, G/H
3.	Wintertriticale-Korn Stroh	V T, G/H	Winterweizen-Korn Stroh Phacelia	V T, G/H G/H	EK: Winterroggen- Wintererbbsen-Gemenge ZK: Silomais	B, P B, P
4.	Winterraps-Korn Stroh Serradella	V G/H B, P	Energie-Sonnenblumen Phacelia	P G/H	Energie-Sonnenblumen Phacelia	P G/H
5.	Silomais	B, P	Wintergerste-Korn Stroh	V T, G/H	Wintergerste-Korn Stroh Senf	V T, G/H G/H

Erläuterungen:

GPS = Ganzpflanzensilage; EK = Erstkultur; ZK = Zweitkultur; B = Biogas; P = thermische Verwertung nach mechanischer Entwässerung; T = direkte thermische Verwertung; V = Verkaufsprodukt; G/H = Gründüngung/Humusersatz

Auch der Mischfruchtanbau birgt positive Potenziale für eine naturschutzverträgliche Bioenergiepflanzenproduktion (KARPENSTEIN-MACHAN 2005, GÖDEKE et al. 2007). Erfahrungen mit dem Mischfruchtanbau liegen insbesondere aus dem ökologischen Landbau vor. Folgende Vorteile des Mischfruchtanbaus sind möglich (KTBL 2006, S. 355):

- Bessere Unkrauregulierung im Bestand
- Minderung des Krankheits- und des Schädlingsdrucks
- Reduzierung des Pflanzenschutzmittelaufwands
- Reduzierung der mineralischen N-Düngung bei Leguminosenbeimischungen
- Vermeidung oder Minderung von Lagerbildung
- Stabilere bzw. höhere Ertragsleistungen durch geringere Stressanfälligkeit der Mischbestände

Wie beim Zweiffrucht-Anbau sind auch beim Mischfruchtanbau potenzielle Vorteilswirkungen im Vergleich zum Einkulturanbau zu erwarten, so dass ein naturschutzverträglicher Bioenergiepflanzenanbau ermöglicht wird. Tab. 6–5 führt einige ausgewählte Gemenge für den Bioenergiepflanzenanbau auf.

Tab. 6–5: Beschreibung ausgewählter Gemenge für den Bioenergiepflanzenanbau (KTBL 2006, S. 356f)

Mischungsparameter	Beschreibung	Eignung bei Bodengüte		
		hoch	mittel	gering
Winterungen				
Roggen – Triticale – Weizen	Mischung zu gleichen Teilen; Kombination der geringen Krankheitsanfälligkeit des Roggens mit der hohen Ertragsleistung des Triticale und der guten Standfestigkeit des Weizens; auf schlechteren Standorten nur in Einkultur	X	X	X
Roggen – Erbsen	Mischungen aus 85 % mit 15 % Erbsen; Einsparung von mineralischem Stickstoff durch den Leguminosenanteil möglich; bessere Bodengare; Eignung im ökologischen Landbau	X	X	X
Roggen – Wicken	Gemeinsame Aussaat Anfang September; günstigere Nutzungsdauer als Futterroggen; frühe Feldräumung		X	X
Landsberger Gemenge	Schnitt zum Blühbeginn des Inkarnatklees; gegenüber Wickroggen längere Nutzungsdauer; späte Feldräumung; mittelschwere bis schwere Vergärbarkeit; auch einfache Gemenge von Welschem Weidelgras und Inkarnatklee möglich		X	X
Sommerungen				
Mais – Sonnenblumen	Mischung zu gleichen Teilen; höherer Energieertrag durch Ölanteil der Sonnenblumen; Steigerung des Methangehaltes im Biogas; Begegnung des stark steigenden Maisflächenanteils; Ein- oder Zweikulturnutzung möglich	X	X	
Mais – Sorghum	Mischung zu gleichen Teilen; für warme Standorte mit ausreichender Wasserspeicherkapazität; zwei C4-Pflanzen mit hohem Ertragspotenzial; Begegnung des stark steigenden Maisflächenanteils; Ein- oder Zweikulturnutzung möglich	X	X	
Hanf – Wicke	Hohe Biomasseerträge; Schnitt zum Hülsenansatz der Wicke; Silierhilfen nötig	X	X	
Mais – Hanf – Sonnenblumen	Hohe Potenziale, gegenwärtig jedoch noch im Versuchsstadium und noch nicht für die Praxis empfohlen	X	X	
Erbsen – Hafer	Günstigere Siliereigenschaften als die Reinsaaten; Schnitt von Samenbildung bis Grünreife der Erbse; stützende Funktion des Hafers, sehr fruchtfolgewirksam		X	X
Gerstgras / Gerst – Klee gras	Sommergerste, Welsches Weidelgras, Rotklee; Überwinterung erfordert Beimengung von Wiesenschweidel	X	X	
Lupine – Gerste, auch Sonneblume oder Hirse	Höhere Biomasseerträge und günstigere Siliereigenschaften als Lupine in Reinsaat; hohe Ernteflexibilität; Schnitt von der Knospenbildung bis Milchreife der Lupine möglich		X	X

Zum Teil wird befürchtet, dass im Zuge des Energiepflanzenanbaus verstärkt gentechnisch veränderte Pflanzenarten bzw. -sorten marktgängig würden. Dem Anbau gentechnischer veränderter Pflanzen stehen grundlegende Vorsorgeargumente entgegen.

- **Bodenbearbeitung / Bestellung**

Grundlegende Unterschiede bei der Bodenbearbeitung und Bestellung sind nicht erkennbar. Im Fall perennierender Energiepflanzen (z. B. Ackergräser, Leguminosen-Grasgemenge, Miscanthus, Sudangras) wird die Bearbeitungshäufigkeit reduziert, was grundsätzlich positiv auf das Bodenleben und das Bodengefüge einwirkt (siehe oben).

Es sind keine Nachteile im Vergleich zum herkömmlichen Acker- und Futterbau erkennbar. Im Einzelfall kann in der Phase der Bestandsentwicklung ein verstärktes Erosions- und Auswaschungsrisiko bestehen, wenn die Bestände sich nur sehr langsam entwickeln. Dies trifft z. B. bei Miscanthus zu, wobei nach der Bestandsetablierung die Erosions- und Auswaschungsgefahr sehr gering ist.

- **Düngung**

Im Vergleich zu den Qualitätsanforderungen an Lebens- und Futtermitteln, insbesondere an den Proteingehalt und die Proteinqualität, werden an Energiepflanzen geringere Anforderungen gestellt. Dies ermöglicht tendenziell extensivere Anbauverfahren mit geringeren N-Düngergaben. Gleichwohl ist im Interesse einer optimierten Biomassenproduktion nicht von einer drastischen Reduzierung der N-Düngung auszugehen. Eindeutig reduziert bzw. unterlassen werden Düngergaben, wie sie zur Qualitätsabsicherung bei der Lebens- und Futtermittelproduktion vorgenommen werden – wie z. B. die Spätdüngung bei Brotweizen, so dass diesbezüglich von einer tendenziellen Umweltentlastung ausgegangen werden kann.

Bei der Gewinnung biogener Festbrennstoffe werden explizit stickstoffarme Biomassen benötigt, um erhöhte Stickoxid-Emissionen bei der Verbrennung zu vermeiden (VETTER 2001). Diese Anforderung ist derzeit Forschungsgegenstand für die Identifizierung stickstoffarmer Sorten. Weiterhin gibt es Züchtungsanstrengungen, um strohreiche und kornarme Getreidesorten zu gewinnen. Im Resultat sind geringere N-Düngeraufwendungen zu erwarten. Nach VETTER ist jedoch die Verfügbarkeit des Bodenstickstoffs von größerer Bedeutung als das Düngungsregime. Selbst eine Absenkung der optimalen N-Gabe um 50 % in einem mehrjährig durchgeführten Versuch an verschiedenen Thüringer Standorten erbrachte bei Ganzpflanzentriticale lediglich eine Absenkung des Stickstoffgehaltes um ca. 10 %. Über die Sortenwahl ist nur eine minimale Einflussnahme möglich. Hinsichtlich der Kalium- und Chlorgehalte der Biomasse sind der Zeitpunkt, die Höhe und die Form der Kaliumdüngung wesentlich. Eine von Seiten der Brennstoffverwerter wünschenswerte Kaliumsulfatdüngung erfolgt in der landwirtschaftlichen Praxis bei Getreide in der Regel nicht, da Kaliumchlorid preiswerterer Dünger ist. Bei einem gezielten Anbau von Energiepflanzen sollte daher nach VETTER eine für das Wachstum ausreichende Kaliumversorgung des Bodens als Vorratsdüngung schon zur Vorfrucht verabreicht werden. Bei einer Nutzung von Stroh

sind möglichst Schläge auszuwählen, bei denen im Erntejahr keine Kaliumchloriddüngung erfolgte.

Speziell beim Anbau von Miscanthus kann die N-Düngung im Vergleich zum aktuellen Ackerbau deutlich abgesenkt oder gänzlich unterlassen werden, weil die Kultur einen sehr geringen N-Bedarf aufweist.

- **Pflanzenschutz**

Vergleichbar der tendenziell geringeren Düngeintensität ist auch beim Pflanzenschutzmittel mit einer geringeren Intensität zu rechnen. PSM-Anwendungen zur Absicherung der Lebensmittel- und Futtermittelqualität – wie z. B. der Fungizideinsatz gegen Ährenfusarien – sind beim Energiepflanzenanbau nicht notwendig. Jedoch wird zur Absicherung einer optimalen Biomasseproduktion im Energiepflanzenanbau kein vollständiger Verzicht auf Pflanzenschutzmittel realisiert werden. Zur Regulierung des Konkurrenzdrucks ist weiterhin von einem Herbizideinsatz auszugehen. Weiterhin werden auch beim Energiepflanzenanbau Pilzkrankungen und Schädlinge mit Hilfe von Fungiziden und Insektiziden reguliert. Vor diesem Hintergrund ist nicht von grundlegend anderen Pflanzenschutzmittelanwendungen im Energiepflanzenanbau zu rechnen. Stattdessen sind lediglich graduell niedrigere Anwendungsmengen zu erwarten.

Im Einzelfall – wie z. B. beim Miscanthusanbau⁵ – ist ein vollständiger Verzicht auf Pflanzenschutzmittel realisierbar.

Insgesamt sind keine grundsätzlichen Nachteile im Vergleich zum herkömmlichen Acker- und Futterbau erkennbar. Nur im Falle einseitiger Anbaustrukturen wäre mit verstärktem Schädlings- und Krankheitsdruck zu rechnen, so dass in diesem Fall sogar erhöhte Fungizid- und Insektizidanwendungen zu befürchten wären.

- **Speziell Grünland – Schnittzeitpunkte und Schnittfrequenz**

Die Verwertungsmöglichkeit von Landschaftspflegeheu kann die Pflege von naturschutzfachlich wertvollen Grünlandbeständen verbessern (s. dazu LfL 2005a, S. 42).

Wenn auf naturschutzfachlich wertvollen Grünlandbeständen zur Steigerung der Biomasseproduktion der erste Schnittzeitpunkt vorverlegt und die Schnittfrequenz erhöht wird, dann sind negative Auswirkungen auf die Ziele des Artenschutzes zu erwarten.

⁵ Bisher sind keine Herbizide für den Miscanthusanbau zugelassen. Weiterhin sind keine Fungizide und Insektizide nötig, da (bisher) keine Erkrankungen oder Schädlinge bekannt sind.

- **Ernte / Entnahme von Biomasse und Nährstoff- bzw. Humusbilanzen**

Gegenüber dem landwirtschaftlichem Acker- und Futterbau sind beim Anbau und der Ernte von Energiepflanzen grundsätzlich keine negativen Auswirkungen auf Nährstoff- und Humusbilanzen zu erwarten. Ein übermäßiger Entzug von Biomasse kann sich zwar negativ auf den Nährstoffhaushalt und den pH-Wert auswirken, doch ist die Humusproduktion nicht nur vom Primärangebot an zersetzbarem Pflanzenmaterial abhängig, sondern auch unmittelbar an eine Verminderung von Erosion und Bodenverdichtung, eine vielfältige Zersetzergemeinschaft und eine gute Bodenstruktur gekoppelt. So wirken sich insbesondere die Fruchtfolgegestaltung sowie die Bodenbearbeitung und Bestellung auf Nährstoff- und Humusbilanzen des Bodens aus. Je geringfügiger der Einsatz von Landmaschinen bei der Kulturbegründung, der Pflege und der Ernte ist, umso positiver wirkt sich das auf die Vermeidung von schädlichen Bodenverdichtungen aus, so dass der Erhalt eines intakten Bodengefüges und einer reichen Bodenfauna zur Humusentwicklung beitragen können. Auch während und nach der Ernte der Energiepflanzen kann durch bodenschonende Ernteverfahren und geeignete Maßnahmen ein Humuserhalt oder gar eine Humusanreicherung sichergestellt werden (SPLECHTNA & GLATZEL 2005).

Die Nutzung mehrjähriger Energiepflanzen wirkt sich gegenüber einjährigen Kulturen positiv auf die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit aus, und gegenüber landwirtschaftlichen Produktionsverfahren zum Nahrungs- und Futtermittelanbau werden deutliche natur- und bodenschutzrelevante Entlastungseffekte erwartet (REINHARDT & SCHEURLEN 2004).

Hier kann insbesondere Miscanthus erwähnt werden, der durch die Entwicklung hoher Wurzel- und Rhizomanteile eine Anreicherung des Bodenhumusgehaltes erwarten lässt. KALTSCHMITT et al. (2003) geben z. B. beim Anbau von Miscanthus pro Jahr einen Vorernteverlust (nicht erntefähiger Blattabfall) von etwa 4-5 t TM/ha zuzüglich Stoppelreste von 1-3 t TM/ha an, die als Grundlage für die Humusbildung auf dem Feld verbleiben und die Humuszehrung als Folge der Biomasseentnahme mehr als kompensieren (vgl. auch BOELCKE et al. 1998).

Nach der Ernte von Getreideganzpflanzen ist für einen entsprechenden Ersatz von humusbildendem Material, z. B. über einen Zwischenfruchtanbau, zu sorgen (vgl. z. B. mögliche Energiefruchtfolgen in Tab. 6–4).

Bei der energetischen Nutzung von Stroh als Nebenprodukt des Getreideganzpflanzenanbaus zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion kann die Entnahme von Stroh nur in begrenztem Umfang erfolgen, da eine bestimmte Menge für die Erhaltung der Humusbilanz notwendig ist. Das auf dem Feld verbleibende Stroh dient der Humusproduktion und ist ein wichtiger Lieferant von Pflanzennährstoffen wie Kalium, Magnesium, Stickstoff und Phosphor. Die energetische Nutzung von Stroh und Ganzgetreide ist demnach in Abhängigkeit von Nährstoffverhältnissen und Humusanteilen und ent-

sprechend der Guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft standortbezogen anzupassen (RODE et al. 2005). Nach THRÄN & KALTSCHMITT (2001) verbleiben für eine energetische Nutzung – wenn, wie in der Praxis derzeit im Regelfall üblich, keine speziellen Maßnahmen zur Nährstoffanreicherung (z. B. Zwischenfruchtanbau) getroffen werden – im Mittel der betrieblichen Praxis und im langjährigen Durchschnitt rund ein Viertel bis ein Drittel des insgesamt anfallenden und technisch nutzbaren Strohs. Für Mecklenburg-Vorpommern gehen SCHUMANN et al. (2006; S.17) unter Beachtung der Humusbilanz von einem nutzbaren Strohanteil in Höhe von 60 % zur Energiegewinnung aus.

6.2.2 Holzartige Biomasse (Kurzumtriebsplantagen)

Beim Anbau von Kurzumtriebsplantagen sind aus Sicht des Natur- und Umweltsicht folgende Themen zu beleuchten:

- Diversifizierung der Anbaustrukturen / Lebensraum für wildlebende Tiere / Biotopverbund
- Bodenerosion und Auswaschung
- Bodenleben und Bodengefüge
- Nährstoffhaushalt des Bodens
- Boden- und Landschaftswasserhaushalt
- Baumarten, -sorten bzw. -klonauswahl
- Pflanz- bzw. Setzverfahren
- Pflanzenschutz
- Ernteverfahren
- Wirtschaftlichkeit

Diese Themen werden mit ihren jeweiligen Chancen und Risiken aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes nachstehend beschrieben. Am Ende des Unterkapitels werden die Ergebnisse nochmals zusammengefasst.

- **Diversifizierung der Anbaustrukturen / Lebensraum für wildlebende Tiere / Biotopverbund**

Kurzumtriebsplantagen können innerhalb ackerbaulicher Gunstlagen mit geringen Anteilen an Landschaftsstrukturelementen zur Anreicherung der Feldflur beitragen und somit Impulse für den Artenschutz und Biotopverbund geben (SAGE 1998, LONDO et al. 2004, SPLECHTNA & GLATZEL 2005).

Beispielsweise weisen DHONDT et al. (2004) für Anbauversuche im Nordosten der Vereinigten Staaten von Amerika nach, dass Kurzumtriebsplantagen mit Weiden- und Pappelklonen von 39 Vogelarten regelmäßig aufgesucht und von 21 Vogelarten als

Brutrevier verwendet werden. Dabei bestehen offensichtlich Unterschiede im Brutverhalten der Vögel in Abhängigkeit von den verwendeten Klonen. Als Einflussfaktoren werden Wuchsform wie Astanzahl und Windanfälligkeit aufgrund geringer Standfestigkeit der Triebe diskutiert. DHONDT et al. (2004) folgern aus ihren Ergebnissen, dass zur Förderung der Avifauna auf Wuchsformen mit geringer Astbildung und zu geringer Windstabilität verzichtet werden sollte und gleichzeitig ein Mischung unterschiedlicher Klone mit unterschiedlichen Nistplatzangeboten vorteilhaft erscheint. Hier bestehen zwischen den naturschutzfachlichen Anforderungen an Umtriebsplantagen und den Zuchtzielen aus produktionstechnischer Sicht eine divergierende Interessen; während aus Sicht des Naturschutzes u. a. das Bereitstellen von Habitatstrukturen für Vögel, insbesondere von Nistplatzangebote von Interesse ist, zielt nach SCHIRMER (1996, S.14) die Züchtung für Energieholz auf schmale Kronen mit steilen Astwinkeln und wenig Ästen ab.

Auch im Projekt ARBRE (Arable Biomass Renewable Energy) in Yorkshire / Großbritannien konnte für kommerziell genutzte Weidenplantagen im Vergleich zu klassischen Ackerflächen eine Zunahme der Vogeldichte und Vogelarten nachgewiesen werden. Die Untersuchungen wurden zwischen 2000 und 2003 auf 5 bis 27 ha großen Plantagen durchgeführt. Die Vogeldichte war an den Bestandsrändern der Weidenplantagen höher als im Bestandsinnern (Abb. 6–1). Dabei traten mit zunehmenden Bestandsalter Artenverschiebung statt. Während im 1. Jahr noch Arten der offenen Agrarlandschaft wie Feldlerchen und Bachstelzen sowie verschiedene Ammerarten angetroffen wurden, nahm der Anteil der Meisen und Finken mit zunehmenden Bestandsalter zu. Nach der Bestandsnutzung traten wieder vermehrt Arten der Offenlandschaften auf den Weidenplantagen auf. Das Spektrum der geförderten Vögel umfasst auch in Großbritannien bestandsbedrohte Arten wie z. B. Gimpel, Sumpfmeise, Rohrammer, Singdrossel, Feldsperling und Goldammer. Neben der Förderung der Avifauna nahm auch das Artenspektrum und die Bestandsdichte der zumeist annuellen Begleitflora zu. Ebenso Schmetterlinge und Invertebraten (*Coleoptera*, *Hemiptera*) in höheren Individuenanzahlen und höheren Artenanzahlen angetroffen, insbesondere mit zunehmendem Bestandesalter. Namentlich der Weidenblattkäfer (*Phyllodecta vulgarissima*) wurde besonders gefördert. Insgesamt stellten die Weidenplantagen Habitateigenschaften ähnlich dem Waldunterholz bereit und waren eine durch entsprechende Artenzusammensetzung geprägt.

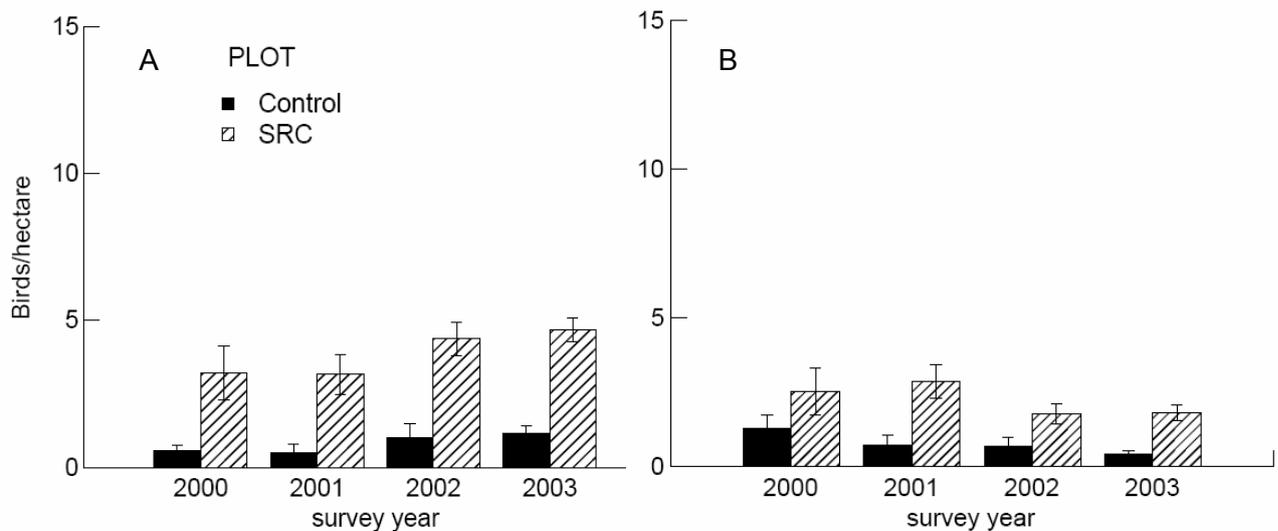


Abb. 6–1: Brutvogeldichte am Rand (A) und im Innern (B) von Kurzumtriebsplantagen (= SRC / Short Rotation Coppice) im Vergleich zu Ackerflächen (= control) über die vier Versuchsjahre (CUNNINGHAM et al. 2004)

SAGE (1998) hat die in Kurzumtriebsplantagen beobachteten Vogelarten in England, Irland und Schweden tabellarisch zusammengestellt (Tab. 6–6). Bei Untersuchungen im Frühjahr wurden in England und Irland 41 Vogelarten beobachtet, davon 30 Singvogelarten. Die Aufnahmen erfolgten jeweils auf mindestens zwei unterschiedlichen Kurzumtriebsplantagen in England, Irland und Schweden. Die Mehrzahl der Spezies wurde im Frühjahr und Sommer beobachtet. Mehr als doppelt so viele Vogelarten wurden in Weidenbeständen als in Pappelbeständen erfasst (Ausnahmen bilden einige heimische Singvögel und Rebhühner). In Südirland wurde für Singvögel eine Brutpaardichte von 8,6 je ha in Weidenplantagen ermittelt, was natürlichen Waldhabitaten vergleichbar ist. Viele Vogelarten wurden in unterschiedlichen Bestandsaltern angetroffen. Kurzumtriebsplantagen wurden im Jahr der Anlage und nach der jeweiligen Nutzung von Offenland-Singvögeln wie Feldlerche und Rohrammer genutzt. Dazu gesellten u. a. Rebhuhn und Kiebitz. Überwinternde Singvögel der Waldbiotope wie Meisen, Finken und Singdrossel bevorzugten die älteren Kurzumtriebsplantagen. Viele überwinternde Singvögel und auch die Bekassine nutzten die Bestände auch als Nahrungshabitate im Winter. Fasane wurden ganzjährig in den Kurzumtriebsplantagen angetroffen. Die Bruttätigkeit wurde offensichtlich durch ein zu geringes Angebot an geeigneten Nistplätzen beschränkt. Förderlich auf die Besiedlung der Kurzumtriebsplantagen wirkte sich die Nähe zu Waldbeständen aus. SAGE (1998) berichtete auch von einer Zunahme der Regenwürmer, bodenbelebender Insekten und anderen Bodenorganismen, was das Nahrungsangebot für Vögel erhöhte. Die Zunahme des Bodenlebens führte der Autor zum einen auf das Ausbleiben der Bodenbearbeitung und anderer mechanischer Störungen zurück. Zum anderen werden das erhöhte Streuangebot und die vermehrten Wurzelrückstände als förderlich eingeordnet.

Tab. 6–6: Bestandaufnahme der Vogelarten in Kurzumtriebsplantagen in England, Irland und Schweden (SAGE 1998)

Spezies	Wissenschaftliche Bezeichnung (latein.)	Altersklassen in Jahren 0 – geerntet; Umtrieb 1 bis 2 Jahre oder 2 bis 4 Jahre (Daten nur aus britischem Monitoringprogramm)
Amsel	<i>Turdus merula</i>	2-4
Fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	1-2, 2-4
Schilfrohrsänger	<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>	1-2
Rohrhammer (Rohrspatz)	<i>Emberiza schoeniclus</i>	1-2
Buchfink	<i>Fringilla coelebs</i>	1-2, 2-4
Zaunkönig	<i>Troglodytes troglodytes</i>	2-4
Fasan	<i>Phasianus colchicus</i>	0, 1-2
Rotkelchen	<i>Erithacus rubecula</i>	2-4
Distelfink	<i>Carduelis carduelis</i>	0
Schwanzmeise	<i>Aegithalos caudatus</i>	2-4
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	
Bekassine (win)	<i>Gallinago gallinago</i>	
Ringeltaube	<i>Columba palumbus</i>	
Kohlmeise	<i>Parus major</i>	2-4
Zilpzalp	<i>Phylloscopus collybita</i>	1-2, 2-4
Gartengrasmücke	<i>Sylvia borin</i>	2-4
Blaumeise	<i>Parus caeruleus</i>	2-4
Singdrossel	<i>Turdus philomelos</i>	2-4
Feldlerche	<i>Alauda arvensis</i>	0
Wiesenpieper	<i>Anthus pratensis</i>	0
Mönchsgrasmücke	<i>Sylvia atricapilla</i>	2-4
Heckenbraunelle	<i>Prunella modularis</i>	2-4
Elster	<i>Pica pica</i>	
Rebhuhn	<i>Perdix perdix</i>	
Rothuhn	<i>Alectoris rufa</i>	
Birkenzeisig	<i>Carduelis flammea</i>	
Goldammer	<i>Emberiza citrinella</i>	
Waldschnepfe (win)	<i>Scolopax rusticola</i>	
Dorngrasmücke	<i>Sylvia communis</i>	
Grauschnäpper	<i>Muscicapa striata</i>	
Haussperling	<i>Passer domesticus</i>	
Teichrohrsänger	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	1-2
Grünling (Grünfink)	<i>Carduelis chloris</i>	
Bachstelze	<i>Motacilla alba</i>	0
Kiebitz	<i>Vanellus vanellus</i>	0
Kuckuck	<i>Cuculus canorus</i>	
Sumpfrohrsänger*	<i>Acrocephalus palustris</i>	
Sprosser*	<i>Luscinia luscinia</i>	
Feldschwirl*	<i>Locustella naevia</i>	
Neuntöter*	<i>Lanius collurio</i>	

* Spezies wurden nur in Schweden beobachtet
 (win) Spezies wurden nur im Winter beobachtet

MULSOW (1998, vgl. auch KENNEWEG 2004) untersuchte die Avifauna in Kurzumtriebsplantagen in Hessen. Die festgestellten Vogelgesellschaften entsprachen in den Anfangsjahren nach Anlage der Kurzumtriebsplantagen eher landwirtschaftlichen Flächen. So wurde im 1. Jahr noch die Feldlerche angetroffen. Mit zunehmendem Alter der Plantage gesellten sich mehr und mehr Arten der Hecken und Wälder dazu. Die zyklische Sukzession der Avifauna in Kurzumtriebsplantagen verdeutlicht Abb. 6–2.

Vogelarten	Vogelgemeinschaften					
	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4./5. Jahr	7./8. Jahr	10. Jahr
Feldlerche	-----	-----				
Goldammer	-----			-----	-----	-----
Sumpfrohrsänger		-----	-----	-----		
Baumpieper		-----	-----	-----	-----	
Fitis		-----	-----	-----	-----	
Heckenbraunelle			-----	-----		
Feldschwirl			-----	-----	-----	
Gartengrasmücke			-----	-----	-----	
Mönchsgrasmücke			-----	-----	-----	
Zilpzalp			-----	-----	-----	-----
Amsel			-----	-----	-----	-----
Singdrossel			-----	-----	-----	-----
Buchfink			-----	-----	-----	-----

Abb. 6–2: Auftreten von Vogelarten in Kurzumtriebsplantagen in Hessen in Abhängigkeit vom Plantagenalter (MULSOW 1998, S. 63)

Durchgezogene Linien kennzeichnen lebensraumholde Arten, gestrichelte Linien weniger regelmäßig auftretende Arten.

Untersuchungen zur Spinnenfauna liegen von BURGER (2006; vgl. auch BLICK & BURGER 2002) von einer Versuchsfläche der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft vor. Auf der 1992 begründeten Kurzumtriebsplantage wurde 1995 und 2000 die Spinnenpopulation in Form von Aktivitätsdichten im Vergleich zu Ackerflächen erfasst. In Abb. 6–3 ist die Entwicklung der Spinnenpopulation anhand von Aktivitätsdichten wiedergegeben. Dabei wird zwischen reinen Waldarten, Offenlandarten und eurytopen Arten differenziert. Die Aktivitätsdichten der drei Artengruppen summieren sich jeweils auf 100 % auf. Im Jahr 1995, drei Jahre nach der Plantagenanlage, unterschieden sich die Spinnenpopulationen des Ackers und der Plantage nur geringfügig. Auf beiden Flächen dominieren die typischen Offenlandbewohner. Auf der Kurzumtriebsplantage war lediglich eine geringfügige Zunahme der Waldarten festzustellen. In Gegensatz dazu war im Jahr 2000 die Aktivitätsdichte der Waldarten deutlich angestiegen und entsprach nahezu dem Wert der Ackerarten. Diese Entwicklung macht deutlich, dass sich Kurzumtriebsplantagen mit zunehmender Entwicklungsdauer aus faunistischer Sicht in Richtung Waldhabitate entwickeln. Insgesamt deuten die Veränderungen der Spinnenfauna auf ein eigenständiges Stadium der Kurzumtriebsplantagen hin, das sich sowohl von Ackerflächen als auch von Hochwald deutlich un-

terscheidet. Während die störungstoleranten Ackerarten in den ersten Jahren nach Anlage der Plantagen verschwinden, nehmen typische Gehölzarten zu. Auf Grund der kurzen Umtriebszeiten ist die Entwicklung zu Niederwald ähnlichen Faunengesellschaften wahrscheinlich. Im Vergleich zu Ackerflächen wird auch anspruchsvollern Arten einen Lebensraum angeboten.

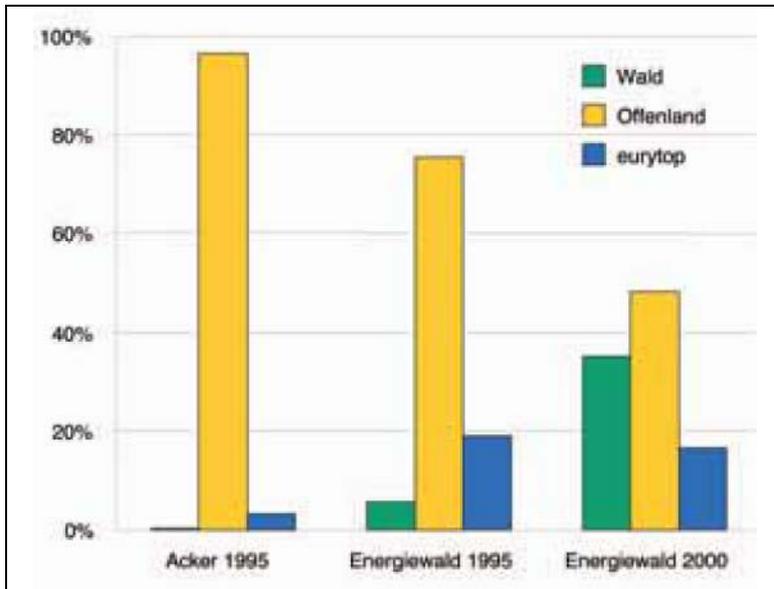


Abb. 6–3: Entwicklung der Spinnenpopulation (Aktivitätsdichten) auf der Versuchsfläche Wöllershof der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; Anlage der Kurzumtriebsplantage 1992 (BURGER 2006)

MINOR et al. (2002) berichten von den Auswirkungen von Weidenplantagen auf die Bodenfauna, namentlich die Milbenfauna (*Oribatida* und *Gamasina*). Anhand von Untersuchungen in den U.S.A. stuften die Autoren 3 bis 4 Jahre alte Weidenplantagen anhand der *Oribatida*-Lebensgemeinschaft als Übergangshabitate zwischen Acker und Waldstandorten ein. Die Zersetzer-Gemeinschaften in Böden werden nach MINOR et al. insbesondere durch die Länge der Bodenruhe gefördert. In den untersuchten Weidenplantagen konnten 48 *Oribatida*- und *Gamasina*-Arten nachgewiesen werden, die jedoch zumeist charakteristisch für gestörte Habitate oder frühe Sukzessionsstadien waren. In keinem Fall konnten typische Waldbodenspezies detektiert werden. Diese Ergebnisse korrespondieren nach Aussage von MINOR et al. mit Untersuchungen Säugetieren in Kurzumtriebsplantagen; in älteren Beständen wird zwar eine größere Diversität der Kleinsäuger ermittelt, jedoch fehlen charakteristische Waldarten zumeist vollständig (CHRISTIAN 1997, CHRISTIAN et al. 1997, beide zitiert in MINOR et al.). Insgesamt stuften MINOR et al. Weidenplantagen als positiv für die Bodenfauna ein, die auch als Rückzugsraum und Biotopverbundelement für die Bodenfauna in Agrarlandschaften dienen kann. Dabei wird die Bodenfauna insbesondere durch die Bo-

denbearbeitung zur Bestandsgründung der Kurzumtriebsplantagen, die Düngung und den Pflanzenschutz beeinflusst; Intensität und Häufigkeit bestimmen über positive und negative Einflüsse auf die Bodenfauna.

Die aufgeführten Untersuchungsergebnisse verdeutlichen die Chancen für den Arten- und Naturschutz durch die Etablierung von Kurzumtriebsplantagen in Ackerregionen. Die Strukturanreicherung kann Brut- und Nahrungshabitate für Vögel und andere wildlebende Tiere sowie Rückzugsraum bereitstellen. Gleichwohl werden nicht alle Arten begünstigt. Auf Grund der (nieder)waldähnlichen Habitateigenschaften werden daran angepasste Arten gefördert, wohingegen Arten der Offenlandschaften wie z. B. die Feldlerche ab dem 2. Bestandsjahr zurückgehen und anschließend vollständig verschwinden. Jedoch finden sich solche Arten der Offenlandschaften nach der Nutzung der Kurzumtriebsplantagen wieder ein. Vor diesem Hintergrund bieten sich zeitlich gestaffelte Nutzungsformen von Kurzumtriebsplantagen an, um ein möglichst breites Habitatangebot für wildlebende Tiere bereitzustellen.

Weitere Erkenntnisse sind Chancen und Risiken einer naturverträglichen Produktion von Energieholz sind vom gerade angelaufenem Projekt NOVALIS zu erwarten, welches auf die Erfassung und Bewertung der stofflichen Ausstattung, Wuchsdynamik, Bewirtschaftungstechnik, Zoo- und Phytodiversität sowie zur räumlichen Einbindung abzielt (BOLTE 2006). Grundlage der Bewertungen sollen einerseits Erkenntnisse aus bisher bereits vorliegenden Einzeluntersuchungen sein. Andererseits sollen an ausgewählten Standorten in Brandenburg, Niedersachsen, Hessen und Nordrhein-Westfalen gezielten Ergänzungsuntersuchungen vorgenommen werden.

- **Bodenerosion und Auswaschung**

Kurzumtriebsplantagen senken im Vergleich zum Ackerbau die mittlere Erosionsgefährdung aufgrund der dichten Bestände, der langen Bodenruhe sowie der damit einhergehenden Förderung der natürlichen Bodenfunktionen im Wasserhaushalt (Infiltration und Wasserrückhalt).

Lediglich in der Phase der Bestandsbegründung kann auf erosionsgefährdeten Standorten verstärkt Bodenerosion und Auswaschung dann auftreten, wenn lange Brachezeiten vor der Pflanz- bzw. Setzarbeiten und eine unzureichende Bodenbedeckung in der Phase der langsamen Bestandsentwicklung im 1. und ggf. 2. Jahr angetroffen werden. Diesen potenziellen Gefährdungen kann grundsätzlich mit konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren und Mulchpflanz- bzw. Mulchsetzverfahren begegnet werden (siehe entsprechende Unterpunkte).

VOLK et al. (2004) berichten von Versuchen zur Reduzierung der Erosionsgefährdung mit Hilfe von Zwischenfrüchten bzw. Untersaaten, wobei auf Erfahrungen aus Obstbaum- und Weinbaukulturen zurückgegriffen wird. VOLK et al. sehen jedoch weiteren

Untersuchungsbedarf, um solche erosionsmindernden Verfahren in die Praxis eingeführt werden können.

Aus Bayern berichtet BURGER (2005) von deutlich sinkenden Nitratkonzentrationen auf Werte $< 5 \text{ mg NO}_3/\text{L}$ im Sickerwasser unter ungedüngten Kurzumtriebsplantagen. Im Vergleich dazu wurden von BURGER auf umliegende Ackerflächen Nitratkonzentrationen mit Werten bis $> 50 \text{ mg NO}_3/\text{L}$ ermittelt. Diese Ergebnisse verdeutlichen den potenziellen Beitrag von Kurzumtriebsplantagen zum Grundwasserschutz. Detaillierte Versuchsinformationen sind der Veröffentlichungen nicht zu entnehmen.

Ein Projekt der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft zielt mit der Etablierung von Feldstreifen mit schnellwachsenden Baumarten in ausgeräumten Agrarlandschaften auf die Reduzierung der Winderosionsgefährdung ab (RÖHRICHT & RUSCHER 2004). In den ersten Jahren nach der Pflanzung konnte noch kein ausreichender Windschutz ermittelt werden, weil die Höhen-/Tiefenverhältnisse dieser Windschutzstreifen keine ausreichende Reduzierung der Windgeschwindigkeit ermöglichten. Es bleibt abzuwarten, was die weiteren Ergebnisse des Versuchs an Erkenntnissen erbringen. Dabei wird auch die Nutzung der Windschutzstreifen als Energieholzlieferant zu bewerten sein, weil damit temporär der Windschutz wieder aufgehoben wird.

Der von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft verfolgte Ansatz zur Reduzierung der Winderosionsgefährdung bietet auch Chancen zur Reduzierung der Wassererosion. Die gezielte Anlage von streifenartig angebauten Kurzumtriebsplantagen auf Abflussbildungsflächen zur Unterbrechung der erosiven Hanglänge oder als Pufferstreifen zu schutzwürdigen Biotopen kann zur Reduzierung der Wassererosion und ihre negativen externen Effekte (Off-Site-Schäden) beitragen.



Abb. 6–4: Ansicht der Feldstreifenanlage im zweiten Versuchsjahr am Standort Köllitsch (RÖHRICHT & RUSCHER 2004)

Oben: Pappelpflanzung. Unten: Korbweidenpflanzung

- **Bodenleben und Bodengefüge**

Kurzumtriebsplantagen tragen auf Grund der mehrjährigen Bodenruhe und des jährlichen Falllaubanfalls im Vergleich zu ackerbaulich genutzten Böden im Regelfall zu einer Humusanreicherung im Oberboden bei. Die Humusanreicherung sowie die gleichzeitig ausgebildete Wurzelmasse tragen ihrerseits zu einer Kohlenstoffsenske bei,

wengleich dieser Effekt auf die Phase der Bestandsetablierung beschränkt bleibt und bei einer Rückumwandlung durch erhöhte Mineralisationsraten wieder aufgehoben werden kann.

Weiterhin ist durch die Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf Ackerböden im Regelfall von einer Förderung des Bodenlebens sowie von einer Zunahme des Porenvolumens und insbesondere des Makroporenanteils auszugehen. Die vorgenannten Effekte stärken die natürlichen Bodenfunktionen und können somit zum Ausgleich und zur Pufferung negativer Auswirkungen auf den Naturhaushalt beitragen. Beispielsweise sind Ausgleichsleistungen im Landschaftswasserhaushalt möglich, indem in wassererosionsgefährdeten Gebieten auf den mit Kurzumtriebplantagen bestockten Böden zum einen Oberflächenabfluss und Bodenerosion vermieden wird. Zum anderen können die Kurzumtriebsplantagen auch als Puffer- und Filterfunktionen übernehmen, in dem Oberflächenabfluss und Bodenerosion von oberhalb liegenden Flächen zur Versickerung bzw. zur Sedimentation gebracht werden.

Anhand von 12-jährigen Versuchsergebnissen auf jungpleistozänen Standorten in Mecklenburg-Vorpommern weisen KAHLE & HILDEBRANDT (2006) Einflüsse auf bodenphysikalische Kennwerte nach (Tab. 6–7). Auf den mit Weiden- und Pappelklonen bestanden Flächen stieg sowohl der Humusgehalt als auch der Nährstoffvorrat in den obersten 20 cm deutlich an. Gleichzeitig sank die Lagerungsdichte und das Porenvolumen nahm zu. Die genannten Gefügeveränderungen verbessern sowohl die Niederschlagsinfiltration in den Boden als auch die Wasserversorgung der Pflanzen.

Tab. 6–7: Entwicklung einiger Bodenparameter im Oberboden (0 bis 20 cm) unter Kurzumtriebsplantagen (KAHLE & HILDEBRANDT 2006)

Bodenparameter	Standort GUL			Standort VIP		
	1993	1999	2005	1993	2000	2005
C _{org} %	0,73	1,03 ^a	1,04 ^a	0,77	1,02 ^a	1,17 ^a
N _t %	0,086	0,093	0,103 ^a	0,093	0,116 ^a	0,109
pH (CaCl ₂)	5,7	5,5	5,7	5,9	6,4	6,4
P ₂ O ₅ mg/100g	6,6	7,7	12,3 ^{a,b}	7,5	6,4	12,5 ^b
K ₂ O mg/100g	15,1	16,6	15,3	17,7	19,2	14,3
ρ _d g/cm ³	1,65	1,57 ^a	1,46 ^{a,b}	1,52	1,32 ^a	1,39 ^a
p _v %	37,8	40,9 ^a	44,8 ^{a,b}	42,2	49,8 ^a	47,5 ^a
Grobporen %	12,7	9,2 ^a	13,8 ^b	9,7	14,5	12,8
Mittelporen %	19,7	26,1 ^a	25,1	28,3	30,8 ^a	29,7
Feinporen %	5,3	5,5	6,0	4,3	4,5	5,0

^a signifikant verschieden im Vergleich mit Jahr 1993

^b signifikant verschieden im Vergleich mit Jahr 1999 bzw. Jahr 2000

Kurzumtriebsplantagen können auch zur C-Akkumulation in Streu und Boden beitragen und damit zu einer Entlastung des Treibhauseffektes durch steigende CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre beitragen. Auf der Grundlage der Daten von KAHLE & HILDEBRANDT (2006) lassen sich die durchschnittlichen C-Anreicherungsraten

auf den beiden Standorten berechnen: Unter Verwendung der Angaben zu C_{org} und ρ_d berechnet sich für den Standort GUL ein mittlere jährliche C-Anreicherung von ca. 138 g $C_{org}/(m^2 \cdot a)$ für die Zeitspanne 1993 bis 1999 und von ca. 52 g $C_{org}/(m^2 \cdot a)$ für die Zeitspanne 1993 bis 2005. Für den Standort VIP beträgt der mittlere jährliche C-Anreicherung ca. 50 g $C_{org}/(m^2 \cdot a)$ für die Zeitspanne 1993 bis 2000 und von ca. 76 g $C_{org}/(m^2 \cdot a)$ für die Zeitspanne 1993 bis 2005. Diese C-Anreicherungsrate liegen innerhalb der von GARTEN (2002) angegebenen Spannweite in Höhe von 40 bis 170 $C_{org}/(m^2 \cdot a)$ für den mineralischen Oberboden, die nach der Anlage von Wertholzplantagen mit Weihrauch-Kiefern (*Picea taeda*) in der U.S.A. ermittelt wurden. GARTEN verweist auch auf Ergebnisse anderer Autoren zu C-Anreicherungsrate unter Kurzumtriebsplantagen (auch Pappelanbau), die die genannte Spannweite bestätigen. Zusätzlich zur C-Akkumulation im mineralischen Oberboden ist noch eine C-Akkumulation in der organischen Auflage zu berücksichtigen; nach GARTEN ist von einer C-Akkumulationsrate in der organischen Auflage in Höhe von 40 bis 160 g $C_{org}/(m^2 \cdot a)$ auszugehen. Jedoch weist der Autor auch auf eine große Variabilität der C-Akkumulation nach der Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf Ackerflächen hin, die von Standort-, Klima- und Bewirtschaftungsfaktoren abhängen. Die genannten C-Anreicherungsrate gelten für das 1. bis 2. Jahrzehnt nach der Umstellung vom Acker auf Kurzumtriebsplantagen; mit zunehmendem Alter ist mit deutlich geringeren Akkumulationsrate zu rechnen. Nach Einstellung eines neuen Gleichgewichtes im Kohlenstoffhaushalt, was mehrere Jahrzehnte dauern kann, tritt keine Netto-Akkumulation von Kohlenstoff mehr auf. Anhand der aufgeführten minimalen und maximalen C-Akkumulationsrate berechnet sich für die erste Dekade nach der Etablierung einer Kurzumtriebsplantage zwischen 0,8 bis 3,3 t C/ha, die in der Auflage und dem Oberboden (zwischen-)gespeichert werden können. Dabei handelt es sich jedoch ggf. nur um eine zeitlich befristete C-Senke; nach einer Rückumwandlung von Kurzumtriebsplantagen in Ackerland wird diese Senke durch erhöhte Mineralisationsrate wieder abgebaut.

Untersuchungen zum Feinwurzelsystem und zum Ectomycorrhizal in Weiden- und Erlenplantagen in Estland und Schweden wurden von PÜTTSEPP (2004) durchgeführt. Daraus geht hervor, dass die Diversität der Ectomycorrhizal-Pilze im Vergleich zu etablierten Waldökosystemen gering ist. Dieses Ergebnis unterstreicht den Übergangscharakter der Böden unter Kurzumtriebsplantagen von Acker- zu Waldböden.

Im Vergleich zu Ackerböden gehen die Bodeneigenschaften unter Kurzumtriebsplantagen sowohl auf die geänderten bodenphysikalischen, -chemischen und -biologischen Prozesse als auch auf die mehrjährige Bodenruhe ohne Bodenbearbeitung und Befahrung zurück (vgl. JUG et al. 1999). Insgesamt sind die Böden von Kurzumtriebsplantagen hinsichtlich ihrer bodenphysikalischen, -chemischen und -biologischen Eigenschaften als Übergangsform zwischen Acker- und Waldböden einzustufen.

Bei der Beerntung der Kurzumtriebsplantagen sind Bodengefügeschäden nicht auszuschließen, da sie mit schwerem Gerät im Winterhalbjahr erfolgt. Die in der Regel hohen Bodenfeuchten im Winterhalbjahr verringern die Tragfähigkeit der Böden, so dass Gefügeschäden auf Grund von übermäßigen Verdichtungen oder plastischen Verformungen auftreten können (siehe weiter unten bei „Ernteverfahren“).

Die Vorteilswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf das Bodengefüge und das Bodenleben können bei der Rückumwandlung in Ackerflächen wieder verloren gehen, wenn sehr intensive Rekultivierungsverfahren zum Einsatz kommen. Beispielsweise empfehlen TRAUPMANN et al. (2004, S. 29) zur Wiederherstellung der landwirtschaftlichen Fläche den Einsatz einer Rodungsfräse, die von einem leistungsstarken Traktor gezogen wird. Die Rodungsfräse sorgt für die erste grobe Durcharbeitung des bestockten Bodens, mit Zerschneiden sowie Zerreißen der Wurzelstöcke und arbeitet die verbleibenden Stücke ca. 30 cm in den Boden ein (Abb. 6–5).



Abb. 6–5: Rodungsfräse (TRAUPMANN et al. 2004)

- **Nährstoffhaushalt des Bodens**

Die Nährstoffentzüge auf Kurzumtriebsplantagen sind auf Grund des hohen Ast- und Reisiganteils am Erntegut im Vergleich zur reinen Derbholznutzung vergleichsweise hoch, weil junge Äste im Gegensatz zum Derbholz deutlich höhere Nährstoffgehalte aufweisen. Mittlere Nährstoffgehalte von Kurzumtriebsholz wird in Tab. 6–8 den Nährstoffgehalten von Fichten- und Buchenholz aus forstlichen Nutzungen gegenübergestellt: Die Stickstoff- und Schwefelgehalte in Kurzumtriebsholz sind ca. 3- bis 4-mal höher als die des Fichten- und Buchenholzes. Ähnliches gilt auch für die anderen Makronährstoffe wie Calcium, Magnesium und Kalium. Aus diesem Grund wird langfristig selbst bei Erntezeitpunkten im laubfreien Zustand (Winterhalbjahr) eine Kompensationsdüngung notwendig sein (KIMMINS 1977, SPLECHTNA & GLATZEL 2005, S. 31). Der Düngebedarf ist jedoch im Vergleich zu klassischen Ackerbaukulturen gering, so dass deutlich geringere Düngemengen ausgebracht werden können.

Tab. 6–8: Faustzahlen zum Nährstoffgehalt holzartiger Biomasse (HARTMANN 2001)

Brennstoffart	C	H	O	N	S	Cl
	in % der Trockenmasse					
Kurzumtrieb						
Pappelholz	47,5	6,2	44,1	0,42	0,031	0,004
Weidenholz	47,1	6,1	44,3	0,54	0,045	0,004
Wald						
Fichtenstammholz mit Rinde	49,8	6,3	43,2	0,13	0,015	0,005
Buchenstammholz mit Rinde	47,9	6,2	42,2	0,22	0,015	0,006

Die Versuchsergebnisse der sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL 2002a) mit Weiden- und Pappelplantagen verdeutlichen ebenfalls die nicht unbedeutenden Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Kurzumtriebsplantagen⁶. Die N-Entzüge schwanken zwischen rund 30 kg und 150 kg/ha nach zweijährigem Umtrieb, die P-Entzüge zwischen 4 und 28 kg/ha, die K-Entzüge zwischen 11 und 99 kg/ha.

Die ebenfalls aufgeführten Schwermetallgehalte und -entzüge machen deutlich, dass eine Sanierung schadstoffbelasteter Böden mit Hilfe der untersuchten Baumarten nur sehr langfristig erfolgen könnte. So würde die Reduzierung eines Cadmiumbodengehaltes von 2 mg/kg Boden auf nur 1 mg Cd/kg Boden bei einem unterstellten maximalen Entzug von 13 g Cd/(ha·2a) rund 690 Jahre benötigen⁷ (siehe weitere Ausführungen im Kap. 6.6).

Tab. 6–9: Gehalte und Entzüge an Nähr- und Schadstoffen bei Kurzumtriebsplantagen in Sachsen nach zweijährigem Umtrieb, Versuch Kalkreuth (LfL 2002a)

Sorte	TM-Ertrag lutro t/ha	Inhaltsstoffe in der TS												
		N %	P %	K %	Mg %	Cl %	S %	C %	Ca %	Cd mg/kg	Pb mg/kg	B mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg
Pappel Muhle Larsen	16,8	0,00	0,087	0,34	0,038	0,008	0,04	47,29	0,37	0,46	1,53	12,32	3,65	<0,1
Pappel Max 1	21,6	0,25	0,103	0,37	0,038	<0,002	0,04	47,34	0,57	0,58	1,72	11,56	3,86	<0,1
Pappel Max 3	25,4	0,30	0,111	0,39	0,048	<0,002	0,04	47,48	0,58	0,51	1,16	11,39	3,35	<0,1
Pappel Beaupre	27,6	0,55	0,089	0,36	0,057	<0,002	0,04	47,28	0,49	0,47	2,13	11,59	2,85	<0,1
Espe Astria	7,5	1,02	0,111	0,35	0,066	<0,002	0,05	47,92	0,49	0,64	2,73	10,84	3,57	<0,1
Espe Münden	2,4	1,19	0,153	0,45	0,071	<0,002	0,07	47,91	0,54	0,83	3,60	13,43	5,63	<0,1
Salix viminalis 722	10,6	1,04	0,121	0,26	0,071	<0,002	0,05	47,58	0,56	0,76	0,55	9,12	3,15	<0,1
	ATS %	Entzüge kg/ha								Entzüge g/ha				
		N	P	K	Mg	Cl	S	C	Ca	Cd	Pb	B	Cu	Hg
Pappel Muhle Larsen	99,8	0,00	14,62	57,13	6,39	1,34	6,22	7.932	62,18	7,73	25,71	206,69	61,17	1,68
Pappel Max 1	99,5	54,07	22,06	80,02	8,22	0,43	8,00	10.187	123,28	12,54	36,98	248,72	83,05	2,15
Pappel Max 3	99,2	76,07	27,89	98,90	12,17	0,50	9,89	11.944	147,07	12,93	29,16	286,54	84,19	2,52
Pappel Beaupre	99,2	151,64	24,26	99,25	15,71	0,55	10,75	12.930	135,09	12,96	58,17	317,06	78,02	2,73
Espe Astria	98,7	75,48	8,22	26,16	4,86	0,15	4,04	3.535	35,87	4,71	20,10	79,96	26,31	0,74
Espe Münden	98,3	28,66	3,67	10,78	1,71	0,05	1,69	1.154	12,98	2,01	8,67	32,33	13,55	0,24
Salix viminalis 722	99,2	109,32	12,74	27,59	7,43	0,21	5,41	5.009	59,43	7,96	5,84	96,05	33,11	1,05

⁶ Zur Versuchsbeschreibung siehe unter „Auswahl der Baumarten, -sorten und -klone“ weiter unten.

⁷ Schadstoffmenge nur auf einen 30 cm mächtigen A-Horizont mit einer TRD von 1,5 g/cm³ bezogen ohne Berücksichtigung etwaiger Cd-Belastungen des Unterbodens.

Die Höhe etwaig notwendiger Düngergaben richtet sich nach dem Nährstoffangebot des Standortes sowie der Wuchleistung und Nährstoffeffizienz der gewählten Baumarten; selbst zwischen den Klonen einer Art bestehen offensichtlich deutliche Unterschiede im Nährstoffbedarf (ABDEGBIDI et al. 2001, WEIH & NORDH 2002). KIMMINIS (1977) hält die Selektion von besonders nährstoffeffizienten Baumarten (hoher Biomassertrag bei geringem Nährstoffbedarf) für sinnvoll, um den Nährstoffentzug von Kurzumtriebsplantagen und damit den Düngbedarf zu begrenzen. Des Weiteren steuert die Umtriebszeit den Nährstoffbedarf; je länger der Umtriebszeitraum ist, umso geringer ist der Düngbedarf (ABDEGBIDI et al. 2001). Exakte Düngedarfszahlen sind auf Grund der vielfältigen Einflussfaktoren derzeit noch verfügbar. UNSELD (1999) geht auf der Grundlage seiner Untersuchungen nur von einem geringen oder sogar von keinem Düngbedarf aus.

Zur Abdeckung des Stickstoffbedarfs der Energiebaumarten können nach UNSELD (1999) Erlenarten den Plantagen beigemischt werden. Auf Grund des hohen potenziellen Biomassertrags von Erlen, welches dem Ertragsniveau der hochproduktiven Pappeln oder Weiden entspricht (vgl. UNSELD 1999, TELENIUS 1999, PROE et al. 2002) ist durch die Beimischung von Erlen kein Ertragsverlust im Vergleich zu reinen Pappel- oder Weidenplantagen zu erwarten.

Die Nährstoffrückführung kann mit Hilfe der Verbrennungaschen erfolgen, wenn die Biomasse auf schadstoffarmen Böden gewonnen wurde.

Eine Stickstoff-Düngung kann auf nährstoffreichen Ackerstandorten zumindest in den Anfangsjahren unterbleiben. Somit bittet sich die Chance der gezielten N-Abreicherung auf Böden / Standorten, die für die Wasserwirtschaft und insbesondere die Trinkwasserbereitstellung von besonderer Bedeutung sind (LONDO et al. 2004).

- **Boden- und Landschaftswasserhaushalt**

Über die Vegetation wird die Evapotranspiration eines Bodenstandortes gesteuert. Wesentliche Einflussfaktoren beim Anbau unterschiedlicher Kulturen sind die Interzeption und die Verdunstung. Diese beiden Parameter sind beim Anbau klassischer Ackerbaukulturen deutlich geringer als Kurzumtriebsplantagen. Vor diesem Hintergrund wird beim Anbau von Kurzumtriebsplantagen der Bodenwasservorrat stärker ausgeschöpft, so dass von geringerer Grundwasserneubildung auszugehen ist. In niederschlagsarmen Regionen kann der größere Wasserbedarf der Kurzumtriebsplantagen die Grundwasserneubildung maßgeblich beeinflussen, wenn größere Flächenanteile umgestellt werden.

Anhaltspunkte für die Beeinflussung der Grundwasserneubildung und des Landschaftswasserhaushalts insgesamt können der Forschung zur Entwaldung von Was-

sereinzugsgebieten entnommen werden. Entwaldung und Aufforstung wirken prinzipiell gegensätzlich auf den Landschaftswasserhaushalt ein, so dass Umkehrschlüsse aus Untersuchungen zur Entwaldung gezogen werden können. Die Anlage von Kurzumtriebsplantagen wirkt dabei grundsätzlich gleichgerichtet auf den Wasserhaushalt ein wie Aufforstungsmaßnahmen.

Anhand von 11 Wassereinzugsgebietsuntersuchungen im Nordosten der Vereinigten Staaten von Amerika zeigen HORNBECK et al. (1993) auf, dass bei vollständiger Entwaldung eines Einzugsgebietes anfänglich mit einer Zunahme des Gebietsabflusses von 110 bis 250 mm je Jahr zu rechnen ist; diese Abflusszunahmen reduziert sich in den Folgejahren durch zunehmende Wiederbestockung. Die Abflusszunahme wird nahezu vollständig durch die Erhöhung des Basisabflusses in der Vegetationsperiode ausgelöst. Vergleichbare Untersuchungsergebnisse werden auch von BOSCH & HEWLETT (1982) wiedergegeben. Anhand von 94 Einzugsgebietsuntersuchungen quantifizieren BOSCH & HEWLETT den Einfluss der Bewaldung auf durchschnittlich ca. 40 mm Abflussveränderung bei einer 10-%igen Veränderung des Bewaldungsgrades mit Kiefern oder Eukalyptus; für Laubbäumen wird ca. 25 mm und für Gehölze/Buschwerk ca. 10 mm Abflussveränderung angegeben. Die Abflussreaktion auf einen veränderten Waldflächenanteil wird insbesondere durch klimatische Faktoren beeinflusst; in Regionen mit hohen Jahresniederschlägen sind die absoluten Abflussänderungen nach Veränderungen des Bewaldungsgrades größer als in trockenen Regionen.

PETZOLD et al. (2006) ermitteln Flächenpotenziale für den Anbau schnellwachsender Baumarten in Sachsen. Im Rahmen des laufenden Verbundvorhabens AGROWOOD haben PETZOLD et al. für die Modellregion Freiberg eine GIS-basierte Analyse und Bewertung der standörtlichen Potenziale landwirtschaftlicher Flächen für den Anbau von Kurzumtriebsplantagen anhand des standörtlichen Wasser- und Nährstoffhaushaltes vorgenommen. Auch diese Studie unterstreicht die Bedeutung des Wasserhaushaltes für Kurzumtriebsplantagen.

Für die Bewertung der Kurzumtriebsplantagen folgt aus den vorgenannten Untersuchungen, dass bei deren großflächigen Anbau bedeutende Veränderungen des Landschaftswasserhaushaltes zu erwarten sind. Diese Veränderungen können in Gebieten mit geringer klimatischer Wasserbilanz zu einer bedeutenden Reduzierung des Grundwasserdargebotes und des Basisabflusses der Fließgewässer führen. Die möglichen Folgen auf den Naturhaushalt sind auf der Ebene von Wassereinzugsgebieten anhand der lokalen Bedingungen abzuschätzen.

- **Auswahl der Baumarten, -sorten bzw. Klone**

Die praxisbezogene Forschung zu Kurzumtriebsplantagen konzentriert sich insbesondere auf Aspekte der Biomassebildung. Ziel ist eine möglichst große und effiziente Erzeugung holzartiger Biomasse zur thermischen Verwertung. Besondere Bedeutung haben schnellwachsende Baumarten wie Weiden und Pappeln (HOFMANN 1998). Die Züchtungsanstrengungen zielen auf die Selektion besonders ertragsreicher Klone ab (u. a. HOFMANN 1998, KEOLEIAN & VOLK 2005, SMART et al. 2005).

Die Auswahl des Baummaterials sowie des Pflanzverbandes ist abhängig von

- der gewählten Umtriebszeit,
- dem angestrebten Verwendungszweck (Energie- oder Industrieholz) und
- dem zum Einsatz kommenden Ernteverfahren.

Für Energiehackschnitzel bieten sich Kurzumtriebsplantagen mit Stockzahl zwischen ca. 13.000 und 22.000 je ha an. Die Umtriebszeit variiert je nach Standort und Baumart zwischen 2 und 6 Jahren. Für Industrieholz müssen neben längeren Umtriebszeiten zwangsläufig auch größere Standräume für die Pflanzen vorgesehen werden. Nach HOFMANN (1998) bieten sich Ausgangsverbände von 3m x 1m (3.333 St./ha), 3m x 2m (1.666 St./ha) oder 3m x 3m (1.111 St./ha) an.

Aus den meisten Untersuchungen geht hervor, dass im Regelfall Pappelklone den höchsten Biomassezuwachs erbringen. Beispielsweise zeigt BOELCKE (2006a) anhand der weiter oben bereits angeführten 12-jährigen Versuchsergebnissen auf jungpleistozänen Standorten in Mecklenburg-Vorpommern, für die von KAHLE & HILDEBRANDT (2006) die Beeinflussung bodenphysikalischer Kennwert untersucht wurden, dass die gewählten Pappelklone sowohl im 3-jährigen als auch im 6-jährigen Umtrieb den Weidenklonen überlegen waren (Abb. 6–6).

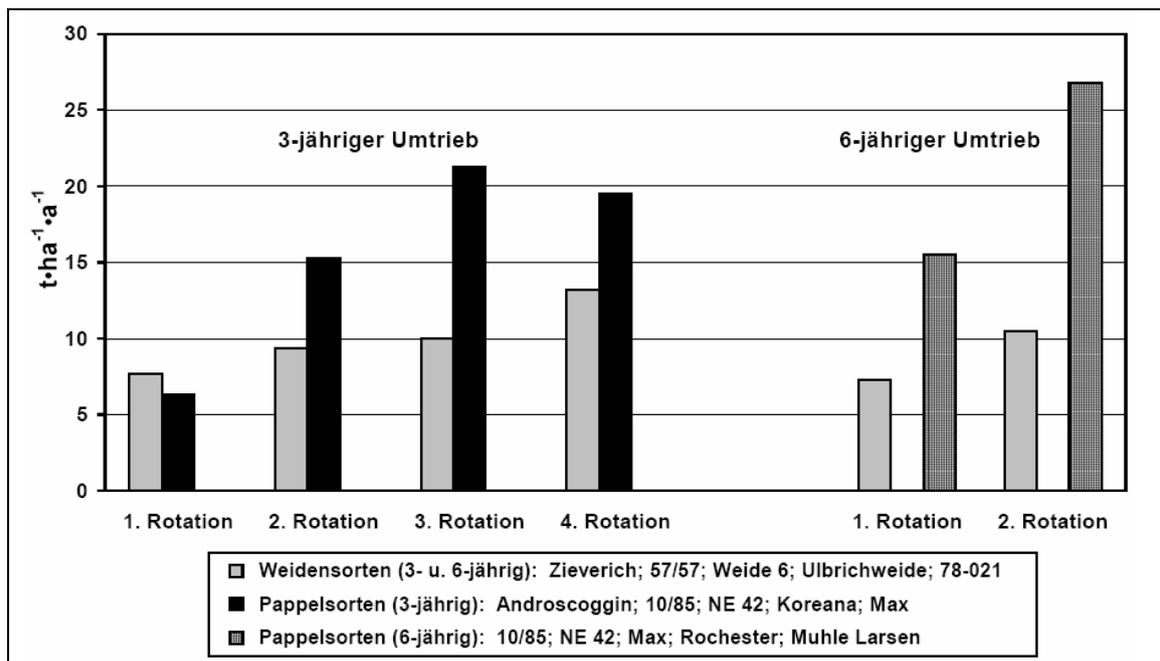


Abb. 6-6: Jährlicher Holz trockenmasseertrag in Abhängigkeit von der Baumart und Umtriebszeit (Gülzow 1993-2004, Mittelwert ausgewählter Klone) (BOELKE 2006a)

Nach HOFFMANN & WEIH (2005) ist in Deutschland mit einem mittleren offentrockenen Biomasseertrag von 10 bis > 20 t/(ha·a) bei Pappeln und 6 bis 14 t/(ha·a) bei Weiden auszugehen. Für den Biomasseertrag sind das Nährstoffangebot, insbesondere das Stickstoffangebot, und die Wasserversorgung von entscheidender Bedeutung.

WÜHLICH (2006) weist auf die unterschiedliche Standorteignung verschiedener Baumarten hin: Je nach Standorteigenschaften reicht das mögliche Baumartenspektrum von Robinien und Aspen auf armen, trockenen über Balsam- und Schwarzpappeln bis zu Rot- und Weißerle auf reicheren, feuchten Standorten. In einer 2006 gestarteten praxisnahen Prüfung von Aspensorten soll deren Eignung für die Erzeugung von Holz auf landwirtschaftlichen Flächen geprüft werden. Der Versuch ist auf 10 Jahre ausgelegt. Zur Prüfung aussichtsreich erscheinender Aspensorten im Vergleich zu anderen Baumarten beteiligt sich das Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft an praxisnahen Anbauversuchen. Dazu wurden vier Sorten artreiner (*Populus tremula*) und hybridisierter Aspen (*P. tremula* × *P. tremuloides*) bereit gestellt und mit anderen Baumarten wie Balsampappel, Roterle und Weide zum Vergleich auf jeweils 0,2 ha angepflanzt. An diesen Versuchen sind das Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V., Finsterwalde, mit einer Fläche im südlichen Brandenburg, die Landesforstverwaltung Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin, mit einer Fläche in Mecklenburg und die Waldmärkerschaft Uelzen eG mit drei Anbauflächen im Raum Uelzen beteiligt.

Für anmoorige Standorte eines devastierten Niedermooses wird von Biomassezuwächsen von Grau- und Schwarzerlen nach 8 Jahren in Höhe von 15 bis 20 t Trockenmasse je Hektar und Jahr berichtet (UNSELD 1999). Damit wird das Ertragsniveau von Weiden- und Pappelklonen erreicht. PROE et al. (2002) und TELENUS (1999) gehen auch von vergleichbaren Biomasseerträgen von Erlen im Vergleich zu Pappeln und Weiden aus (vgl. auch JØRGENSEN et al. 2005).

MAIER & VETTER (2004) führten Versuche mit Pappeln, Weiden und einer Blauglockenbaumart (*Paulownia tomentosa*) in zwei klimatisch unterschiedlichen Regionen in Baden-Württemberg durch. Die mittleren Biomasseerträge der drei Baumarten erbrachten ca. 8 und 16 t Trockenmasseerträge je Hektar und Jahr; die Spannweite entspricht ungefähr den Ertragsangaben anderer Autoren, wenngleich die von einigen Autoren aufgeführten potenziellen Erträge über 20 t TM/(ha-a) nicht erreicht wurden. Auf dem berechneten Standort Grissheim im Oberrheingraben sind die Weiden- und Pappelerträge mit rund 13 und 16 t TM/(ha-a) deutlich höher als die Weidenerträge auf den beiden anderen Standorten (Tab. 6–10). Offensichtlich haben Wasserversorgung, natürliche Bodenfruchtbarkeit und Klima entscheidenden Einfluss auf die Ertragsleistung; gute Wasserversorgung (natürlicher Niederschlag oder Beregnung), hohe natürliche Bodenfruchtbarkeit (näherungsweise abgeleitet aus der Ackerzahl) und warmes Klima mit langer Vegetationsperiode steigern die Biomassebildung auch auf Kurzumtriebsplantagen.

Tab. 6–10: Mittlere Erträge von Kurzumtriebsplantagen in Versuchen von MAIER & VETTER (2004) in Baden-Württemberg zwischen 1995 und 2003

Standorte	Mittlere Ertrag in t TM/(ha-a)		
	Weide (<i>Salix viminalis</i>)	Pappel (<i>Populus. spec.</i>)	Blauglockenbaum (<i>Paulownia tomentosa</i>)
Müllheim Rheintal, Ø 9.5°C, 650 mm, tiefgründige Parabraunerde, Bodenart Ul, Ackerzahl 81	7,9	–	12,7
Grißheim Rheintal, Ø 9.8°C, 680 mm, flachgründige Parabraunerde, Beregnung, Bodenart sL, Ackerzahl 45	13,1	15,6	–
Binsdorf Albvorland, Ø 6.8°C, 800 mm, Pelosol, Bodenart hhstL, Ackerzahl 51	8,4	–	–

Die Nutzungsfrequenzen haben in einer weiten Spanne keinen maßgeblichen Einfluss auf die durchschnittlichen Biomasseerträge. Am Beispiel der Weidenerträge der Versuche von MAIER & VETTER (2004) verdeutlicht dies die Abb. 6–7. Zwei- und dreijährige Umtriebszeiten auf den Standorten Müllheim und Grißheim zeigen keine signifikan-

ten Ertragsunterschiede. FRIEDRICH (1999) kommt für Umtriebszeiten zwischen 5- und 10 Jahren ebenfalls zu keinen bedeutenden Unterschieden im Biomasseertrag.

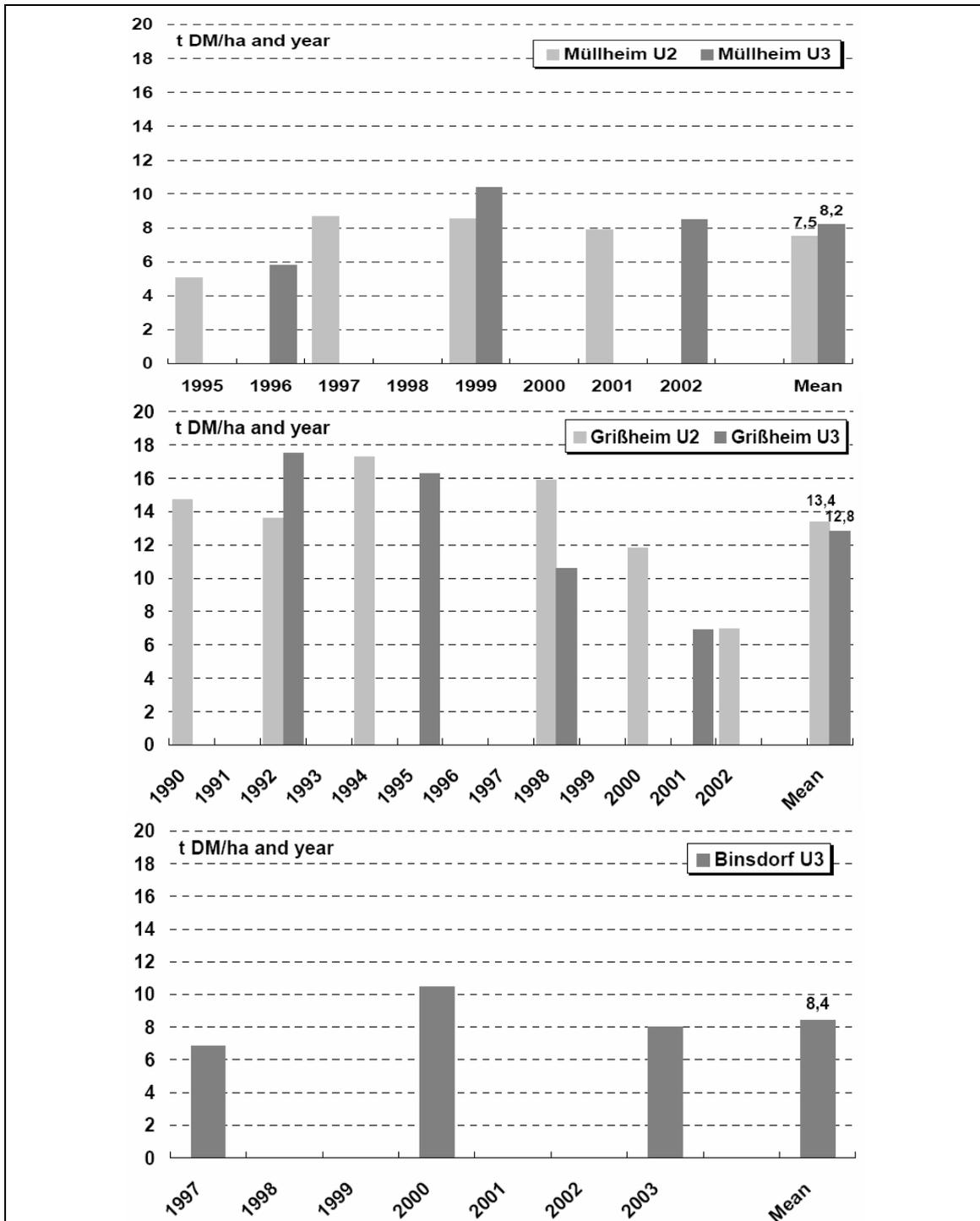


Abb. 6–7: Biomasseertrag von Weiden-Kurzumtriebsplantagen auf drei Standorten in Baden-Württemberg zwischen 1990 und 2003 (MAIER & VETTER 2004)

Bei den Versuchen von MAIER & VETTER (2004) werden Ertragsrückgänge ab der dritten Nutzung beobachtet. Der Ertragsrückgang ist auf die zunehmende Anzahl von

Wurzelstöcken ohne Wiederaustrieb zurückzuführen; dieser Umstand begrenzt die Nutzungsdauer einer Kurzumtriebsplantage und macht nach starken Ertragsrückgängen eine erneute Pflanzung notwendig.

Die optimale Umtriebszeit zur Maximierung der Biomassezuwächse bestimmt sich anhand der jährlichen Zuwachsrates; sinkt die Zuwachsrates ab, dann ist die maximale Umtriebszeit überschritten (vgl. ADEGBIDI et al. 2001). Beeinflusst wird die Zuwachsrates durch die Standortbedingungen, Bewirtschaftungsmaßnahmen und Eigenschaften der angepflanzten Baumarten.

Die sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL 2002a) führt seit Jahren Versuche mit Weiden- und Pappelplantagen auf einem sandigen Lehmboden alluvialer Genese mit guter Wasserversorgung durch. Die Jahresniederschläge liegen im Mittel bei ca. 670 mm, die Jahresmitteltemperatur beträgt 8,9°C. Im Herbst 1994 war die Fläche mit Glyphosat behandelt und anschließend tief gepflügt worden. Mitte April 1995 wurde die Fläche intensiv mit einer Grubber-Eggenkombination auf die Pflanzung vorbereitet. Anschließend wurden 100 bis 125 cm hohe Jungbäume in Doppelreihen mit 0,75 m Abstand und einem Abstand zwischen den Doppelreihen von 1,5 m gepflanzt. Der Pflanzabstand in den Reihen betrug 0,5 m. Daraus resultierte eine Bestandesdichte von 17.778 Pflanzen je ha. Der Bestand wurde nicht gedüngt. Zur Unkrautregulierung erfolgte im 1. Jahr zwischen der Doppelreihe flach gefräst. Die Bestände wurden nach 2 und 5 Jahren beerntet.

Die in Tab. 6–11 dokumentierten Ertragsleistungen verschiedener Baumarten verdeutlicht, dass sich die Bauarten bzw. Klone unterschiedlich gut für die verschiedenen Umtriebszeiten eignen. Während die Pappelsorte Beaupre besonders gut für die 2-jährige Umtriebszeit geeignet ist, zeichnen sich die Aspensorten und der Weidenklon durch sehr geringe Zuwächse bei kurzer Umtriebszeit aus. Dahingegen verzeichnet der Weidenklon 722 nach 3-jährigem Umtrieb die absolut höchsten Ertragsleistungen. Diese Ergebnisse machen deutlich, dass die Umtriebszeit mit der Sorten- und Klonauswahl abgestimmt werden muss, um optimale Ertragszuwächse realisieren zu können.

Tab. 6–11: Jährliche Ertragsleistungen schnellwachsender Baumarten im Zeitraum 1995 bis 2000, Großversuch Kalkreuth in Sachsen (LfL 2002a)

Baumart/-klon	1. Umtrieb nach 2 Jahren	2. Umtrieb nach weiteren 3 Jahren
	Ertrag in t TM/(ha-a)	
Pappel Muhle Larsen	8,4	12,2
Pappel Max 1	10,8	13,0
Pappel Max 3	12,7	11,4
Pappel Beaupre	13,8	16,9
Espe Astria	3,8	11,0
Espe Münden	1,2	9,3
Weidenklon 722	5,3	19,4

Das Landesforstpräsidium in Pirna (Sachsen) betreibt seit 1997 im Rahmen eines vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft geförderten Verbundvorhabens 50 ha Versuchsflächen auf Stilllegungsflächen zur Prüfung der wirtschaftlichen und ökologischen Relevanz des Pappelanbaus (WOLF & BÖHNISCH 2004). Zielrichtung der Versuche ist die Bereitstellung von Industrieholz zur Papierherstellung. Die Ergebnisse sind aber auch für die energetische Nutzung von Kurzumtriebsplantagen von Bedeutung, so dass sie hier kurz vorgestellt werden.

Im Frühjahr 1998 wurden 2 Versuchsflächen mit einer Größe von 4 ha bzw. 18 ha und im Frühjahr 1999 weitere 3 Flächen von 4 ha bis 14 ha angelegt. Die Flächen liegen in den nordöstlichen, mittleren und südlichen Landesteilen Sachsens in Höhenlagen zwischen 120 und 650 m ü. NN. Die Bodenschätzung weist Bodenzahlen zwischen 30 und 65 aus. Die Wasserversorgung ist mäßig trocken bis frisch. Die angelegten Versuchsflächen repräsentieren alle für den Pappelanbau auf landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen relevanten Standorte in Sachsen vom Hochleistungsstandort bis zum Grenzertragsstandort, von der rekultivierten Tagebaukippe bis zum Mittelgebirgsstandort (WOLF & BÖHNISCH 2004).

Im Pflanzenalter von 4 bzw. 5 Jahren zeigten sich sowohl zwischen den Versuchsflächen als auch innerhalb der Versuchsflächen große Unterschiede bei den Merkmalen Anwuchs und Wachstum in Abhängigkeit von Standort und verwendetem Klonmaterial. Der Anwuchs über alle angebauten Klone variierte zwischen 60% auf schwächeren Standorten (Bodenwertzahlen um die 40, schlechte Wasserversorgung) und 90% auf dem besseren Standort (Bodenwertzahl ca. 65, gute Wasserversorgung). Innerhalb der Versuchsflächen bewegte sich der Anwuchs zwischen 30% und 90% auf den schwächeren Standorten und zwischen 85% und 100% auf dem besseren Standort. Die Ausfälle von Pflanzenmaterial ereigneten sich in der Hauptsache im ersten

Wuchsjahr nach Einbringung der Stechhölzer in den Boden. Nach Etablierung des Wurzelsystems und des oberirdischen Sprosses konnten in den Folgejahren deutlich geringere Ausfallraten beobachtet werden. Die Ergebnisse machen deutlich, dass für Kurzumtriebsplantagen unter dem Gesichtspunkt der Ertragssicherheit und letztendlich der Rentabilität bevorzugt ackerbauliche Gunstflächen (hohe natürliche Bodenfruchtbarkeit, gute Wasserversorgung, lange Vegetationsperiode) in Frage kommen, wohingegen Grenzertragsböden auf Grund der geringeren Ertragssicherheit und Biomassezuwächse betriebswirtschaftlich ungünstiger zu beurteilen sind. Damit stehen Kurzumtriebsplantagen in direkter Konkurrenz zur Lebens- und Futtermittelproduktion.

Der durchschnittliche Gesamtzuwachs der Biomasse nach 4 Jahren Wachstum bewegte sich in Abhängigkeit vom Standort und untersuchten Klon bei einem Ausgangsverband von 3 m x 2 m zwischen 0,3 t atro pro Hektar und Jahr und 3,5 t atro pro Hektar und Jahr. Diese Werte sind im Vergleich zu Kurzumtriebsplantagen mit engerem Verband sehr niedrig, werden jedoch in den folgenden Wuchsjahren durch deutlich höhere durchschnittliche Gesamtzuwächse wieder ausgeglichen (Abb. 6–8). Dies unterstreicht nochmals die Notwendigkeit, dass die Umtriebszeit in Abhängigkeit vom Standort, Baumarten und Pflanzverband zu bestimmen ist, um optimale Biomasseerträge zu erhalten.

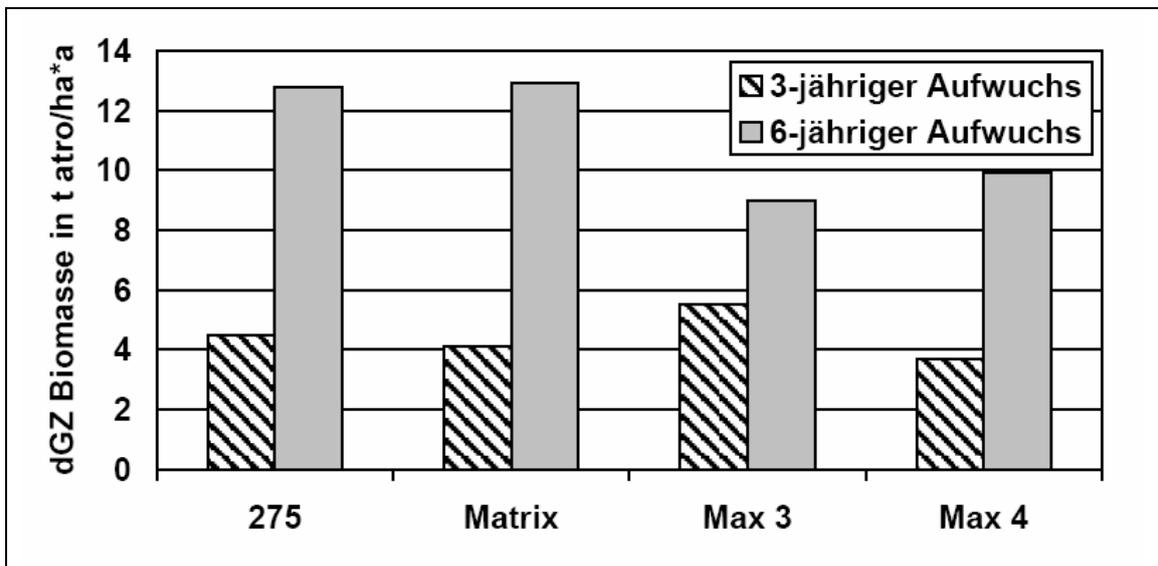


Abb. 6–8: Durchschnittlicher Gesamtzuwachs der Biomasse ausgewählter Klone auf der Versuchsfläche Methau I/Sachsen im Pflanzenalter 3 und 6 Jahre (WOLF & BÖHNISCH 2004)

Eine umfassende Auswertung von Versuchsergebnissen zum Biomassezuwachs von Pappelsorten hat KOBUS (2000, zit. in SCHOLZ et al. 2004) vorgenommen. In die Auswertung sind rund 1.500 Ertragsmessungen aus Europa eingegangen. Abb. 6–9 verdeutlicht die Häufigkeitsverteilung der ermittelten Ertragsleistungen. Die Pappelerträge

liegen in der Mehrzahl in den Ertragsklassen 0,1 bis 9 t TM/(ha-a). Diese Verteilung ist sicherlich dem geringen Alter der in die Auswertung einbezogenen Versuchsflächen geschuldet, was angesichts der überwiegend jungen Forschung zu Kurzumtriebsplantagen nicht überrascht. Unter günstigen Produktionsbedingungen können sicherlich bis 20 t TM/(ha-a) realisiert werden, höhere Zuwachsraten werden wahrscheinlich nur an wenigen Standorten möglich sein.

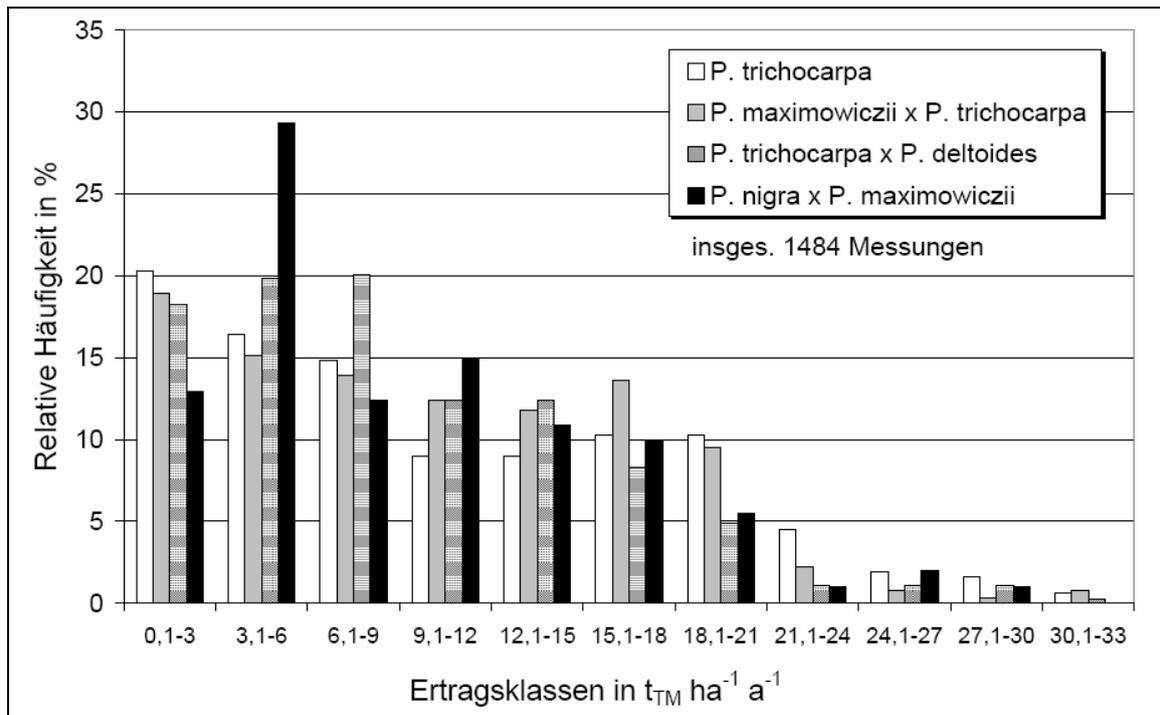


Abb. 6–9: Erträge von Kurzumtriebspappeln in Europa (KOBUS 2000, zit. in SCHOLZ et al. 2004)

In Südeuropa werden auch Versuche mit Robinien und Eukalyptus durchgeführt, um den mediterranen Klimabedingungen Rechnung zu tragen (SPINELLI & KOFMANN 1996). Auch SPLECHTNA & GLATZEL (2005, S. 30) weisen auf Untersuchungen mit anderen Baumarten wie Robinie oder Lärche hin. Diese werden nach Einschätzung von SPLECHTNA & GLATZEL jedoch nur auf wenigen Versuchsflächen in ganz Europa auf ihre Eignung für Kurzumtriebsplantagen untersucht. Nur in Schweden sollen wirtschaftlich nennenswerte Größenordnungen auch mit anderen Baumarten als Weiden und Pappeln realisiert worden sein. Leider werden von SPLECHTNA & GLATZEL dazu keine Untersuchungsergebnisse wiedergegeben.

Erfahrungen zur Eignung von Robinien zur Begründung von Kurzumtriebsplantagen lassen sich ggf. aus Ungarn gewinnen. Nach TRAUPMANN et al. (2004, S. 7) werden in Ungarn große Robinienbestände als Kurzumtriebsflächen (ca. 400.000 ha) bewirtschaftet, wobei der Holzertrag einer stofflichen Verwertung zugeführt wird. Nähere Informationen liegen nicht vor.

Gentechnisch veränderte Baumarten sind nach KONNERT (2004) bisher nur Gegenstand der Forstforschung, die folgende Ziele verfolgt:

- Steigerung der Holzmasse (Bäume sollen schneller wachsen und höheren Massenertrag liefern);
- Veränderung der Holzqualität (z. B. Bäume mit wenig Lignin oder mit verändertem Lignin, das sich leichter vom Zellstoff trennen lässt);
- Intensivierung der Schwermetallaufnahme zur Bodensanierung (Bäume für die Sanierung belasteter Böden; hier wird die Fähigkeit der Bäume genutzt, Schwermetalle aufzunehmen und in ihren Blättern einzulagern);
- Resistenzen gegen Schädlinge und Pflanzenkrankheiten;
- Besiedlung von extremen Standorten, Verwendbarkeit in der Plantagenwirtschaft unabhängig vom Standort, tolerant gegenüber Trockenheit, Salz oder Frost;
- Erzeugung von Sterilität: diese gentechnisch veränderten Bäume sollen sich nicht fortpflanzen können und stellen daher ein geringeres Risiko für die Umwelt dar als nicht-sterile Bäume.

Nach KONNERT (2004) dienen Freisetzungsversuche von transgenen Bäumen hauptsächlich der Evaluation der Kommerzialisierung eines Gentech-Produktes und der begleitenden Sicherheitsforschung. Eine kommerzielle Nutzung transgener Bäume findet noch nicht statt. Dies hat verschiedene Gründe. Unter anderem weist KONNERT darauf hin, dass ein hohes Risiko einer dauerhaften Verbreitung des Fremdgens in natürliche Populationen besteht mit derzeit nicht abschätzbaren Folgen für das Genom der Waldbäume. KONNERT führt aus, dass laut der überwiegenden Meinung der Wissenschaftler der Einsatz transgener Bäume in der klassischen Forstwirtschaft nicht sinnvoll und in nächster Zeit auch nicht zu erwarten ist. Dazu sind die Ergebnisse der ökologischen Begleitforschung noch viel zu dürftig, die möglichen Gefahren und Risiken für das komplexe Ökosystem Wald sind nicht abzuschätzen, die notwendigen Prüfzeiträume zu lang und die Entwicklungskosten transgener Bäume zu hoch. Anders wird der Plantagenanbau von Gehölzen bewertet. Gentechnisch veränderte Bäume könnten als Plantagenkulturen (z. B. Kurzumtriebsplantagen), zur Erzeugung von Spezialhölzern oder als nachwachsende Rohstoffe zunehmend Anwendung finden. Vor allem für transgene Eukalyptusarten, Pappeln und Kiefern werden in der Plantagenwirtschaft Potenziale gesehen. KONNERT weist darauf hin, dass nach Ansicht von Fachleuten noch viele komplexe ökologische Fragen über eine zu intensivierende Sicherheitsforschung zu beantworten seien. Gerade in einer so dicht bevölkerten Region wie Mitteleuropa sind die natürlichen Barrieren und einzuhaltenden Sicherheitsabstände zum Schutz unserer natürlichen Waldökosysteme vor Fremdgenen kaum zu realisieren.

- **Pflanz- bzw. Setzverfahren**

Aus Sicht des Boden- und Gewässerschutzes ist die Phase der Bestandsgründung kritisch, weil in dieser Phase geringe Bodenbedeckung und Bodendurchwurzelung vorhanden ist. Deutlich wird das anhand der Fotos in Abb. 6–10.



Abb. 6–10: Jugendentwicklung einer Kurzumtriebsplantage (Weiden) (Fotos: Neumeister 2006)

Die Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf Ackerflächen ist bei Versuchs- und Praxisflächen in der Regel mit einer vorgeschalteten Pflugfurche verbunden. Dabei sind sowohl Herbst- als auch Frühjahrsfurchen üblich (vgl. u. a. HOFMANN 1998, TELENUS 1999, LFL 2002a, PROE et al. 2002, HOFMANN 2004, LABRECQUE & TEODORESCU 2005, KTBL 2006, S. 293).

Aus Gründen des Boden- und Gewässerschutzes sind Herbstfruchen kritisch einzustufen. Es sind erhöhte Auswaschungsverluste insbesondere von Nitraten möglich, da

zum einen der Boden durch die tiefgründige Bearbeitung höhere Mineralisationsraten aufweist und zum anderen jeglicher Pflanzenbewuchs über Winter fehlt, der der Nitratverlagerung durch eine N-Festlegung in der pflanzlichen Biomasse entgegenwirken kann.

Weiterhin ist auf erosionsgefährdeten Standorten mit vermehrtem Oberflächenabfluss und erhöhter Bodenerosion zu rechnen, wenn der Boden über Winter ohne Vegetationsbestand oder Mulchschicht ungeschützt den Witterungsbedingungen ausgesetzt ist.

Um diesen möglichen negativen Auswirkung der Herbstfurche entgegenzuwirken, sind konservierende Bodenbearbeitungsverfahren zu verwenden, wie sie aus der Praxis der Wasserschutzgebietsberatung und des Schutzes des Bodens vor Bodenerosion bekannt sind (SCHMIDT et al. 1996, SCHMIDT 1998a + b, FREDE & DABBERT 1999, SCHMIDT et al. 2001, LFL 2004, PETER et al. 2005, KORNMANN et al. 2006).

Daraus folgt, dass aus Gründen des Boden- und Gewässerschutzes bei der Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf Herbstfurchen verzichtet werden sollte. Stattdessen ist eine Zwischenfrucht oder zumindest eine Mulchschicht aus den Ernteresten der Vorfrucht auf den Ackerflächen zu belassen. Die Bodenbearbeitung im Frühjahr sollte möglichst mit geringer Intensität erfolgen; dabei sind Mulchsetz- bzw. Mulchpflanzverfahren zu bevorzugen. Indes sind Adaptionen der Bodenbearbeitungsverfahren an die Bedingungen der Kurzumtriebsplantagen notwendig. Ansätze zur Reduzierung der Bearbeitungsintensität bei der Anlage von Kurzumtriebsplantagen werden VOLK et al. (2004) vorgestellt; VOLK et al. berichten mit Zwischenfrüchten bzw. Untersaaten, in die die Bepflanzung vorgenommen werden kann.

Alternative vorbereitende Bodenbearbeitungsverfahren, die im Gegensatz zu der vorherrschenden Empfehlung zum Pflügen (u. a. KTBL 2006, S. 293) abweichen, müssen noch entwickelt werden. Auf Böden mit gutem Bodengefüge (keine schädliche Verdichtungen, ausreichend großen und kontinuierlichem Porenraum, aktivem Bodenleben) sollte nach Einschätzung der Autoren ein Pflugverzicht problemlos möglich sein. Der notwendige Lockerungsbedarf vor den Steckarbeiten müsste auch über einen modifizierten Schwergrubber mit nachlaufenden Krümlern erreicht werden können. Um eine Lockerung ausschließlich in den Pflanzreihen vornehmen zu können, bietet sich die Herausnahme der Grubberzinken zwischen den Pflanzreihen an. Das Verfahren könnte mit einer Begrünung zwischen den Pflanzreihen kombiniert werden, die sowohl der anfänglichen Erosions- und Auswaschungsgefährdung entgegenwirkt als auch eine unkrautregulierende Wirkung entfalten kann. Zudem böten Blühaspekte der Zwischenreihenbegrünung noch naturschutzfachliche Vorteile als Nahrungsangebot für Insekten. Dieser Verfahrensansatz bedarf jedoch der landtechnischen Erprobung.

Bei der Erneuerung von Kurzumtriebsplantagen kann bei gutem Bodengefüge auf vorbereitende Bodenbearbeitungsverfahren verzichtet werden. Stattdessen können

Setzstangen an ohne Flächenräumung und ohne Unkrautbekämpfung mit Hilfe eines Tiefenmeißels direkt in die alten abgeernteten Bestände gepflanzt werden (Abb. 6–11).



Abb. 6–11: Bestandserneuerung abgeernteter Kurzumtriebsplantagen mit Hilfe von Setzstangen ohne vorbereitende Maßnahmen (HOFMANN 2007, Kompetenzzentrum HessenRohstoffe e.V.)

Mulchverfahren ohne tiefgreifende Bodenbearbeitung im Frühjahr bieten über die Reduzierung der Auswaschungs- und Erosionsgefährdung über Winter auch Vorteile in der Phase der Bestandsetablierung im Frühjahr und Frühsommer. Durch die langsame Bestockung der Stecklinge oder Setzlinge wird der Boden in Kurzumtriebsplantagen erst spät in der Vegetationsperiode mit einer Pflanzendecke gegen Wind- und Wassererosion geschützt. Wie bei den klassischen Ackerhackfrüchten schützt ein Mulchverfahren in Kurzumtriebsplantagen die Böden sicher vor Bodenerosion in dieser Phase geringer Bodenbedeckung.

Weiterhin wird durch konservierende Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren im Frühjahr kein zusätzlicher Mineralisationsimpuls ausgelöst, der zu erhöhten Nitrat- auswaschungen im Frühjahr oder Herbst des Setz- bzw. Pflanzjahres beitragen kann. Dieser Schutzbeitrag ist bei Kurzumtriebsplantagen insofern von Bedeutung, weil der im Vergleich zu klassischen Marktfrüchten geringere N-Bedarf der Energiehölzer auf den zumeist gut mit Nährstoffen versorgten Ackerböden in den Anfangsjahren bereits durch die normale Mineralisationsrate abgedeckt werden kann. Diese plausible Annahme wird durch Versuche gestützt, die auch ohne Start-N-Düngung befriedigende Biomassezuwächse realisieren konnten (u. a. TELENIOUS 1999). Zum mittel- bis langfristigen Kompensationsbedarf der Nährstoffentzüge der Kurzumtriebsplantage wird auf die Ausführungen unter „Nährstoffhaushalt“ verwiesen.

- **Pflanzenschutz**

Unkrautregulierung

Bei der Anlage von Kurzumtriebplantagen besteht eine Wuchskonkurrenz zwischen den Setzlingen und den auflaufenden Gräsern und Kräutern. Abb. 6–12 verdeutlicht den Unkrautdruck am Beispiel einer jungen Weidenplantage, die mit und ohne Herbizidbehandlung angelegt wurde.



Abb. 6–12: Unkrautdruck in junger Weidenplantage mit (rechte Bildseite) und ohne (linke Bildseite) Herbizidbehandlung (BOELKE 2005)

In der Phase der Bestandsetablierung wird der Unkrautdruck bei vielen Versuchsanlagen durch den Einsatz von Herbiziden reguliert. Als Alternative zum Herbizideinsatz kommen prinzipiell Mulchsetzverfahren in Frage (siehe Bestell- bzw. Setzverfahren). Auf der Grundlage der Erfahrungen mit Mulchsaatverfahren in klassischen Ackerbaukulturen kann eine dichte Mulchschicht zu einer Reduzierung des Unkrautdrucks beitragen, so dass der Aufwuchs der Setzlinge nicht oder im geringeren Umfang beeinträchtigt wird.

Die von der sächsischen Landesforstverwaltung durchgeführten Versuche zur Industriegehölzproduktion umfassten auch unterschiedliche Varianten zur Unkrautregulierung (WOLF & BÖHNISCH 2004). Zur Einschätzung unterschiedlicher Bodenvorbereitungsmethoden auf Anwuchs und Wachstum der Pappeln erfolgte am Beispiel des Klonen „Max 4“ auf drei Flächen der Vergleich der Varianten „Nullfläche“ (Pflügen, Grubbern, keine weitere Behandlung), „Kleeinsaat“ (Pflügen, Grubbern, Einsaat von Weißklee) und „Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln“ (Pflügen, Grubbern, Ausbringen von Kontaktherbiziden bzw. Voraufmitteln unmittelbar vor oder nach der Einbringung der Steckhölzer). Die Durchführung von motormanuellen Pflegeverfahren, die auf weiteren Teilflächen erfolgte, erwies sich als sehr zeitaufwendig und teuer. Die Qualität der ma-

schinellen Pflege war abhängig von der Verfügbarkeit geeigneter Geräte sowie von dem Geschick des Fahrers.

Die ökologisch sehr günstig zu beurteilende Einsaat von Klee zur Verdämmung von Unkraut führte zwar zur Verdämmung der Konkurrenzflora, aber auch zur Verdämmung der in der Anwuchsphase besonders auf Licht angewiesenen Stecklinge. Dies äußerte sich in ca. vierfach höheren Ausfallraten des Klonen Max 4 im Vergleich zur Nullfläche oder der mit Vorauflaufmitteln behandelten Teilflächen. Die Ausfallraten des Klonen Max 4 auf den Nullflächen lagen ebenso wie die auf den mit Vorauflaufmitteln behandelten Teilflächen auf dem vergleichbar niedrigen Niveau von ca. 10%. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse von WOLF & BÖHNISCH (2004) stellt sich die Frage, ob der Konkurrenzdruck des Kleebestandes ggf. durch streifenförmiges Fräsen / Mulchen in den Setzreihen soweit reduziert werden kann, dass die Stecklinge keine erhöhten Ausfallraten aufweisen. Dazu erscheinen weitere Untersuchungen notwendig.

Nach WOLF & BÖHNISCH (2004) wirkte sich die Verwendung von Vorauflaufmitteln auf das Wachstum der Stecklinge vorteilhaft aus und gewährleistete den notwendigen Wuchsvorsprung der Stecklinge vor der Konkurrenzflora. So betrug die mittlere Höhe des Klonen Max 4 auf den mit Vorauflaufmitteln behandelten Teilflächen mehr als das 2,5-fache der mittleren Höhe des Klonen auf den Nullflächen.

Die Bodenvorbehandlungsart beeinflusste in den ersten Wuchsjahren unter anderem auch die Entwicklung der Anzahl krautiger Pflanzenarten auf den Pappelflächen. Siedelten sich im ersten Wuchsjahr zwischen 12 Arten auf der mit Vorauflaufmitteln behandelten Fläche und 18 Arten auf der Nullfläche an, konnte mit Ausnahme der mit Klee eingesäten Fläche im zweiten Wuchsjahr eine weitere Zunahme der Artenzahl beobachtet werden. Mit zunehmendem Bestandesschluss der Pappeln und damit abnehmender Lichtversorgung näherten sich die Artenzahlen der unterschiedlichen Behandlungsvarianten bis zum vierten Wuchsjahr einander an und bewegten sich zwischen 12 und 17 Arten.

Versuche mit Untersaaten wurden auch von SCHOLZ et al. (2004) auf einem sandigen Standort nordöstlich von Potsdam (Versuchsfläche Bornim) mit sehr geringen Niederschlagssummen von durchschnittlich 477 mm/a durchgeführt. Bei einer Pflanzdichte von 12.000 Stecklingen je ha wiesen die Biomassezuwächse von Weide- und Pappelsorten im Versuchszeitraum 1994-2003 eine große Spanne auf und waren weniger von der Düngergabe als vielmehr von Untersaat und Alter des Bestandes bestimmt. Die Untersaat wirkte als erheblicher Wasser- und Nährstoffkonkurrent, der bei dem leistungsfähigen Balsampappelhybrid Japan 105 in den ersten 4 Jahren je nach Düngungsregime und Rotationsintervall eine Ertragseinbuße von 10 bis 65 % bewirkte. Im Gegensatz zu Weide wird jedoch bei Pappel die Untersaat – und auch das Unkraut – durch das großblättrige Laub unterdrückt, so dass sich die Ertragsdifferenz im Laufe der Zeit verringerte. Die von SCHOLZ et al. (2004) festgestellten Ertragsverluste bei

Energieholzzuwachs durch Untersaaten in den ersten Jahren ist vor dem Hintergrund der besonderen Standortbedingungen zu bewerten; der sandige Versuchsstandort mit den gleichzeitig sehr geringen Jahresniederschlägen im Versuchszeitraum macht jedwede Wasserkonkurrenz problematisch. Auf wüchsigeren Standorte mit besserer Wasserversorgung sind solche Ergebnisse nicht übertragbar.

Aus Österreich berichten TRAUPMANN et al. (2004) von positiven Erfahrungen mit Untersaaten. Demnach können Untersaaten, welche vor der Pflanzung der Stecklinge eingesät werden, den Begleitwuchs verhindern und die Kulturpflegemaßnahmen erheblich reduzieren. Versuche mit Getreide (z. B. Wintergerste, Hafer) als Untersaat ergaben eine hauptsächliche Unterdrückung des Begleitwuchses bei nur geringer Beeinträchtigung der Gehölze. Versuchsergebnisse werden von TRAUPMANN et al. (2004) jedoch nicht aufgeführt.

Auf bereits stark verunkrauteten Flächen kann dem Unkrautdruck durch die Verwendung von Setzstangen begegnet werden (HOFMANN 2002), um das Setzmaterial der Lichtkonkurrenz durch die Unkrautflora zu entziehen. Ggf. kann unter diesen Umständen auf eine Unkrautregulierung verzichtet werden, wenn keine Wasserkonkurrenz besteht.

Falls zur Unkrautregulierung Herbizidanwendungen vorgenommen werden sollen, dann gilt wie beim Ackerbau, dass vorrangig Nachauflaufpräparate und nur nachrangig Voraufaufpräparate angewendet werden sollten, um potenzielle Wirkstoffausträge mit dem Sickerwasser, dem Dränwasser und insbesondere mit dem Oberflächenabfluss soweit wie möglich zu vermeiden.

Regulierung von Krankheiten, Insekten- und Mäusekalamitäten

In Weiden- und Pappelkurzumtriebsplantagen ist Blattrost (*Melampsora* sp.) eine wirtschaftlich relevante Pilzkrankheit. Der Erkrankung ist vorzugsweise mit dem Anbau resistenter Weiden- und Pappelsorten zu begegnen. Zur Vermeidung von Ertragseinbußen wird auch der Mischanbau unterschiedlicher Klone sowie die Beachtung der Standortansprüche empfohlen (LfL 2002b). Neben der Mischung von Weiden- und Pappelklonen sind grundsätzlich auch Beimischungen anderer Baumarten wie Erlen, Robinien etc. zur Reduzierung des Pilzdruckes in Betracht zuziehen, wenngleich den Autoren dazu keine Untersuchungsergebnisse bekannt sind. Fungizidanwendungen zur Bekämpfung Blattpilzen werden in der recherchierten Literatur nicht empfohlen und sind somit nach Einschätzung des Autors in Kurzumtriebsplantagen ohne praktischen Belang. So sieht HOFMANN (2002) eine Behandlung mit Fungiziden als zwar grundsätzlich möglich an, hält sie jedoch in ökologischer wie in ökonomischer Hinsicht für praxisfern. Stattdessen empfiehlt HOFMANN (2002) für Gebiete mit hohem Infektionsdruck die Verwendung rostresistenter Baumarten.

CAMBOURS et al. (2005) berichten von Unterschieden in der Frosthärte von Weidenklonen, die durch pathogenen Bakterien induziert wird. Vor diesem Hintergrund ist bei der Auswahl der Bauarten, -sorten bzw. Klone neben der Resistenz gegenüber Schadpilzen auch die Resistenz gegenüber pathogenen Bakterien zu achten.

In Weiden- und Pappelkurzumtriebsplantagen kann auch der Befall durch Blattkäfer relevant sein. Nach Untersuchungen aus Mecklenburg-Vorpommern ist ein bedeutsamer Schaden nur in Pappelkulturen durch den Pappelblattkäfer (*Melasoma populi*) zu erwarten, wenn dieser im Stadium „Sprossknospe“ bei beginnendem Wiederaustrieb auftritt. Dabei liegen offenkundig Unterschiede zwischen verschiedenen Klonen vor, so dass auch über die Auswahl des Baummaterials ein Beitrag zur Reduzierung etwaiger Fraßschäden erreicht werden kann. Wie beim Pilzbefall ist auch der Schädigung durch Schädlinge durch die Mischung verschiedener Baumarten, -sorten oder -klonen zu begegnen. Die Zuwachsraten werden allerdings erst bei massivem Befall signifikant reduziert, so dass von einer vergleichsweise hohen Schadensschwelle ausgegangen werden kann. Insofern ist der Einsatz von Insektiziden zumeist schon aus wirtschaftlichen Gründen nicht angezeigt.

NORDMAN et al. (2005) berichten von unterschiedlichen Anfälligkeit von Weiden- und Pappelklonen gegen herbivore Insekten. Diese Unterschiede machen es prinzipiell möglich, dass mit der Klonauswahl neben der Absicherung der Biomasseerträge auch mögliche Pflanzenschutzmittelaufwendungen reduziert oder vermieden werden können.

Starker Mäusebefall mit entsprechenden Verbisschäden ist in einigen Regionen Deutschlands zum Hauptschadfaktor auf Erstaufforstungsflächen geworden (HOFMANN 2002). In diesen Fällen wird eine Bekämpfung mit Mäuseködern empfohlen, was dem naturschutzfachlichen Ziel einer möglichst biozidfreien Bewirtschaftung von Kurzumtriebplantagen entgegensteht.

- **Ernteverfahren**

Geeignete Ernteverfahren sind immer noch Gegenstand der anwendungsbezogenen Forschung, wenngleich bereits praxisreife Verfahren und Technik zur Verfügung stehen.

Die Energieholzernte erfolgt in den Wintermonaten vor dem Neuaustrieb. Günstig ist das Befahren des Schlages bei gefrorenem Boden, weil dann Schädigungen des Bodengefüges und der Wurzelstöcke vermieden werden können (Abb. 6–13). Bei nicht gefrorenen Böden sind Bodenschadverdichtungen oder Schädigungen der Wurzelstöcke nicht auszuschließen, weil die Ernte in der Regel mit schwerer Technik erfolgt.

Nach LfL (2002b) werden für die Ernte Techniklösungen von gezogenen oder selbstfahrenden Fäll-Bündel-Maschinen bis zu vollautomatischen Hackgut-Vollerntern an-

geboten. Auf Kleinflächen hat sich das motormanuelle Verfahren mittels Freischneider oder Bügelmotorsäge und das anschließende Hacken mit einem Mobilhacker bewährt. Auf größeren Flächen können Selbstfahrhäcksler, Mähacker als Anbaugerät für Schlepper oder Fäll-Bündel-Maschine zum absätzigen Verfahren für die Ernte ganzer Bäume als Anbaugeräte für landwirtschaftliche Schlepper oder als selbstfahrende Großmaschinen für Weiden und Pappeln eingesetzt werden.

Dem Autor sind spezielle Untersuchungen zur bodenschonenden Beerntung von Kurzumtriebsplantagen nicht bekannt. Anhand von Analogieschlüssen sind jedoch die Erkenntnisse zur Bodenschonung bei klassischen landwirtschaftlichen Nutzungssystemen auch auf Kurzumtriebsplantagen zu übertragen. So bieten sich Ansätze zur Reduzierung der potenziellen mechanischen Schädigungen des Bodengefüges durch Verdichtung und plastische Verformung in den Bereichen Fahrzeuggesamtmassen, Achs- bzw. Reifenlasten, Reifeninnendruck, spezifischer Bodendruck und Befahrungshäufigkeit. Die bekannten Maßnahmen zur Reduzierung mechanischer Bodenbelastungen sind konsequent zu nutzen, um die bodenökologischen Vorteile von Kurzumtriebsplantagen nicht durch Bodengefügeschäden während der Energieholzernte zu konterkarieren.



Abb. 6–13: Ernte einer Kurzumtriebplantage im Winter (Foto: Neumeister 2006)

- **Wirtschaftlichkeit**

Zur Wirtschaftlichkeit der Kurzumtriebsplantagen unter deutschen Rahmenbedingungen liegen derzeit keine Praxiserfahrungen vor, da das Versuchsstadium noch nicht verlassen worden ist. Dennoch liegen einige ökonomische Kalkulationen vor, die un-

abhängig von den zugrunde liegenden Annahmen darin übereinstimmen, dass die Anlage von Kurzumtriebsplantagen nur unter optimistischen Bedingungen in den Bereich der Kostendeckung oder einer geringen Gewinnmarge kommen.

PALLAST et al. (2006) führen aus, dass unter optimalen Produktionsbedingungen, die durch mittlere Biomasseerträge in Höhe von 12 t atro/(ha·a), niedrige Stecklingspreise, hohe Auslastung der Erntetechnik und Markterlöse von 60 €/t atro gekennzeichnet sind, lediglich die Produktionskosten gedeckt werden können, wenn staatliche Fördergelder unberücksichtigt bleiben. Die Kosten für Logistik bleiben nach Berechnungen von PALLAST et al. ungedeckt, Gewinne sind nicht zu realisieren. Weiterhin führen PALLAST et al. aus, dass für die Wirtschaftlichkeit der Anbau im großen Flächenumfang notwendig sei, um insbesondere die spezifischen Logistik- und Erntekosten zu reduzieren.

Als weiteres Hemmnis für die Einführung von Kurzumtriebsplantagen in die Praxis benennen PALLAST et al. die notwendigen langfristigen Investitionen sowie die damit verbundene langfristige Festlegung auf das Produkt „Energieholz“. Die damit verbundenen Planungssicherheiten stehen einer breiten Etablierung von Kurzumtriebsplantagen entgegen.

Die Einschätzungen von PALLAST et al. sind sicherlich durch die unterstellten mittleren Biomasseerträge von 12 t atro/(ha·a) geprägt. Die Anbauversuche in Deutschland weisen eine große Spannweite auf, die zumeist zwischen ca. 5 und 20 t atro/(ha·a) liegt. Die von PALLAST et al. unterstellten mittleren Biomasseerträge stimmen mit den langjährig mittleren Jahresmittelwerten nach KTBL (2006, S. 291) für normale Standortverhältnisse über ein; demnach ist auf der Grundlage von Expertenbefragungen und Auswertungen bisher vorliegender Ertragsdaten für normale Standortverhältnisse mit mittleren Pappelerträgen von 8 bis 12 t atro/(ha·a) und mit mittleren Weidenenerträgen von 5 bis 9 t atro/(ha·a) zu rechnen. Welche Biomasseerträge unter Praxisbedingungen unter Einhaltung von Belangen des Natur-, Boden- und Gewässerschutzes auf den unterschiedlichen Produktionsstandorten realisiert werden können, bleibt abzuwarten.

Nach Berechnungen der LfL (2005b) kann der Anbau von Kurzumtriebsplantagen unter Berücksichtigung staatlicher Transferzahlungen in den Bereichen der Wirtschaftlichkeit gelangen. Ab 12 t atro/(ha·a) werden nach diesen Berechnungen Gewinne realisiert, die mit den Erlösen von Marktfrüchten konkurrieren können (Tab. 6–12). Zur Absicherung der notwendigen Biomassezuwächse müssen jedoch hochproduktive Baumarten bzw. -clone auf fruchtbaren Ackerböden angebaut werden; Erträge unterhalb von ca. 10 t atro/(ha·a), wie sie auf Grenzertragsstandorten wahrscheinlich sind, werden nach Einschätzung der LfL unter den gegebenen Rahmenbedingungen unwirtschaftlich sein.

Tab. 6–12: Kosten-Leistungsvergleich für die Hackschnitzelbereitstellung aus Kurzumtriebsanbau schnellwachsender Baumarten (LFL 2005b)

Ertragsniveau	t TM/ha × a	8	10	12
Stückkosten	€/t TM	118	95	79
Leistungen				
AL/LF-Anspruch (309 €/ha)	€/t TM	39	31	26
Energiepflanzenprämie (45 €/ha)	€/t TM	5,6	4,5	3,8
Erlöse Hackschnitzel	€/t TM	60,0	60,0	60,0
Leistungen gesamt	€/t TM	104,6	95,5	109
Gewinn/Verlust	€/t TM	-13	±0	29,8
Gewinn/Verlust	€/ha × a	-104	±0	358

Die beiden Zitate machen deutlich, dass in der Praxis der Anbau von Kurzumtriebsplantagen nur unter optimalen Anbau- und Vermarktungsbedingungen wirtschaftlich sein wird. Der Anbau auf weniger produktiven Böden und erst recht auf Grenzertragsstandorten ist unter derzeitigen Produktionsbedingungen nicht wirtschaftlich. Hemmend auf die breite Einführung von Kurzumtriebsplantagen wirkt die langfristige Festlegung auf eine Produktionsrichtung bei gleichzeitig unklarer Marktentwicklung.

Die Wirtschaftlichkeit wird neben den Biomasseerträgen und Produktionskosten entscheidend von den Markterlösen bestimmt. Der Marktpreis für Hackschnitzel hat sich in den vergangenen 4 Jahren insgesamt positiv entwickelt. Eine Umfrage von C.A.R.M.E.N. e.V. bei Marktteilnehmern verdeutlicht eine Preissteigerung von knapp 50 €/t atro im Jahr 2003 auf knapp 70 €/t atro im letzten Quartal 2006 (Abb. 6–14). Gleichwohl liegen diesen mittleren Preisen große Spannweiten zugrunde; beispielsweise schwankten die Preise im 4. Quartal 2006 zwischen 40 und 120 €/t atro. Vor diesem Hintergrund wird die Wirtschaftlichkeit auch durch regional realisierbaren Preise bestimmt. Lokale und zeitlich begrenzte Preisabsenkungen könnten ggf. durch Sturmholz auftreten; dazu bedarf es noch einer ökonomischen Bewertung im Hinblick auf die Preisentwicklung. In Folge der jüngsten Schäden durch den Sturm Kyrill sind jedoch nach Einschätzung des Netzwerkes der Holzindustrie (FORDAQ) keine Preiseinbrüche zu erwarten, weil zum einen die Sturmholzmenge unterhalb der Jahreseinschlagmenge liegt und zum anderen die Holznachfrage ungebremst hoch ist (FORDAQ 2007).

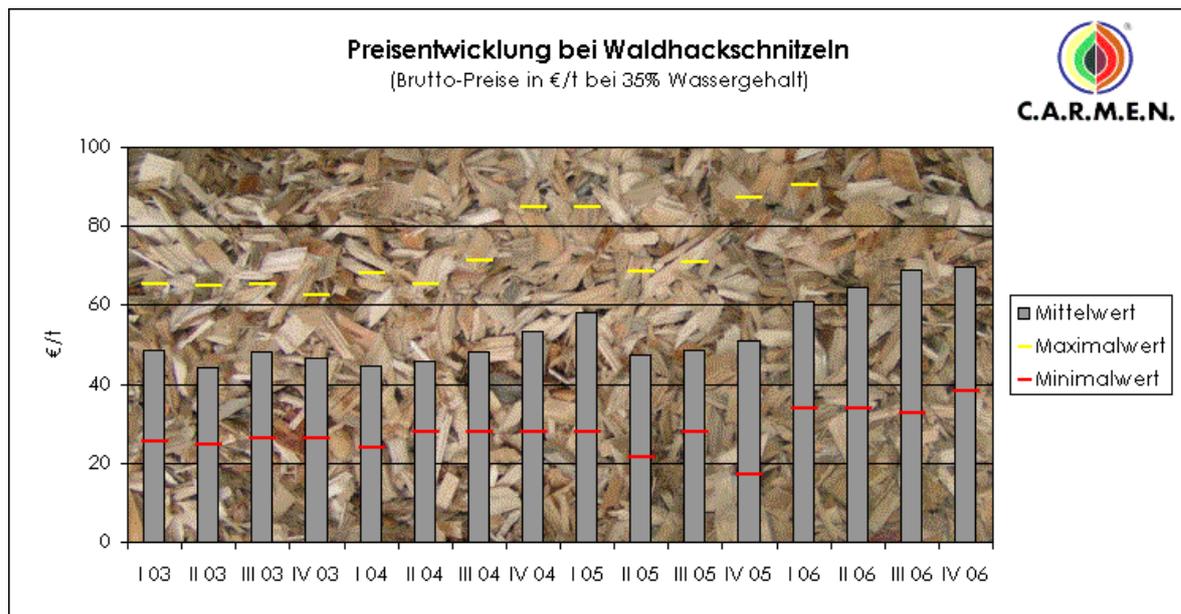


Abb. 6–14: Preisentwicklung bei Holzhackschnitzeln zwischen 2003 und 2006 (C.A.R.M.E.N. e.V. 2007)

Zusammenfassung Kurzumtriebsplantagen

Kurzumtriebsplantagen bieten aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes Chancen und Risiken. Bei einer standortangepassten Anlage von Kurzumtriebsplantagen überwiegen nach Einschätzung der Autoren die Chancen, das heißt, im Vergleich zu klassischen Ackerbaukulturen gehen von Kurzumtriebsplantagen positive Umweltwirkungen aus. Im Vordergrund der Forschung steht das Substitutionspotenzial von Energieholz im Vergleich zu fossilen Energieträgern wie Kohle, Gas und Öl. Die Reduzierung der CO₂-Emissionen dient den allgemeinen, globalen Zielen des Umweltschutzes. Darüber hinaus können auch positive Umweltwirkungen hinsichtlich der Arten- und Biotopschutzziele des Naturschutzes und des abiotischen Ressourcenschutzes generiert werden. Dazu sind die oben genannten Anforderungen an die Bestellung, Pflege und Ernte von Kurzumtriebsplantagen zu berücksichtigen.

Spezielle Ziele des Boden- und Gewässerschutzes zur Reduzierung des Oberflächenabflusses, der Bodenerosion und der Stoffeinträge in Gewässer können durch die Integration streifenartig angebauter Kurzumtriebsplantagen erreicht werden. Diese sind jedoch nur als Ergänzung der naturschutzfachlichen Ziele im Hinblick auf die Biotopausstattung von Landschaften anzusehen. Die naturschutzfachlich notwendigen Flächenanteile an Biotopen und Biotopverbundsysteme zur Sicherung und Wiederherstellung der sächsischen Faunen- und Florenvielfalt werden nicht durch Kurzumtriebsplantagen verringert.

Die ökologischen Vorteilswirkungen von Kurzumtriebsplantagen sind daran geknüpft, dass deren Bewirtschaftung die standörtlichen Bedingungen und Empfindlichkeiten berücksichtigen. Insbesondere in Ackerbauregionen mit geringen Anteilen an Landschaftsstrukturelementen können die Kurzumtriebsplantagen als Ersatz- und Teillebensräume für Fauna und Flora fungieren. In naturschutzfachlich gut ausgestatteten Regionen ist dagegen kein besonderer Beitrag zum Artenschutz zu erwarten. Die Umwandlung von Grenzertragsstandorten, von Grünland oder gar naturschutzfachlich schutzwürdigen Pflanzenbeständen in Kurzumtriebsplantagen ist abzulehnen.

Die wesentlichen Rahmenbedingungen zur Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen sind in Tab. 6–13 nochmals zusammengefasst.

Tab. 6–13: Einflussfaktoren, Spannweiten und Optima bei der Kultivierung von Kurzumtriebsplantagen (in Anlehnung an LONDO et al. 2004, verändert und ergänzt)

Einflussfaktor	Spannweite	Optimum	Literatur (Auswahl)
Klima	praktisch alle Klimabereiche	Zur Ertragsoptimierung sind wüchse Standorte mit langer Vegetationsperiode und ausreichendem Niederschlag (> 300 mm in der Veg-periode) zu bevorzugen.	MAIER & VETTER 2004
Bodentyp	praktisch alle Bodentypen	Zur Ertragsoptimierung sind Böden mit mittlerer bis hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit ohne andauernden Grund- oder Stauwassereinfluss zu bevorzugen.	MAIER & VETTER 2004 TRAUPMANN et al. 2004
Bodenwasserhaushalt	trocken bis nass	hohe bis sehr hohe nutzbare Feldkapazität unter Berücksichtigung der kapillaren Nachlieferung	BOECKLE 2006
Baumarten bzw. -klone	beschränkte Artenauswahl (vorrangig Pappeln und Weiden; nachrangig Erlen, Robinien, Birke, Eukalyptus etc.)	standortabhängig, jedoch resistente Sorten/Klone zu bevorzugen; zur Ertragsoptimierung werden zumeist Pappeln und Weiden empfohlen, wenngleich auch andere Baumarten (z. B. Erlen, Blauglockenbaum) hohe und sehr hohe Biomasseerträge realisieren können.	TELENIUS 1999, MAIER & VETTER 2004 BOECKLE 2006
Pflanzdichte	5.000 – 30.000 je ha	abhängig von Standort und Baumart/-klon	BOECKLE 2006b
Umtriebszeiten	1- bis 10-jähriger Umtrieb	abhängig von Standort, Baumart/-klon und Pflanzabstände; zur Ertragsoptimierung häufig 3- bis 6-jährige Umtriebszeiten optimal; zur Nährstoffanreicherung von Böden (Grundwasserschutz) scheinen kurze Umtriebszeiten optimal, wegen höherer Nährstoffabfuhr	SAGE 1998, MAIER & VETTER 2004 BOECKLE 2006b
Bodenbearbeitung	Grundbodenbearbeitung mit groben	In den Anbauversuchen wird derzeit gepflügt (Herbst oder Früh-	Telenius 1999 LfL 2002a

Einflussfaktor	Spannweite	Optimum	Literatur (Auswahl)
	Pflanzbeet	jahr) und zusätzlich eine Pflanzbeetbereitung mit Egge oder ähnlichem vorgenommen. Aus Gründen des Boden- und Gewässerschutzes sollten konservierende Bodenbearbeitungsverfahren mit Winterbegrünung und Mulchpflanzverfahren verwendet werden (keine Literaturquelle dazu bekannt).	Proe et al. 2002 Labrecque & Teodorescu 2005 BOECKLE 2006b
Düngung	keine bis intensive	abhängig von natürlicher Bodenfruchtbarkeit bzw. vom Nährstoffversorgungsgrad; z. T. werden Startdüngungen mit 60 - 120 kg N/ha und 20 - 50 kg P/ha für notwendig gehalten	LfL 2002a
Unkrautregulierung	keine bis intensive chemische bzw. mechanische Regulierung	Im 1. bis 2. Jahr in Abhängigkeit vom Unkrautdruck und vom gewählten Pflanzverband der Weiden; bei weiten Pflanzverbänden sind ggf. länger Regulierungsmaßnahmen bis ins 3. Jahr notwendig. Ansonsten werden bei den Versuchen häufig Herbizide im 1. und auch im 2. Jahr angewendet (im Voraufbau Glyphosate).	SAGE 1998 LFL 2002b PROE et al. 2002
Pflanzenschutz (Fungizide, Insektizide)	resistente und standortgerechte Arten/Klone, Anbaumischung	Zur Prävention sind resistente und standortgerechte Arten/Klone und Anbaumischung zu verwenden.	SAGE 1998 TELENIUS 1999 UNSELD 1999 PROE et al. 2002 LFL 2002a
Biomasserträge TM	große Spannweite von ca. 5 bis 25 t/(ha-a) in Abhängigkeit von Baumarten, -sorten bzw. -klonen, Anbauverfahren, Wasser- und Nährstoffversorgung	Pappeln: 7 -> 20 t/(ha-a) Weiden: 6 - 20 t/(ha-a) Erlen: 5 -> 20 t/(ha-a) Robinie 6 - 20 t/(ha-a) Birke: 2 t/(ha-a) (Einzelergebnis) Blauglockenbaum (Einzelergebnis) 13 t/(ha-a)	TELENIUS 1999 UNSELD 1999 PROE et al. 2002 LFL 2002a MAIER & VETTER 2004 SCHEIDER et al. 2004 HOFFMANN & WEIH 2005 JØRGENSEN et al. 2005 LABRECQUE & TEODORESCU 2005 BOELCKE 2006a u. b VETTER et al. 2006

6.3 Rückstände aus der energetischen Biomassenutzung

6.3.1 Verwertung von Biogasgülle und weiteren Gärrückständen aus der Biogasproduktion

Mit dem Wachstum des Biogassektors in den vergangenen Jahren erhöhte sich bundesweit von 1999 bis 2005 die Anzahl der Biogasanlagen von 850 auf 2700 (PROCHNOW et al. 2007). Für die Biogasproduktion geeignete Ausgangsstoffe können aus der land- und forstwirtschaftlichen Produktion stammen sowie aus Rückständen der Be- und Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte und sonstiger biogener Reststoffe (z. B. Komposte, Siedlungsabfälle usw.).

Gärsubstrate

Als Basismaterial für die Biogasproduktion wird in der Praxis häufig Gülle aus der landwirtschaftlichen Produktion eingesetzt. Zur Beschleunigung der Fermentationsprozesse und Erhöhung der Gasausbeute werden Ko-Substrate aus den anderen genannten Stoffgruppen und nachwachsende Rohstoffe in den Vergärungsanlagen zugeschlagen. Begünstigend auf den Vergärungsprozess wirken sich dabei hohe Rohprotein-, Rohfett- und Stärkegehalte der Ko-Substrate aus; hohe Cellulose- und Ligninanteile (z. B. bei der Verwendung von Stroh als Ko-Substrat) hemmen dagegen den Vergärungsprozess und verringern die Methanausbeute.

In einem Untersuchungsprogramm des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (HUBER & MAIR 1998) wurden 10 landwirtschaftliche Biogasanlagen auf ihre Gaserträge und emissionsrelevanten Gasanteile untersucht. Die Untersuchungen erfolgten zu 30 % an Anlagen mit ausschließlicher Güllevergärung sowie zu 70 % an Biogasanlagen mit unterschiedlichen Anteilen an zugesetzten Co-Fermenten. Bei einem Anteil der Co-Fermente (in diesem Fall Fettabscheiderflotate) von 62,5 % am gesamten Gärsubstrat ließ sich die Gasausbeute gegenüber der mit reiner Gülle betriebenen Anlage um etwa 400 % von 30 m³/m³ [m³ Gasausbeute pro m³ Gärsubstrat] auf 150 m³/m³ steigern (Abb. 6–15). Allerdings wirkte sich bei den Untersuchungen ein höherer Anteil von Co-Fermenten nachteilig auf die Emission von Ammoniak während des Vergärungsprozesses aus; mit der maximalen Gasausbeute zeigte sich auch eine Tendenz zu erhöhten Ammoniak-Emissionen. In der Tab. 6–14 sind die nutzbaren Biogaspotenziale aus Gülle und Mist für das Jahr 2000 nach den Untersuchungen des ÖKO-INSTITUT et al. (2004) angegeben.

Während im Jahr 2003 noch 48 % der Biogasanlagen in Thüringen ausschließlich mit Wirtschaftsdüngern betrieben wurden, ist eine deutliche Tendenz für den zunehmenden Einsatz von Ko-Substraten zu erkennen; es wird auch eine Monovergärung von Feldfrüchten in Aussicht gestellt (REINHOLD 2005).

Die unterschiedlichen Inhaltsstoffe sowohl der eingesetzten Wirtschaftsdünger als auch die der Ko-Substrate haben einen entscheidenden Einfluss auf die Fermentationsprozesse und die spätere Verwertbarkeit von Vergärungsrückständen.

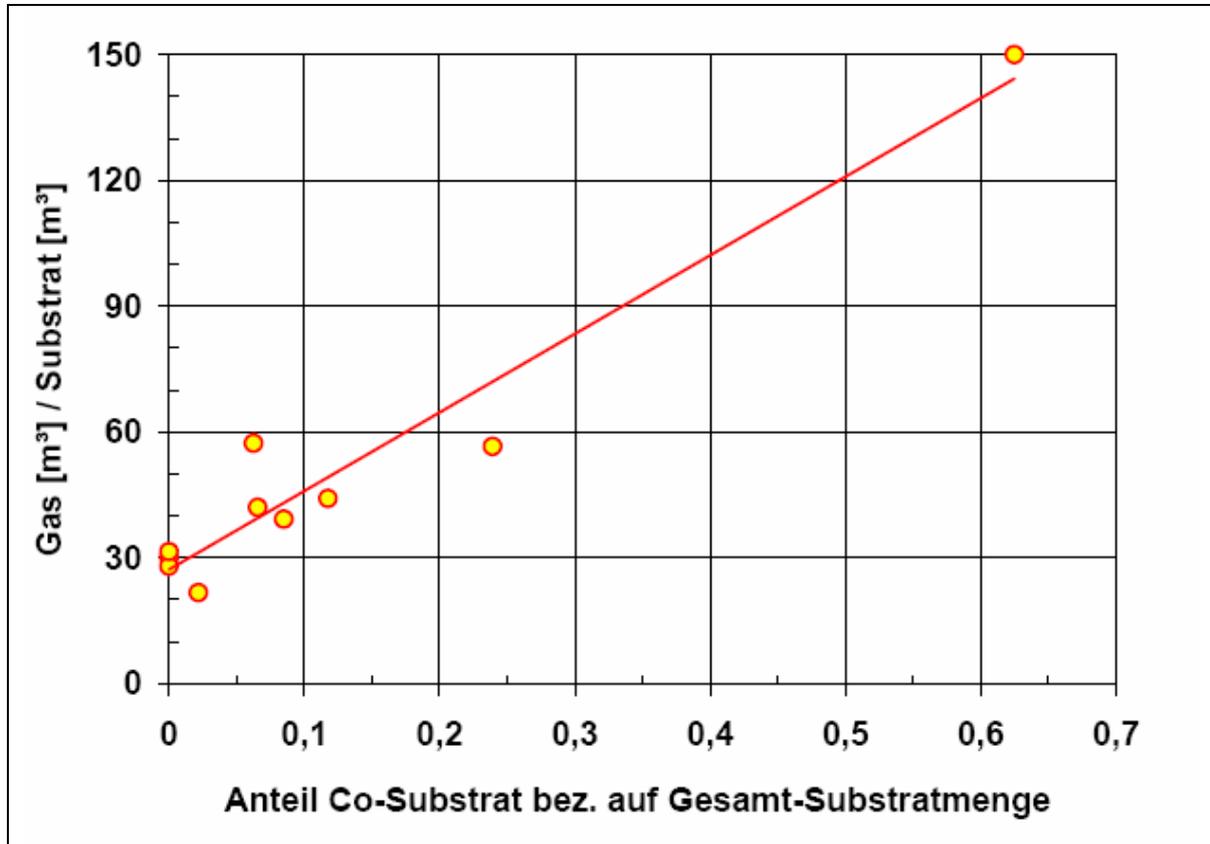


Abb. 6–15: Spezifische Biogasproduktion in Abhängigkeit vom Anteil des Ko-Substrates (HUBER & MAIR 1998)

Tab. 6–14: Biogaspotenzial aus Gülle und Mist für das Jahr 2000 (ÖKO-INSTITUT et al. 2004)

Mio m ³ Biogas	Gülle	Festmist	%
Rinder (> 50 Tiere)	2.059	814	70
Schweine (> 100 Tiere)	596	273	22
Geflügel (> 5000 Tiere)	-	334	8
Summe		4.075	100

Biogasgülle

Die Reststoffe der Güllevergärung können alternativ zur konventionellen Gölledüngung wieder in den landwirtschaftlichen Stoffkreislauf eingebracht und ihrerseits als Dünger verwertet werden. Der Trockensubstanzgehalt der Wirtschaftsdünger (Tab. 6–15) spielt nicht nur primär für den Fermentationsprozess eine wichtige Rolle, sondern trägt auch

entscheidend zu den Eigenschaften des vergorenen Substrates und den damit verbundenen Umwelteffekten bei einer Ausbringung als Dünger bei.

Tab. 6–15: Biogasrelevante Parameter von Wirtschaftsdüngern (REINHARD 2005)

Art	TS %	oTS % d. TS	Methanausbeute m ³ /kg oTS x d	Methangehalt ¹⁾ %
Rindergülle	6 - 12	80	200	55
Schweinegülle	2 - 8	80	240	60
Geflügeltrockenkot	45 - 65	75	325	65
Rindermist	20 - 30	80	250	55

¹⁾ ohne Luftzufuhr infolge der biologischen Entschwefelung

Die organische Substanz von Gülle wird beim Fermentationsprozess zu 30-60 % abgebaut, wobei das C/N-Verhältnis aufgrund der Methan- und CO₂-Produktion abnimmt. Die Abbauraten werden bei diesem Prozess von der tierischen Herkunft bestimmt und können bei Hühnergülle bis zu 85 % erreichen (ROSCHKE 2003). Mit gleichzeitig abnehmender Konzentration an organischer Säuren und kürzerer Einwirkzeit durch verbessertes Fließverhalten verringern sich Ätزشäden an Pflanzenoberflächen bei dem Einsatz der Biogasgülle als Kopfdünger (KALTSCHMITT et al. 2003).

Beim Abbau der organischen Substanz wird ein Teil des organisch gebundenen Stickstoffs in Form von Ammonium mineralisiert und führt zu einer verbesserten Düngewirkung der Gärsubstrate (FBB 2001, KALTSCHMITT et al. 2003). Der pflanzenverfügbare Ammoniumanteil am Gesamtstickstoff beträgt 47 % bei vergorener Rindergülle und erreicht Spitzenwerte von 85 % Ammoniumstickstoff bei vergorener Hühnergülle (ROSCHKE 2003).

Durch den Abbau der Trockensubstanz (TS) steigen auch die Nährstoffkonzentrationen des Gärückstandes relativ zu dem des Ausgangsmaterials an, da die Nährstoffmenge des Gärsubstrats nahezu unverändert bleibt; das gleiche gilt für die Schwermetallkonzentrationen. In Tab. 6–16 sind die Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen von unvergorener und vergorener Rindergülle gegenübergestellt. Gut zu erkennen ist die Abnahme der TS und der oTS nach der Güllevergärung bei gleichzeitiger Konzentration der mineralischen Nährstoffe. Eine kongruente Zunahme der Schwermetallkonzentrationen in den Gärresten als Folge des Abbaus an Trockensubstanz ist in den Ergebnissen dieser Untersuchung nicht erkennbar. Diese Tatsache lässt sich sehr wahrscheinlich auf die problematische Analyse von Material mit einem hohem Anteil an organischen Bestandteilen zurückführen; auch JÄKEL et al. (1999) kamen bei der wiederholten Analyse des gleichen Probenmaterials (Gülle) zu unterschiedlichen Analyseergebnissen.

**Tab. 6–16: Trockensubstanz-, Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen in unbehandel-
 ter Rindergülle sowie in Gärrückständen aus Rindergülle und Bioabfällen
 (ROSCHKE 2003, eigene Darstellung)**

TS- und Nährstoff- konzentrationen (% der TS)	Rindergülle	Gärrückstand (Rindergülle)	Gärrückstand (Bioabfälle)
TS	6,6	4,0	2,9
oTS (% der TS)	80	65	60
N _{ges}	6,2	8,6	11,1
P ₂ O ₅	2,7	4,1	2,0
K ₂ O	4,3	7,3	5,2
MgO	0,9	0,4	1,6
Schwermetall- konzentrationen (mg/kg TS)	Rindergülle	Gärrückstand (Rindergülle)	Gärrückstand (Bioabfälle)
Pb	7	13	63
Cd	0,25	0,25	1,1
Cr	7	40	25
Cu	440	370	288
Ni	7	32	24
Hg	0,3	0,7	0,4
Zn	530	830	627

Ammoniak-Emissionen

Der Verlust an Trockensubstanz während der Vergärung wirkt sich prinzipiell reduzierend auf die Ammoniakemissionen nach der Ausbringung der Biogasgülle als Dünger aus (s. Tab. 6–16; vgl. TS-Gehalte). Auf Grund der herabgesetzten Viskosität gegenüber dem Wirtschaftsdünger erhöht sich das Infiltrationsvermögen in den Boden; die ausschließlich von der Flüssigmistoberfläche abgegebenen NH₃-Verluste werden dadurch verringert (BRASCHKAT 1996). Demgegenüber steigt die pflanzenverfügbare Ammonium-N-Konzentration im vergorenen Substrat um 5-20 % an und erhöht das Risiko von Stickstoffverlusten über Ammoniakausgasungen nach der Ausbringung; sie können bis zu 70 % des Ammoniumstickstoffs ausmachen (JÄKEL et al. 1999, FBB 2001). Begünstigend für eine Umwandlung von Ammonium in Ammoniak wirken sich dabei auch die erhöhten pH-Werte als Folge der CO₂-Freisetzung im Verlauf des Vergärungsprozess aus. Bei einem pH-Wert von 7,0 liegt der anorganische Stickstoffanteil nahezu vollständig als Ammonium-N vor, während bei einem pH-Wert von 8,0 der Ammoniakanteil etwa 20 % beträgt (IFEU et al. 2006).

Im direkten Vergleich zu den Wirtschaftsdüngern ergeben sich jedoch bei einer längerfristigen Betrachtung keine relevanten Nachteile. Nach KALTSCHMITT et al. (2003) sind die Ammoniakemissionen in den ersten 20 Stunden nach der Ausbringung bei der Biogasgülle höher als bei unvergorener Gülle, über einen längeren Zeitraum jedoch geringer. Der höhere TS-Gehalt der unvergorenen Gülle überlagert zudem bei dessen Ausbringung die Effekte der Ammoniumkonzentration und des pH-Wertes (BRASCHKAT 1996).

Weitere steuernde Faktoren bei der Ammoniakfreisetzung sind meteorologische Parameter; insbesondere zunehmende Sonneneinstrahlung (höhere Ammoniakpartialdrücke führen zur beschleunigten Diffusion), höhere Windgeschwindigkeiten (rascher Luftaustausch und als Folge höheres Konzentrationsgefälle an der Grenzfläche Gülle-Luft) und geringe Niederschläge nach der Ausbringung (fehlende Einwaschung in den Boden) begünstigen die Emission von Ammoniak. In der Düngepraxis können bei Kenntnis der meteorologischen Einflussfaktoren geeignete Maßnahmen wie z. B. Ausbringungszeitpunkt, eingesetzte Menge und rasche Einarbeitung in den Boden zur Reduzierung der Ammoniakemissionen beitragen.

Nitratauswaschung

Eine höhere Ammoniumkonzentration und die damit verbesserte Sofortwirkung des Stickstoffs bei vergorenen Gölledüngern kann in sandreichen Böden zu erhöhten Auswaschungsverlusten führen (ROSCHKE 2003). Nach KALTSCHMITT et al. (2003) sind bei angepasster Ausbringung jedoch keine nachteiligen Nitratauswaschungen bei der Verwendung von Biogasdüngern gegenüber Wirtschaftsdüngern zu erwarten. Die Wirksamkeit des Stickstoffs ist neben dem Anteil an Ammonium-N auch stark vom Anwendungszeitpunkt, der Witterung, der Bodenart und der anzubauenden Fruchtart abhängig.

Weitere klimarelevante Gase

In Praxisuntersuchungen wurden Minderungseffekte bei der Emission von Lachgas (N_2O) um 36-71 % beim Einsatz von vergorener Gülle gegenüber konventioneller Gülle ermittelt (KALTSCHMITT et al. 2003). Methan-Emissionen sind bei vergorener Gülle sowohl während der Lagerung in offenen Behältern in Abhängigkeit von der Dicke der Schwimmschicht als auch nach der Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen deutlich geringer als bei un- vergorener Gülle.

Schwermetalle

Beim anaeroben Abbau organischer Substanz werden Schwermetalle in dieser relativ angereichert, da sie selbst keinem biologischen Abbau unterliegen. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass bei landwirtschaftlicher Biomasse, die aus dem Anbau auf unbelasteten Böden⁸ stammt, keine über das natürliche Maß hinausgehende Schwermetallbelastungen auftritt (FBB 2001), mithin bei der Verwertung der Gärrückstände keine Schadstoffanreicherung im Boden stattfindet, sondern lediglich der (Schad-)Stoffkreislauf geschlossen wird. Allerdings kann der Einsatz von Co-Fermenten zu einer erhöhten

⁸ Im Bereich der allgemeinen Hintergrundbelastung

Schadstoffbelastung der Gärsubstrate führen (JÄKEL et al. 1999), wenn z. B. Bioabfälle durch Fehlwürfe verunreinigt wurden oder wenn die Co-Fermente aus dem Anbau auf schadstoffbelasteten Böden stammen. Der Einsatz von Gärrückständen als Düngemittel erfolgt nach abfallrechtlichen und düngemittelrechtlichen Bestimmungen wie der BioAbfV oder DÜMV 2003 und den darin festgelegten Grenzwerten für Nährstoff- und Schadstoffkonzentrationen.

Landschaftspflegeaufwuchs

Der Trend zu wachsenden Anteilen an extensiv genutzten Grünlandflächen lässt eine Verwertung von Landschaftspflegeaufwüchsen zur Vergärung in Biogasanlagen in Frage kommen. Die Ergebnisse einer Untersuchung (2001 bis 2004) zur Vergärung von Landschaftspflegeaufwüchsen zeigen eine grundsätzliche Eignung für die Biomethanisierung auf (PROCHNOW et al. 2007). Aus ökonomischer Sicht ist die Nutzung von Landschaftspflegeaufwüchsen jedoch stark begrenzt, da aufgrund der substratspezifischen Eigenschaften mit geringen Biogas- und Methanerträgen zu rechnen ist. Im Vergleich zu den flächenspezifischen Methanerträgen anderer pflanzlicher Substrate sind die von Landschaftspflegeaufwüchsen relativ gering (Tab. 6–17).

Tab. 6–17: Flächenspezifische Methanerträge pflanzlicher Substrate (PROCHNOW et al. 2007)

Pflanzen	Anmerkungen	Methanertrag m ³ /(ha·a)	Quelle
Landschaftspflegeaufwuchs	Maximaler Ertrag für den Monat September	1.604	PROCHNOW et al. (2007)
Mais	Unterschiedliche Sorten und Erntetermine, Silage	4.400-10.000	OECHSNER et al. (2003)
	Unterschiedliche Sorten und Erntetermine, frisch und Silage	3.743-8.529	AMON et al. (2003)
	Berechnet für Erträge in Thüringen	5.780	VETTER (2004)
Weizen	Berechnet für Erträge in Thüringen	2.960	VETTER (2004)
Luzerne		3.965	
Klee		2.530	
Weidelgras		4.060	
Intensiv-Klee gras-Futtermischung		743-5.180	AMON et al. (2003)

Erschwerend wirken sich auch der saisonale Anfall und die nur punktuelle Verfügbarkeit von Grünschnitt aus der Landschaftspflege aus; im Rahmen einer Ökobilanzierung stellen diese Faktoren eine wirtschaftliche Monovergärung sicherlich in Frage. Eine potenzielle Verwertungsmöglichkeit von Landschaftspflegeaufwüchsen stellt neben der konventionellen Kompostierung die Co-Vergärung bei der Faulgaserzeugung aus Klärschlämmen dar. Generell ist bei einer Co-Vergärung biogener Abfällen in Faulbehältern von Kläranlagen von Vorteil, dass die Anlagentechnik zur anaeroben Bioabfallmitbehandlung und die Infrastruktur bereits vorhanden sind und eine dezentrale Verwertung von Bioabfällen möglich

ist (SCHMELZ 2001). Zudem kann bei dieser kostengünstigen Behandlung von Bioabfällen die Faulgasproduktion je nach zugesetztem Co-Ferment und den Prozessbedingungen gegenüber dem der sonstigen Monovergärung erheblich gesteigert werden (MUNLV 2001, LOLL 2001). Die Untersuchungen von AUSTERMANN-HAUN et al. (2001) geben einen Überblick zu den Erfahrungen von Kläranlagenbetreibern in Deutschland bei der Co-Fermentation in Kläranlagen. Derzeit werden in einigen Klärwerken praktische Erfahrungen mit der Beimischung von Co-Fermenten gewonnen (z. B. Kläranlage Radeberg). Machbarkeitsstudien sind z. B. für Anlagen in Frankfurt a.M., Neubrandenburg und Stralsund in Bearbeitung.

Co-Fermente

Prinzipiell kommt bei der Vergärung von Gülle eine Vielzahl von Kulturpflanzen als Co-Ferment in Frage; vorausgesetzt werden hohe Trockenmasseerträge pro Hektar und geringe Lignin- und Celluloseanteile. Die geringeren qualitativen Anforderungen an den Energiepflanzenanbau zur Biogasproduktion gegenüber der konventionellen Landwirtschaft zum Futter- und Nahrungsmittelanbau wirken sich generell durch den reduzierten Einsatz von PSM und Mineraldüngern positiv auf die Umwelt aus und lassen Synergieeffekte für den Naturschutz erwarten. Nach RODE et al. (2005) ist die derzeitige Verwendung von Nawaros für die Biogasproduktion neben Futterrüben und Grassilage hauptsächlich auf Silomais beschränkt. Weiterhin kommen Rasenschnitt, Fettabsciederfette, Speiseabfälle und Bioabfall zum Einsatz.

Derzeit werden in 90 % der landwirtschaftlichen Biogasanlagen Co-Fermente eingesetzt (IFEU et al. 2006). Die Höhe der Nährstoff- und Schadstoffkonzentrationen in den Gärresten wird im Wesentlichen durch die Stoffkonzentrationen der verwendeten Ausgangssubstrate bestimmt. In Tab. 6–18 sind die durchschnittlichen Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen von **unvergoaren** Wirtschaftsdüngern und Nachwachsenden Rohstoffen gegenübergestellt.

Tab. 6–18: Stoffeigenschaften von unvergoaren Substraten aus der Landwirtschaft (IFEU 2006, eigene Darstellung)

	Rinder- gülle	Schweine- gülle	Hühner- mist	Mais- silage	Zucker- rübe	Gras- silage	Roggen- GPS ¹⁾
TS [%]	8-11	ca. 7	ca. 32	20-35	23	25-50	30-35
oTS [% TS]	75-82	75-86	63-80	85-95	90-95	70-95	92-98
Nährstoffgehalte [% TS]							
N	2,6-6,7	6-18	5,4	1,1-2	2,6	3,5-6,9	4,0
NH ₄	1-4	3-17	0,39	0,15-0,3	0,2	6,9-19,8	0,57
P	0,5-3,3	2-10	-	0,2-0,3	0,4	0,4-0,8 ²⁾	0,71
Schwermetallgehalte [mg/kg TS]							
Cd	0,3	0,4	0,25	0,2	0,2 ³⁾	0,2	-
Cr	7,3	9,4	4,4	0,5	<1	1,4	-
Cu	44,5	309	52,6	4,5-5	10	8,1-9,5	-

Hg	0,06	0,02	0,02	-	-	-	-
Ni	5,9	10,3	8,1	5	5	2,1	-
Pb	7,7	6,2	7,2	2	0,5	3,9	-
Zn	270	858	336	35-56	28	38-53	-

¹⁾ Roggen-Ganzpflanzensilage

²⁾ Angabe als Oxid (P₂O₅)

³⁾ Schwermetallkonzentrationen von Rübenblättern (Gesamtkonzentrationen im Rübenkörper sind rel. gering)

6.3.2 Ascheverwertung

Bei einer zukünftig verstärkten Nutzung von Biomasse als Festbrennstoff gewinnt die Verwertung der aus der Verbrennung anfallenden Pflanzenaschen im Rahmen einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung zunehmend an Bedeutung. Von den industriellen Einsatzmöglichkeiten oder der Verwertung als Straßenbaumaterial wird im Folgenden die Verwendung als Düngemittel in der Land- und Forstwirtschaft und die damit verbundenen ökologischen Chancen und Risiken betrachtet.

Die Ausbringung von Pflanzenasche kann im Sinne eines geschlossenen mineralischen Stoffkreislaufes auf Flächen der Biomasseproduktion zur Kompensationsdüngung nach der Entnahme/Ernte von Biomasse und den damit verbundenen Stoffentzügen eingesetzt werden und den Stoffhaushalt ausgleichen oder auch zu einer Bodenverbesserung beitragen. Ein weiterer positiver Effekt der Aschedüngung ist die Tatsache, dass aufgrund des hohen Gehaltes an basischen Kationen in der Asche einer Bodenversauerung entgegengewirkt werden kann.

Die durchschnittlichen Aschegehalte von Holz einschließlich Rinde liegen bei 0,5 %, die von Getreidestroh zwischen 4,1-4,4 %, und die von Getreidekörnern zwischen 2,0-2,7 % (KALTSCHMITT et al. 2003). Der Aschegehalt von naturbelassenem Fichtenholz kann zwischen 2,2-2,7 % schwanken, bei Pappeln und Weiden liegt der Gehalt zwischen 0,6-0,65 % bzw. (LUBW 2001). Nach DIN-51731 sollten Brennstoffe für die Verwendung als Pellets oder Briquets einen Aschegehalt von 1,5 % und einen Wassergehalt von 12 % nicht überschreiten (FNR 2005). Demnach wären die kraut- und grasartigen Energiepflanzen weniger gut für die Herstellung von Presslingen geeignet (vgl. Tab. 6–23).

Generell sind nur Grobaschen zur Verwertung als Düngemittel zugelassen; die feineren Aschefraktionen – wie die so genannten Zyklonaschen oder Feinstflugaschen – bilden im Verbrennungsprozess von biogenen Festbrennstoffen Kondensationskeime für Schwermetalle, die sich in den Feuerungsanlagen mit sinkender Abscheidetemperatur bevorzugt an den feinen Partikeln abscheiden (FNR 2005). Sie müssen aufgrund der sehr hohen Schadstoffgehalte deponiert oder anderweitig verwendet werden. In Tab. 6–19 sind exemplarisch die Schwermetallgehalte der verschiedenen Aschefraktionen aus der Verfeuerung von Fichten aufgelistet. Der Konzentrationsanstieg in den feineren Aschefraktionen ist vor allem für Pb, Zn und Cu deutlich.

Tab. 6–19: Schwermetallgehalte der Aschefractionen aus Verfeuerungen von Rinde, Hackgut und Spänen aus Fichtenholz (OBERNBERGER 2001, in: FNR 2005)

mg / kg TS	As	Cd	Co*	Cr _{ges} *	Cu	Hg	Mo	Ni*	Pb	V	Zn
Grobasche	4	1	21	326	165	0,0	3	66	14	43	433
Zyklonflugasche	7	22	19	158	143	0,0	4	60	58	41	1870
Feinstflugasche	37	81	18	231	389	1,5	13	63	1.053	24	12.981

* Aufgrund des höheren Siedepunktes verdampfen diese Elemente kaum beim Verbrennungsprozess und verbleiben zu großen Teilen in der Grobasche.

Die Schwermetallgehalte in den Verbrennungsaschen von Getreidestroh und Getreide-Ganzpflanzen liegen analog zu den Gehalten in der frischen Biomasse deutlich unter denen für holzartige Biomasse (Tab. 6–20). Entsprechend der hohen Mobilität von Zn und Cu bei niedrigen pH-Werten liegen die maximalen Gehalte in holzartiger Biomasse vor; aufgrund der erhöhten Schwermetalllöslichkeiten im sauren Milieu von Waldböden kommt es bevorzugt zur Akkumulation in holzartiger Biomasse.

Tab. 6–20: Durchschnittliche Nährstoff- und Schwermetallgehalte in den Grobaschefractionen verschiedener Energiepflanzen (FNR 2005) und Bandbreiten der Elementgehalte in Grobaschen aus naturbelassenem Holz (LUBW 2001)

	Rinde, Hackgut und Späne (Fichte)	Stroh	Getreide-Ganzpflanzen	naturbelassenes Holz ^{a)}
Nährstoffgehalte	(Gew.-% der TM)			(Gew.-%)
CaO	41,7	7,8	7,0	8,44 - 41,70
K ₂ O	6,4	14,3	14,0	2,86 - 10,90
MgO	6	4,3	4,2	1,00 - 3,50
Na ₂ O	0,7	0,4	0,5	0,06 - 0,97
P ₂ O ₅	2,6	2,2	9,6	0,67 - 3,52
pH-Wert	12,7 -12,8	11,4	10,8	
Schwermetallgehalte	(mg/kg TS)			(ppm)
As	4,1	< 5,0	< 5,0	<1 - 35
Cd	1,2	0,2	0,2	<1 - 20
Co	21,0	2,0	3,1	6 - 27
Cr	325,5	13,5	20,5	<10 - 592
Cu	164,6	17,0	47,0	99 - 498
Hg	0,01	< 0,1	< 0,1	-
Mo	2,8	< 10,0	< 10,0	-
Ni	66,0	4,0	10,5	20 - 250
Pb	13,6	5,1	4,5	9 - 450
V	43,0	< 10,0	20,5	-
Zn	432,5	75,0	150,0	54 - 1900

^{a)} Naturbelassenes Holz umfasst alle Arten von Waldrestholz inkl. Rinde, Sägeresth Holz und Landschaftspflegeholz.

^{b)} Angaben in Elementgehalten.

Tab. 6–21: Grenzwerte für bestimmte Elemente in Düngemitteln nach der Düngemittelverordnung und Grenzwerte für die Ausbringung von Aschen nach der Klärschlammverordnung und der Bioabfallverordnung (FNR 2005)

	As	Cd	Cr Cr ^{VI}	Cu	Hg	Ni	Pb	Th	Zn	P ₂ O ₅
DÜMV 2003										
in mg / kg TS										
Kennzeichnung ab	20	1	300 1,5 ^{b)}	-	0,5	40	125	0,5	-	20
Grenzwert ^{a)}	40	1,5	- 2 ^{b)}	70	1	80	150	1	1.000	-
AbfKlärV 2003										
Klärschlamm	-	10 (5)	900	800	8	200	900	-	2.500 (2.000)	-
Boden	-	1,5 (1)	100	60	1	50	100	-	200 (150)	-
BioAbfV 2003										
Bioabfall ^{c)}	-	1,5	100	100	1	50	150	-	400	-
Bioabfall ^{d)}	-	1	70	70	0,7	35	100	-	300	-
Boden: Ton	-	1,5	100	60	1	70	100	-	200	-
Boden: Lehm	-	1	60	40	0,5	50	70	-	150	-
Boden: Sand	-	0,4	30	20	0,1	15	40	-	60	-

a) Feuerraumaschen aus der Verbrennung von naturbelassenem Rohholz sind von den Grenzwerten ausgenommen, wenn durch deutliche Kennzeichnung auf ihre ausschließliche Rückführung auf forstliche Standorte hingewiesen wird.

b) gilt nur für Düngemittel die aus Verbrennungsprozessen stammen.

c) Ausbringungsmenge < 20 t/ha innerhalb von drei Jahren.

d) Ausbringungsmenge < 30 t/ha innerhalb von drei Jahren.

Im Rahmen eines baden-württembergischen Verbundprojektes wurde auf zwei Versuchsfeldern im Conventwald und in Ochsenhausen die Meliorationswirkung sowie die ökologischen Risikopotenziale der Ausbringung von Holzrasche auf den Waldboden untersucht (SCHÄFFER 2002). Im Conventwald wurde die Wirkung von 3 unterschiedlichen Düngerdosierungen untersucht; die ausgebrachten Aschen hatten gegenüber typischen Rostaschen erhöhte Gehalte an Cd (5,9 mg/kg), Cu (145,6 mg/kg) und Pb (51,9 mg/kg). Die Ergebnisse zeigten eine Reihe positiver Effekte der Ascheausbringung auf den Waldboden. So stieg der pH-Wert der Bodenlösungen unter der Auflage in allen durchgeführten Untersuchungen nach der Applikationen signifikant an; teilweise jedoch auch mit einer Verzögerung von zwei Jahren. Mit steigendem pH-Wert verbesserte sich die Nährstoffversorgung der Böden vor allem mit Calcium, Kalium und Magnesium.

Vergleichbare Resultate brachte auch die Untersuchung in einem schweizerischen Fichtenbestand, bei der die Wirkung der Holzrascheausbringung (Ca, K, Mg, P) auf den Bodenchemismus, das Baumwachstum und die Ernährung von Waldbäumen untersucht wurde. In dem drei Jahre dauernden Monitoringprogramm wurden die Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen in der Bodenlösung sowie die Feinwurzeln und das Nadelwerk der Fichten untersucht. Die Ergebnisse wurden mit denen einer Flüssigdüngerapplikation (N, Ca, K, Mg, P) und einer Bachwasserbehandlung (pH≈8,5), die zur Kontrolle der Flüssigdüngung durchgeführt wurde, verglichen (ZIMMERMANN et al. 2002). Bei der Appli-

kation von Holzasche und der Flüssigdüngung stiegen vor allem die Calciumkonzentrationen in den Feinwurzeln (Abb. 6–16); ein signifikanter Biomassezuwachs in den Feinwurzeln konnte ausschließlich bei der Holzaschedüngung festgestellt werden. Ein signifikanter Anstieg des N-Gehaltes in den Wurzeln konnte nicht festgestellt werden. Die abnehmenden Mangankonzentrationen in den Feinwurzeln nach der Applikation von Holzaschen und Flüssigdünger sind auf die Immobilisierung von Mangan aufgrund der erhöhten pH-Werte zurückzuführen; für die Konzentrationen an Zn, Cd und Cu in den Feinwurzeln konnte keine signifikante Beeinflussung oder Änderung durch die Applikation verschiedener Dünger – vor allem die Holzaschen hatten erhöhte Gehalte an Zn und Cu – nachgewiesen werden.

Der Anstieg des pH-Wertes der Bodenlösung kann grundsätzlich nitrifizierende Mikroorganismen begünstigen und vorübergehend zu erhöhten Nitratauswaschungen führen (SCHÄFFER 2002). Bei den Untersuchungen im Conventwald wurden einzelne Konzentrationsspitzen erreicht, die über dem für Trinkwasser geltenden Grenzwert von 50 mg/l lagen; allerdings wurden solche NO_3 -Konzentrationen ausschließlich bei den maximalen Applikationsmengen von 18 t/ha erreicht. Bei allen Untersuchungen stiegen mit zunehmendem pH-Wert die C_{org} -Konzentrationen im Sickerwasser; damit verbunden kam es im Boden zu einer Mobilisierung und Verlagerung sowohl von in höheren Konzentrationen pflanzentoxisch wirkenden Aluminium als auch von organisch gebundenen Schwermetallen. Selbst einige Jahre nach der Applikation konnten in den Bodenlösungen des Unterbodens sehr hohe Al-Konzentrationen nachgewiesen werden (SCHÄFFER 2002). Ein weiterer Eintragungsweg für Schwermetalle ist die direkte Lösung aus der Holzasche; die mit abnehmender Korngröße vergrößerte Oberfläche der Aschepartikel führt zur potenziell erhöhten Herauslösung von Inhaltsstoffen, andererseits wirkt die gleichzeitige Erhöhung des pH-Wertes bei der Ascheausbringung durch Fixierung der Schwermetalle einer Mobilisierung entgegen.

Denkbar wäre in Zukunft auch eine landbauliche Verwertung von anfallenden Holzaschen. Voraussetzung für den Einsatz als Düngemittel in der Landwirtschaft ist die Unbedenklichkeit für den Wirkungspfad Boden – Pflanze und eine ausreichende Nährstoff- und Kalkungswirkung. Nach den Untersuchungen von UCKERT (2004) zeigen vor allem Holzaschen aus Knickgehölzen ein sehr hohes Nährstoff-/Schadstoffverhältnis. In Feldversuchen auf sandigen und lehmigen Substraten in Schleswig-Holstein und Niedersachsen wurde die Nährstoffwirkung und das Belastungspotenzial durch den Einsatz von Knickholzaschen für verschiedene Kulturen untersucht. Es zeigte sich gegenüber den durchgeführten Gefäßversuchen ein Rückgang der Nährstoff- und Ertragswirkung; dennoch lag die Ertragsleistung für einige Kulturpflanzen wie z. B. Triticale und Hafer deutlich über einer Behandlung mit Handelsdüngern. Dabei konnte keine Veränderung der Schwermetallbelastungen für Boden und Pflanzen festgestellt werden. Lediglich in den Gefäßversuchen konnte ein leichter Anstieg der Chrom-Gehalte festgestellt werden; allerdings auch nur auf sandigen Böden mit geringer Sorptionsfähigkeit. Aufgrund der geringen Schwer-

metallgehalte und guter Nährstoffwirkung kann die Düngung mit Knickholzaschen unter extensiven Bedingungen im ökologischen Landbau zu Ertragssteigerungen bis zu 10 % führen (UCKERT 2004); der Einsatz dieser speziellen Holzaschen ist zur Gründüngung und der Erhaltenskalkung in der Landwirtschaft gut geeignet.

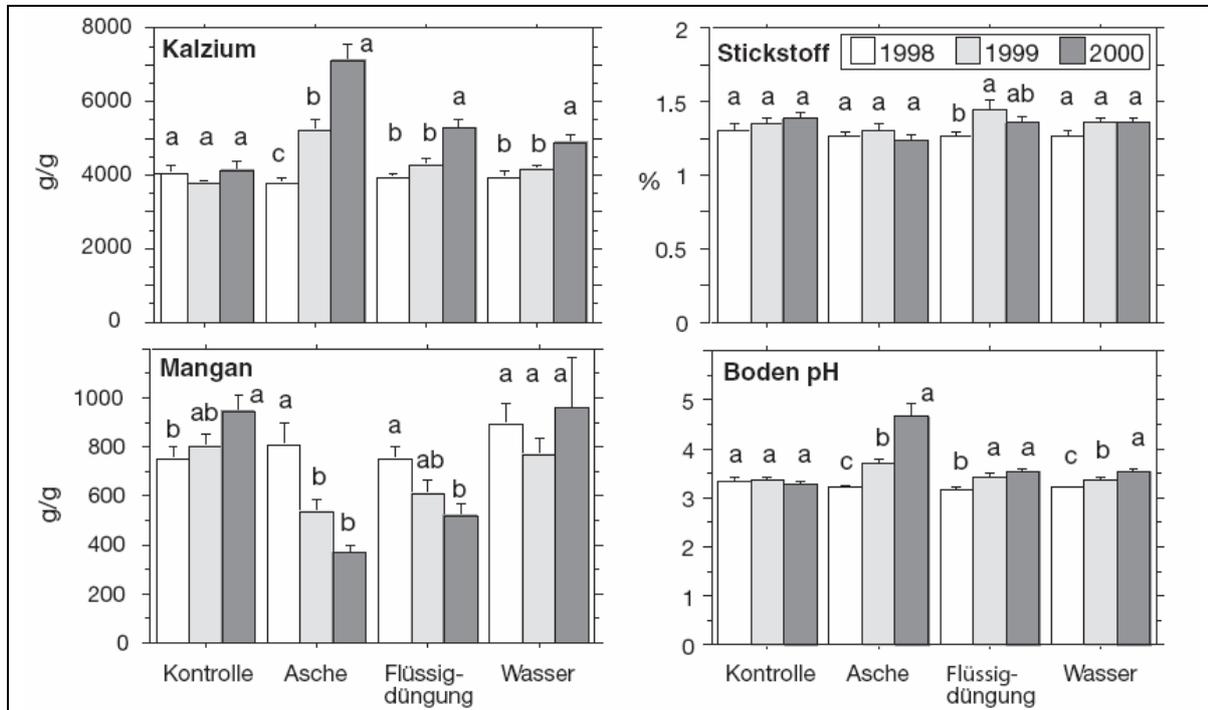


Abb. 6–16: Veränderung der Elementkonzentrationen in Fichtenfeinwurzeln und des Boden-pH-Wertes nach der Applikation verschiedener Dünger. Unterschiedliche Buchstaben pro Behandlung zeigen signifikante Unterschiede an ($p \leq 0,05$) (ZIMMERMANN et al. 2002)

Für die Löslichkeit der Holzasche und den damit verbundenen Einfluss auf den Bodenchemismus sind die Niederschlagsverhältnisse vor und nach der Ausbringung sowie die Aschekonsistenz und das Eluierungsverhalten (Bestimmung nach DIN 38414), das heißt der Grad der Auswaschung von Inhaltsstoffen, ausschlaggebend. In Tab. 6–22 sind die charakteristischen Eluatparameter der Rostaschen unbehandelter Hölzer denen von Stroh gegenübergestellt.

Der Lösung von leicht eluierbarem Chrom (VI) ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken, da Chrom kaum beim Verbrennungsprozess verdampft und sich dabei bereits in der Grobaschefraktion mit bis zu 53,8% anreichert (OBERNBERGER 1997, in FNR 2005). Die Elemente Nickel, Vanadium und Kobalt verbleiben ebenfalls zu über 50% in den Grobaschefraktionen, während Schwermetalle mit niedrigen Siedetemperaturen wie Blei (9,8%), Cadmium (3,4%) oder Zink (11,1%) bevorzugt verdampfen und im weiteren Abgasweg mit abnehmenden Temperaturen in den Feinaschfraktionen wieder kondensieren. Auch die Eluatparameter für Chrom (VI), das bei $pH > 6$ als Chromat in der Bodenlösung vorliegt, liegen häufig über 0,1 mg/l (LUBW 2001) und erreichen Spitzenwerte bis ca.

2 mg/l. Der häufig hohe Glühverlust von Pflanzenaschen auf Grund unvollständig verbrannter organischer Bestandteile stellt ein Problem bei der Entsorgung der Aschen nach AbfAbIV dar.

Tab. 6–22: Eluatparameter von Rostaschen verschiedener biogener Brennstoffe (SCHULZE 2003)

Parameter	Einheit	Rostaschen unbehandelte Hölzer	Rostaschen Stroh
Glühverlust	%	2,4 – 66	0 – 18,9
pH-Wert		10 – 13,5	10,5 – 13,3
Leitfähigkeit	mS/cm	2,3 – > 20	4,8 – > 20
As	mg/l	n.n.	n.n. – 0,08
Cd	mg/l	n.n. – 0,01	n.n.
Cr ⁽⁶⁺⁾	mg/l	n.n. – 2,08	n.n. – 0,16
Cu	mg/l	n.n. – 0,01	n.n. – 0,02
Ni	mg/l	n.n. – 0,01	n.n. – 0,01
Pb	mg/l	n.n. – 0,03	n.n.
Zn	mg/l	n.n. – 0,04	n.n. – 0,12

Der sehr variable Gehalt an Inhaltsstoffen in Pflanzenaschen und mögliche Umweltwirkungen einer Ausbringung werden von vielen Faktoren wie den Standortbedingungen der Anbaufläche, der Umtriebszeit, dem Abbrandverhalten, dem Eluierungsverhalten usw. bestimmt. Daher bedarf die Verwertbarkeit von Pflanzenaschen als Dünger im Einzelfall einer sorgfältigen Prüfung. Bei der Ausbringung von Holzaschen empfiehlt sich die Verwendung möglichst schadstoffarmer und verfestigter (pelletierter) Aschen, um einer durch rasche Schadstofflösung schädlichen Veränderung des Bodenchemismus entgegenzuwirken (ZIMMERMANN et al. 2002).

Die Verwertung bzw. die Beseitigung von Holzaschen wird durch eine Vielzahl gesetzlicher Regelwerke reguliert. In erster Linie wird immer eine Verwertung von Aschen und Filterstäuben nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrWG/AbfG) angestrebt. Die Verwertung von Aschen als Dünger in der Land- und Forstwirtschaft regeln die DÜMV (Düngemittelverordnung), die BioAbfV sowie die AbfKlärV (Tab. 6–21). Für die AbfKlärV ist mit der geplanten Novellierung in 2007 eine den Belangen des Bodenschutzes, der Kreislaufwirtschaft und der Ressourcenschonung entsprechende Neuregelung zur Absenkung der gültigen Grenzwerte vorgesehen (BMU 2006 b). In welchem Umfang bodenschutzfachliche Anforderungen berücksichtigt werden, bleibt abzuwarten. Nach Ansicht des Bundesverbandes Boden e. V. (BVB 2007) sollte die Novellierung die von Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft „Bodenschutz“ (LABO) und dem Umweltbundesamt entwickelten Handlungsoptionen

- Vermeidung / Minimierung schädlicher Stoffeinträge,
- Begrenzung der Einträge auf Gleichgewicht mit tolerierbaren/zulässigen Austrägen („Eintrag = Austrag“) und

- Begrenzung der Konzentrationen einzubringender Materialien auf die Bodenvorsorgewerte („Gleiches zu Gleichem“)

aufgreifen, um schleichende Anreicherungen persistenter Schadstoffe und unvorhersehbarer Risiken durch weitere noch unbekannte potenzielle Schadstoffe zu vermeiden (UBA 2001).

Bei der Verwertung von Aschen als Dünger in der Land- und Forstwirtschaft nach DÜMV müssen die Aschen zum einen Mindestanforderungen bezüglich des Nährstoffgehaltes und vor allem der pflanzenverfügbaren Nährstoffe erfüllen; zum anderen dürfen Grenzwerte für Schwermetallgehalte nicht überschritten werden. Auch hier sind im Sinne der Bodenschutzvorsorge die Handlungsoptionen der LABO/UBA-Konzeptionen zu berücksichtigen. Solange keine Zulassung als Dünger vorliegt, gelten bei der Verwertung von Aschen auf Böden die Bestimmungen des BBodSchG und der BBodSchV (LUBW 2001).

6.4 Emissionen in die Atmosphäre

In der gesamten Prozesskette von der Bereitstellung bis zur Nutzung fester Biomasse findet ein komplexer Stoffaustausch zwischen Bioenergieträger und Atmosphäre statt. Die als Folge der Energieaufwendungen durch den Einsatz von Landmaschinen freigesetzten Schadstoffe während des Anbaus und der Ernte von Biomasse bleiben in der vorliegenden Dokumentation unberücksichtigt. Es werden ausschließlich die mit der energetischen Umwandlung verbundenen „direkten Emissionen“ und ihre Umwelteffekte besprochen. Nichtsdestotrotz haben verschiedene Anbauverfahren und -maßnahmen sowie Erntepraktiken einen entscheidenden Einfluss auf die emissionsrelevanten Inhaltsstoffe der biogenen Festbrennstoffe, da z. B. bei der Nährstoffaufnahme durch Düngung oder durch Auswaschungen nach Feldliegezeiten des Pflanzenmaterials emissions- und abbrandbelastende Mineralstoffe in der Biomasse an- bzw. abgereichert werden können. Im Unterpunkt Stickoxide wird gesondert auf N₂O-Emissionen (Lachgas) als Folge von Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen eingegangen; sie stellen einen im Rahmen der Gesamtemission von Stickoxiden bei der Nutzung von Biomasse nicht zu vernachlässigenden Wirkfaktor auf die Umwelt dar. Es werden folgende Emissionen thematisiert.

- Stickoxide
- Chlorverbindungen
- Schwefelverbindungen
- Feinstaub

Im Rahmen einer energetischen Verwertung von biogenen Festbrennstoffen zählen vor allem die Elemente Stickstoff (N), Chlor (Cl) und Schwefel (S) zu den emissionsrelevanten Inhaltsstoffen, da sie säurebildende Gase darstellen und ein atmosphärischer Eintrag u. a. zur Versauerung von Böden und Gewässern führen kann. Außerdem senken hohe Gehalte z. B. an Kalium oder Chlor den Ascheerweichungspunkt von Brennstoffen und stellen

somit ein Problem bei den Feuerungsanlagen durch die Bildung von Schlacken dar. Generell sinken die Ascheerweichungstemperaturen der Festbrennstoffe in der Reihenfolge Holz (inkl. Rinde) – Halmgutartige Biomasse – Getreidekorn (KALTSCHMITT et al. 2003).

In der Tab. 6–23 sind die durchschnittlichen emissionsrelevanten Nährstoffgehalte in der Trockenmasse und die durchschnittlichen Aschegehalte einiger holzartiger und kraut- bzw. grasartiger Brennstoffe gegenübergestellt. Die sehr viel höheren Nährstoffgehalte in den halmgutartigen Brennstoffen lassen sich überwiegend auf den Einsatz von Düngemitteln und auf das Nährstoffaneignungsverhalten der Pflanzen zurückführen. Diese Tatsache spiegelt sich deutlich in den N-Gehalten wieder, die bei eiweißreichen Getreidekörnern mit hohem Stickstoffbedarf maximale Werte annehmen (FNR 2005). Generell sind auch die Gehalte an Cl und S auf Grund höherer Düngergaben gegenüber den Gehalten in holzartiger Biomasse deutlich erhöht. Maximale Schwefelgehalte bis ca. 0,3 % werden im Rapsstroh ermittelt. Weidelgras weist die höchsten Chlorgehalte mit rund 1,4 % auf. Die Nährstoffgehalte von Roggen-, Weizen- und Gerstenstroh (nicht aufgelistet) liegen in der gleichen Größenordnung wie die von Triticale- und Rapsstroh. Die aus der Biomasseverbrennung resultierenden Emissionen lassen meist einen direkten Zusammenhang zu den Stoffgehalten der frischen Biomasse erkennen.

Weitere emissionssteuernde Faktoren sind die prozentualen Anteile der Verbrennungsrückstände an der Gesamtmasse der Brennstoffe und der Einbindungsgrad von Nährstoffen in der Verbrennungasche. Der Aschegehalt von biogenen Brennstoffen spielt in zweierlei Hinsicht eine entscheidende Rolle. Zum einen muss bei höheren Aschegehalten ein entsprechender technischer Ausbau von Feuerungsanlagen zur Einhaltung der Emissions-Grenzwerte nach der BImSchV gegeben sein; insbesondere bei den Kleinf Feuerungsanlagen (bis 100 MW Leistung) besteht noch Entwicklungsbedarf an entsprechenden Entstaubungseinrichtungen und Abscheidetechniken zur Separation der Aschefraktionen (KALTSCHMITT et al. 2003). Außerdem ist bei einem zu erwartenden zunehmenden Betrieb von Kleinanlagen eine Verminderung der Feinstaub-Emissionen und damit auch der bevorzugt am Feinstaub adsorbierten Schadstoffe und Schwermetalle zwingend notwendig.

Tab. 6–23: Durchschnittliche Gehalte emissionsrelevanter Hauptelemente und Aschegehalte verschiedener Energiepflanzen (FNR 2005, eigene Darstellung)

Energiepflanze	C N S Cl				Aschegehalt (%)
	(In % der Trockenmasse)				
Fichte	49,8	0,13	0,015	0,005	0,6
Pappel	47,5	0,42	0,031	0,004	1,8
Weide	47,1	0,54	0,045	0,004	2,0
Miscanthus	47,5	0,73	0,15	0,22	3,9
Triticale-Stroh	43,9	0,42	0,056	0,27	5,9
Rapsstroh	47,1	0,84	0,27	0,47	6,2
Weizen-Ganzpflanze	45,2	1,41	0,12	0,09	4,1
Triticale-Ganzpflanze	44,0	1,08	0,18	0,14	4,4
Weidelgras	46,1	1,34	0,14	1,39	8,8

Stickoxide

Bei Verbrennungsprozessen freigesetzte Stickoxide wirken in der Atmosphäre als Foto-Oxidanzien und sind pflanzenschädigend. Von den verschiedenen Bildungswegen der Stickoxide während der Biomasseverfeuerung (Thermisches NO_x , Prompt- NO_x , Bildung aus dem im Brennstoff enthaltenen Stickstoff) sind die Emissionen aus dem chemisch gebundenen Stickstoff im Brennstoff ausschlaggebend (KALTSCHMITT et al. 2003). Der Stickstoff geht bei der Verbrennung fast vollständig in die Gasphase über und findet sich nicht als Rückstand in der Verbrennungasche (FNR 2005; nach KALTSCHMITT et al. liegt die Ascheeinbindung von Stickstoff bei $< 1\%$).

Erhöhte Emissionen treten vor allem bei der Verbrennung von eiweißreichen Getreide- und Proteinpflanzen auf, deren N-Gehalte die von Hölzern aus dem Kurzumtrieb mehrfach übersteigen und auf Grund der unterschiedlichen Anforderungen an eine Stickstoffdüngung erheblich schwanken können. Höchste N-Gehalte werden bei den generativen Organen der Getreidepflanzen erreicht; das Maximum liegt mit $3,94\%$ N bei Rapskörnern (FNR 2005). Die NO_x -Emissionen steigen bei Brennstoffen aus Einjahrespflanzen im Schnitt um das 2- bis 4-fache gegenüber Holz an (RODE et al. 2005). Nach HARTMANN et al. (2004) liegt der kritische N-Gehalt in der Biomasse bei $1-2\%$ N.

KALTSCHMITT et al. (2003) stellen die wichtigsten Konversionstechnologien zur Energieumwandlung von Biomasse vor und stellen Energie- und Emissionsbilanzen über die gesamte Lebensdauer der Anlagen einschließlich aller vorgelagerten Prozesse auf. In Tab. 6–24 sind auszugsweise die Emissionswerte einer Kleinf Feuerungsanlage zur Brauchwasser- und Raumwärmebereitung für ein Einfamilienhaus (Kessel mit 20 KW thermischer Nennleistung) beim Einsatz von unterschiedlichen Brennstoffen sowie zum Vergleich die Emissionswerte einer Anlage mit geringerer Leistung aufgestellt.

Die Auswertungen der Bilanzen von Kleinf Feuerungsanlagen im Leistungsbereich von 6 bis 67 KW ergaben, dass bei Kleinstanlagen (Spalte A) die spezifischen Aufwendungen in der vorgelagerten Prozesskette (Anlagenbau, Hilfsenergie) höher sind als bei größeren Anlagen; daher liegt der spezifische Energieverbrauch dieser Anlagen deutlich höher (KALTSCHMITT et al. 2003). Das gleiche gilt für die SO_2 -Emissionen. Bei den NO_x -Emissionen schwanken die Werte kaum, da sie zu 85% durch direkte Emissionen aus der Verbrennung bestimmt werden (Tab. 6–24). Ein näherungsweiser Vergleich der potenziellen NO_x -Emissionen bei der Verfeuerung von biogenen Festbrennstoffen in Kleinstanlagen kann mit den Angaben zu den N-Gehalten in Tab. 6–22 durchgeführt werden. KALTSCHMITT et al. beziehen die Emissionsbilanzen ausschließlich auf Brennstoffe, die aus Fichtenholz hergestellt wurden. Insgesamt werden bei der Verfeuerung von Stroh und Getreideganzpflanzen gegenüber holzartigen Brennstoffen mehr Staub, Stickoxide und HCl freigesetzt. In den nächsten Jahren sind Verbesserungen durch die Entwicklung ent-

sprechender Aufbereitungsverfahren (Pelletieren) und spezieller Feuerungsanlagen zu erwarten (LFL 2005).

Tab. 6–24: Energie- und Emissionsbilanzen einer Wärmebereitstellung für Warmwasser und Raumheizung in Kleinanlagen (Kaltschmitt et al. 2003, Auszug)

	A	B	C	D
Kesselleistung (KW)	6	20	20	20
Brennstoff	Pellets	Pellets	Hackgut	Scheitholz
Energie (GJ_{prim}/TJ)¹⁾	206	111	110	129
SO₂ (kg/TJ)	52	30	30	32
NO_x (kg/TJ)	243	220	227	269

¹⁾ primärenergetisch bewerteter kumulierter Energieaufwand pro TJ nutzbare Wärme.

N₂O-Emissionen

Distickstoffoxid (Lachgas) ist ein äußerst wirksames klimarelevantes Spurengas (etwa 310-mal wirksamer als CO₂), das bei der Verbrennung von Biomasse freigesetzt und beim Abbau von Stickstoff-Dünger unter Sauerstoffmangel bei intensiver Landwirtschaft aus dem Boden entweichen kann (vgl. Kap. 6.2). Ein erhöhter Wassergehalt bei der Verbrennung von Biomasse wirkt sich senkend auf die N₂O-Emissionen aus (KALTSCHMITT et al. 2003).

Chlorverbindungen

Chlorverbindungen spielen bei der Emission von HCL und der Bildung von Dioxinen und Furanen eine Rolle. Vor allem gedüngte Feldkulturen, also kraut- und grasartige Biomasse, weisen höhere Chloridgehalte im Vergleich zu holzartigen Festbrennstoffen auf (vgl. Tab. 6–23). Das Chlorid gelangt über die Düngung in die Pflanze (RODE et al. 2005) und kann Maximalgehalte von bis zu 4,7 g/kg TM in Rapsstroh oder 13,9 g/kg im Weidelgras aufweisen (FNR 2005).

Bei der Verbrennung wird Chlorid mit etwa 40-95 % vor allem in den feinen Fraktionen der Verbrennungasche eingebunden (KALTSCHMITT et al. 2003). Allerdings können sehr hohe Cl-Gehalte bei der Verbrennung auf Grund der damit verbundenen Freisetzung von HCl problematisch im Hinblick auf die Bildung von Dioxinen und Furanen werden (FNR 2005). RODE et al. (2005) geben für freigesetzte Chlorverbindungen bei der Verbrennung halmgutartiger Energiepflanzen um 16- bis 107-fach erhöhte Dioxin- und Furan-Werte gegenüber Fichtenholz an.

Im Zusammenspiel mit Alkali- und Erdalkalimetallen wirkt Chlor zudem korrosiv. Nach KALTSCHMITT et al. (2003) kann der Chlorgehalt von abgestorbenem Pflanzenmaterial wie z. B. Stroh durch Auswaschung um 60-80 % gesenkt werden; dies wirkt sich begünsti-

gend für die Verwertung in Feuerungsanlagen aus. Der Grad der Auswaschung durch Niederschläge hängt dabei von den Verweilzeit auf dem Feld vor der Abfuhr ab. Nach Untersuchungen des LFL (2002) sind z. B. bei Ganzpflanzengetreide nach 19 Tagen Feldliegezeit die höchsten Auswaschungsraten festgestellt worden. Dabei wurde Chlor zu 75 % und Kalium zu 67 % aus dem Erntegut ausgewaschen.

Schwefelverbindungen

Zu den umweltrelevanten Schwefelverbindungen zählen SO_2 und SO_3 . Das bei der Verbrennung freiwerdende Schwefeldioxid wirkt pflanzenschädigend durch den Abbau von Chlorophyll und führt über den atmosphärischen Eintrag zur Versauerung von Böden und Gewässern. Die Schwefelgehalte von holzartigen Festbrennstoffen aus dem Kurzumtrieb und der Forstwirtschaft liegen auf Grund pflanzenphysiologischer Unterschiede und des geringen Düngemitelesatzes unter denen von kraut- und grasartigen Brennstoffen (s. Tab. 6–23 und Abb. 6–17). Bei der Verfeuerung von Hackgut und Rinde werden etwa 40-90 % des gesamten in der Biomasse gebundenen Schwefels in der Verbrennungasche eingelagert (KALTSCHMITT et al. 2005). Demgegenüber liegt der Einbindungsgrad bei der Verfeuerung von Stroh und Ganzpflanzen bei etwa 45-50 % (SPLIETHOFF 2000). Dementsprechend ist die energetische Verwertung von holzartiger Biomasse mit geringeren S-Emissionen verbunden als bei halmgutartigen Brennstoffen.

Anbauversuche zur Bestimmung emissionsrelevanter Nährstoffgehalte

In den Abb. 6–17 sind die Gehalte umweltrelevanter Nährstoffe von verschiedenen Energiepflanzen gegenübergestellt, die in einem 10 Jahre dauernden Anbauversuch auf einem 4 ha großen Feld in Potsdam auf ihre Erträge, Energiegewinn und umweltrelevante Stoffe untersucht wurden (SCHOLZ et al. 2004). Auch hier zeigt sich, dass die Holzbrennstoffe aus Kurzumtriebsplantagen (Weide und Pappel) sehr niedrige N-Gehalte gegenüber Getreidepflanzen aufweisen. Auf Grund des direkten Zusammenhangs zwischen dem Stickstoffgehalt in der Biomasse und den NO_x -Emissionen wirkt sich diese Tatsache positiv auf den Einsatz von holzartiger Biomasse als Brennstoff aus.

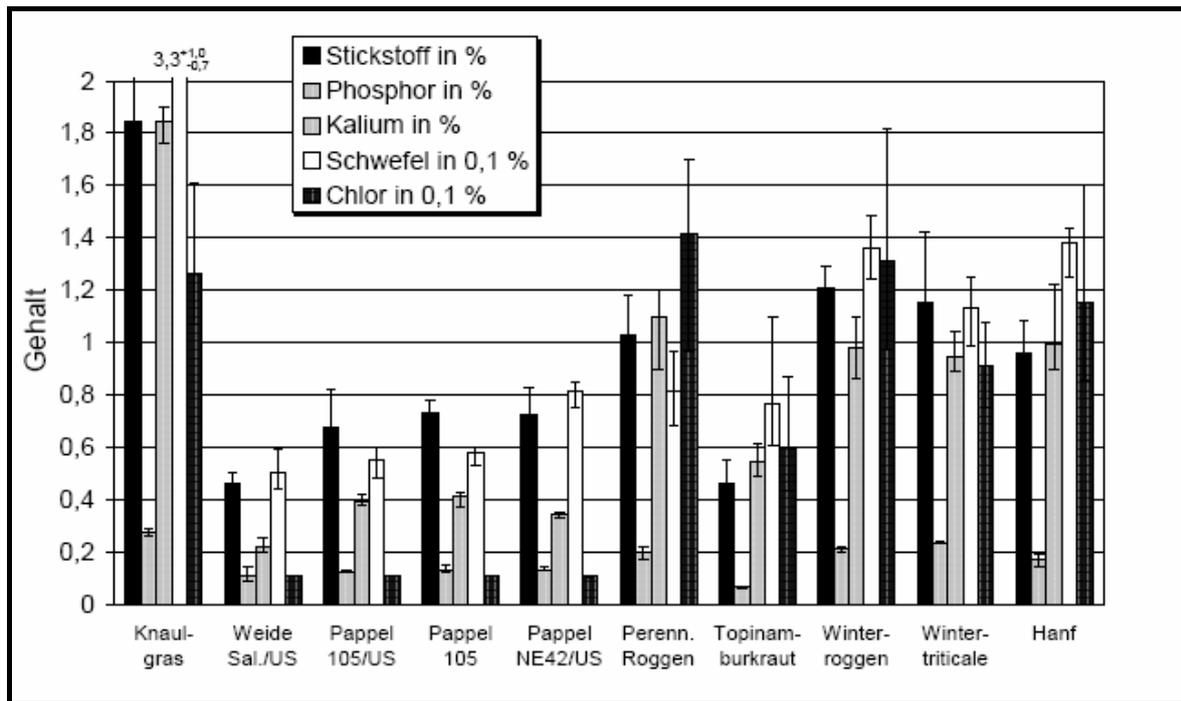


Abb. 6–17: Gehalte umweltrelevanter Makro- und Mikronährstoffe in Energiepflanzen (SCHOLZ et al. 2004)

Bei einem 1990 – 2003 dauernden Anbauversuch wurden an 3 verschiedenen Standorten in Baden-Württemberg die Kurzumtriebsgehölze Weide, Pappel und Blauglockenbaum auf ihre Erträge und Brennstoffeigenschaften im Hinblick auf eine energetische Nutzung untersucht. Der Anbauversuch erfolgte an zwei unterschiedlichen pedoklimatischen Standorten in der Oberrheinebene und einer Höhenlage (MAIER & VETTER 2004). Es wurden Umtriebszeiten von 2 bzw. 3 Jahren gewählt. In Tab. 6–25 sind die analysierten emissionsrelevanten Inhaltsstoffe der Kurzumtriebsgehölze denen von Fichtenholz gegenübergestellt. Die Auswertung der Ergebnisse ergab im Hinblick auf die Eignung von Kurzumtriebsgehölzen als Brennstoff in Biomassefeuerungen keine relevanten Nachteile gegenüber Waldholz (MAIER & VETTER 2004). Zwar liegen die Werte für die emissionsrelevanten Inhaltsstoffe N und S sowie der Aschegehalt bei Pappeln und Weiden höher als beim Waldstammholz; diese Tendenz gleicht sich allerdings bei einer Ganzbaumnutzung von Waldholz durch die hohen Gehalte im Reisig wieder aus. Der hohe CI-Wert der Weiden beruht nach den Autoren auf einen erhöhten Einzelwert.

Tab. 6–25: Brennstoffeigenschaften von Kurzumtriebsgehölzen im Vergleich zu Waldholz (MAIER & VETTER 2004).

	Waldholz		Weide	Pappel	Blauglocken- baum	
	Stammholz ¹	Reisig ²				
Probenzahl (n =)	4	1	6	3	1	
Wassergehalt	%	75	61	53	49	48
Werte bezogen auf wasserfrei						
Heizwert H _o ³	MJ/kg	19,7	20,3	19,5	19,8	19,9
Asche	%	0,4	3,3	2,0	2,2	0,5
C	%	52,8	51,2	43,5	49,3	50,3
H	%	5,7	5,9	5,5	5,6	10,6
O (berechnet)	%	40,9	38,3	41,2	42,2	38,4
S	%	0,06	0,29	0,07	0,09	< 0,1
N	%	0,1	1,1	0,6	0,5	0,2
Cl	%	0,01	0,01	0,1	0,01	0,01
Flüchtige	%	79,9	77,2	80,5	81,8	81,1
Fixed C	%	17,3	19,5	17,5	15,9	18,4

¹ Buche, Eiche, Kiefer, Fichte; ² Fichte
³ Der obere Heizwert H_o unterscheidet sich vom unteren Heizwert H_u durch die Verdampfungsenthalpie des Wassers, das durch die Brennstofffeuchtigkeit in das Rauchgas gelangt und des Wassers, das durch Oxidation des im Brennstoff enthaltenen Wasserstoffs im Rauchgas enthalten ist.

Ein vom LfL (2002) durchgeführtes Programm zur Erstellung eines mittelfristigen Anbaukonzeptes für Energiepflanzen im Freistaat Sachsen erfolgte durch Anbauversuche an fünf repräsentativen Ackerbaustandorten Sachsens. Ziel der Untersuchungen war die Entwicklung von standortangepassten wirtschaftlichen und umweltverträglichen Anbauverfahren. Die Anbauversuche erfolgten bei unterschiedlichen bodenklimatischen Bedingungen an verschiedenen ein- und mehrjährigen Energiepflanzen. In Tab. 6–26 sind die Brennstoffeigenschaften der untersuchten Energiepflanzen für sächsische Standortbedingungen dargestellt. Im Hinblick auf die Eignung als Festbrennstoff kann anhand der Untersuchungsergebnisse eine Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus den zuvor genannten Anbauversuchen festgestellt werden. Auch hier ist eine deutliche Abnahme der emissions- und abbrandbelastenden Inhaltsstoffe bei den holzartigen Brennstoffen gegenüber den halmgutartigen Energiepflanzen zu erkennen. Es lässt sich eine Reihenfolge der zunehmenden Eignung als Festbrennstoff aufstellen: Futtergras → Getreideganzpflanze → Miscanthus → Topinambur → Schnellwachsende Hölzer.

Tab. 6–26: Ergebnisse der Anbauversuche in Sachsen: Brennstoffeigenschaften der Energiepflanzen (LFL 2002).

Energie- pflanze	Ernte- zeitpunkt	Ernte- produkt	TS zur Ernte %	Gehalt in % TS								Gehalt in mg/ kg TS						Asche % Brenn- stoff
				C	N	P	K	Ca	Mg	Cl	S	B	Cu	Mn	Cd	Pb	Hg	
<i>Winter- triticale</i>	Milchwachs- reife	Ganzpflanze	86,0	44,82	1,00	0,15	1,07	0,18	0,07	0,25	0,08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,15
		Korn	88,0	44,95	1,69	0,30	0,54	n.b.	0,08	0,04	0,12	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,88
		Stroh	85,0	45,80	0,57	0,09	1,11	0,24	0,05	0,23	0,07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,10
<i>Weidelgras</i>		Ganzpflanze	38,6	43,63	1,27	0,21	1,50	n.b.	0,14	0,41	0,15	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,22
<i>Miscanthus</i>	Winter/Frühj.	Stängel	65,7	45,97	0,61	0,09	0,86	0,16	0,06	0,41	0,14	3,52	2,16	40,61	0,14	1,83	0,02	3,10
<i>Topinambur</i>	Spätherbst	Stängel	82,0	46,65	0,54	0,06	0,32	n.b.	0,16	0,03	0,08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,52
Schnellwachsende Hölzer			2-jähriger Umtrieb															
<i>Pappelklone</i>	Winter/ Frühjahr	Schwach- holz	45,3	47,35	0,28	0,10	0,37	0,51	0,05	<0,002	0,04	11,72	3,43	n.b.	0,51	1,63	<0,1	2,14
<i>Aspenklone</i>			48,0	47,92	1,11	0,13	0,40	0,51	0,07	<0,002	0,06	12,13	4,60	n.b.	0,74	3,16	<0,1	2,28
<i>Salix viminalis</i>			54,2	47,58	1,04	0,12	0,26	0,56	0,07	<0,002	0,05	9,12	3,15	n.b.	0,76	0,55	<0,1	1,99
			3-jähriger Umtrieb															
<i>Pappelklone</i>	Winter/ Frühjahr	Schwach- holz	41,4	51,38	0,44	0,12	0,36	0,49	0,06	0,02	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	0,59	1,05	0,03	2,32
<i>Aspenklone</i>			41,7	51,25	0,31	0,09	0,15	0,52	0,06	0,01	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	0,65	1,18	0,05	2,23
<i>Salix viminalis</i>			53,7	53,00	0,36	0,09	0,21	0,38	0,04	0,01	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	0,80	1,05	0,03	1,64

n. b. nicht bestimmt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass sich im Hinblick auf umweltrelevante Emissionen keine Nachteile bei der Verfeuerung von Holz aus Kurzumtriebsplantagen im Vergleich zur Nutzung von Waldrestholz als Brennstoff ergeben. Halmgutartige Brennstoffe wie z. B. Stroh oder Getreideganzpflanzen zeichnen sich demgegenüber durch wesentlich höhere emissions- und abbrandbelastende Mineralstoffkonzentrationen aus. Nach SCHLEGEL (2005) waren Ende 2004 in Sachsen 4.426 Holzfeuerungsanlagen mit einer thermischen Nennleistung bis 100 KW in Betrieb ($P_{Nth} \approx 137,7$ MW). Ein in den nächsten Jahren zu erwartender Anstieg des Einsatzes biogener Festbrennstoffe in Kleinfeuerungsanlagen stellt hohe Anforderungen an die Entwicklung von Anlagen mit entsprechenden Filter- und Abscheidetechniken zur Verminderung von umweltrelevanten Emissionen, insbesondere wenn vermehrt halmgutartige Biomasse zur energetischen Verwertung eingesetzt werden soll.

Feinstaub

Als Schweb- bzw. Feinstaub werden in der Luft suspendierte feste oder flüssige Schwebstoffe bezeichnet. Schwebstäube werden in Abhängigkeit von ihrer Partikelgröße klassifiziert. Im Hinblick auf die gesundheitsschädigende Wirkung von Feinstaub und daran adsorbierten Substanzen auf den Menschen sind die Partikelklassen PM_{10} ($\leq 10 \mu m$), $PM_{2,5}$ und UFP (ultrafeine Partikel $< 0,1 \mu m$) von besonderem Interesse. Feinstaub kann primär

durch unmittelbare Emission entstehen oder sekundär aus chemischen Reaktionen mit Vorläufersubstanzen wie Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxiden (NO_x), Ammoniak (NH₃) oder flüchtigen organischen Verbindungen gebildet werden. Neben den natürlichen Quellen sind die Haupt-Emittenten von Feinstaub der Straßenverkehr, die Industrie, Kleinfeuerungsanlagen und die Landwirtschaft als Emittent von Vorläufersubstanzen (insbesondere Ammoniak).

Die „Gesamtstaubbelastung“ in Deutschland ist in den letzten Jahren stark zurückgegangen (Rückgang um 87 % im Zeitraum 1990-2001), was v. a. auf die Verminderung von Emissionen in der Industrie zurückzuführen ist. Allerdings ist bei der Belastung mit Feinstäuben PM₁₀ ein sehr viel geringerer Rückgang um 18 % festzustellen (Zeitraum 1990-2000), und der Anteil vom PM₁₀ an der Gesamtstaubbelastung liegt in der Regel bei 60-90 % (LAHL & STEVEN 2005). Bereits im Jahr 2003 betrug der Emissionsanteil aus Kleinfeuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und gewerblichen Kleinverbraucher etwa 13 % an den Gesamtemissionen von PM₁₀, wobei Holzfeuerungsanlagen etwa 90 % der PM₁₀ aus Hausbrand emittierten.

Bei der Nutzung von biogenen Festbrennstoffen werden Staubemissionen bereits bei den Aufbereitungsverfahren, z. B. beim Umschlag halmgutartiger Biomasse und weniger abriebfesten Halmgutpellets freigesetzt (KALTSCHMITT et al. 2003). Den größten Teil der Staubemissionen macht jedoch die energetische Umwandlung der Biomasse aus. Auch beim Abbrand liegen die Emissionswerte halmgutartiger Biomasse höher als bei Holz und werden durch die Faktoren Brennstoffzusammensetzung, Art des Feuerungssystems und Betriebs- und Feuerungsparameter gesteuert.

Die freigesetzten Staubfrachten korrespondieren zudem mit dem Aschegehalt bei der Verbrennung. Im Vergleich liegen die Aschegehalte von Stroh oder Miscanthus mit 3-6 % der Trockenmasse weitaus höher als bei holzartigen Brennstoffen (RODE et al. 2005). Der Aschegehalt von Holzbrennstoffen liegt durchschnittlich bei 0,5 % TS, der von Energieholz aus Kurzumtriebsplantagen bei 2 % TS aufgrund des höheren Rindenanteils der jung geernteten Hölzer. Generell sind aber vor allem bei Kleinfeuerungsanlagen weniger die Gesamtstaubemissionen für eine gesundheitsschädigende Wirkung ausschlaggebend, sondern vielmehr die Immissionsbelastung. Die lokale Konzentration von Anlagen und bodennahe Emission von Feinstaub kann zu hohen Konzentrationen in der Luft führen. Grenzwertüberschreitungen in Bodennähe werden zudem während Inversionswetterlagen in den Wintermonaten bei eingeschränktem vertikalen Luftaustausch erwartet (LAHL & STEVEN 2005).

Bereits heute ist eine steigende Tendenz zur Nutzung von Holz als Brennstoff zu erkennen. Bei dem zu erwartenden weiteren Ausbau der Biomasseverbrennung werden voraussichtlich die Anzahl der Kleinfeuerungsanlagen und auch die Feinstaubemissionen sowie Immissionsbelastungen ansteigen. Auf Grund des derzeitigen Mangels an verfüg-

barer Technik besteht vor allem in der Anlagen- und Verfahrenstechnik zur Reduktion verbrennungsbedingter Emissionen noch erheblicher Entwicklungsbedarf.

6.5 Landschaftsbild

Der Anbau von Energiepflanzen vermag im Vergleich zum klassischen Ackerbau durch veränderte Vegetationszeiten, andere Wuchsformen und längere Standzeiten das Landschaftsbild deutlich zu verändern (vgl. u. a. DRL 2006, S. 23ff). Die deutlichste Veränderung ist vom Energieholzanbau zu erwarten, weil die Bestände überjährig stehen bleiben und große Wuchshöhen erreicht werden. Neben Kurzumtriebsplantagen kann auch vom Anbau perennierender Gräser wie Miscanthus oder Sudangras das Landschaftsbild auf Grund der im Vergleich zu Ackerbaukulturen längeren Standzeiten beeinflussen.

Gleichwohl wirkt auch der Anbau einjähriger Energiepflanzen auf das Landschaftsbild ein. Kritisch sind einseitige Anbaustrukturen zu beurteilen. So trägt der in einigen Regionen bereits dominierende Anbau von Mais und Raps zu einer Vereinheitlichung des Landschaftsbildes bei.

Die konkreten Auswirkungen Vor-Ort sind immer nur anhand der vorliegenden Landschaftsstruktur, Topografie und Anbauverhältnisse zu beurteilen. Insofern werden hier nur allgemeine Hinweise zur Beeinflussung des Landschaftsbildes benannt. Dabei beschränken sich die Ausführungen auf den Anbau von Gehölzen, weil davon im Vergleich zu klassischen einjährigen Ackerbaukulturen eindeutiger Veränderungen des Landschaftsbildes ausgehen (Kap. 6.5.1). In diesem Zusammenhang wird auch in kurzer Form auf die Wertholzproduktion in Agroforstsystemen eingegangen (Kap. 6.5.2).

Der oben angedeutete mögliche Einfluss auf das Landschaftsbild durch einjährige Energiepflanzen wird hier nicht weiter thematisiert.

6.5.1 Anlage und Nutzung von Gehölzstreifen zur Strukturanreicherung in der Landschaft

Der Anbau von Energiehölzern auf Ackerflächen stellt ein alternatives Anbaukonzept mit einem ökologischen und landschaftsgestalterischen Potenzial dar. Vor allem auf ausgedehnten Ackerflächen kann die Anlage von Kurzumtriebsplantagen ein ökologisch sinnvolles Konzept sein, um den Schutz von Böden und Gewässern zu fördern.

Gleichzeitig kann der Energieholzanbau das Landschaftsbild tiefgreifend verändern. Differenzierend wirkt sich das Anbaumuster auf das Landschaftsbild aus (vgl. u. a. SKÄRBÄCK & BECHT 2005). Während streifenförmige Anbaustrukturen dem Landschaftsbild von Hecken nahe kommen, wirken Umwandlungen ganzer Schläge oder Fluren eher wie Vorwaldstadien, wie die Fotos in Abb. 6–18 eindrücklich veranschaulichen. Die damit verbundenen Auswirkungen auf das Landschaftsbild sind im hohen Maße von der vorhandenen

Landschaftsstruktur abhängig. In strukturarmen Ackerbauregionen vermag jeglicher Anbau perennierender Energiepflanzen zur Bereicherung des Landschaftsbildes beizutragen, wohingegen in reichstrukturierten Regionen ggf. das Gegenteil bewirkt wird.

Die Gehölzstreifen untergliedern größere zusammenhängende Flächen in kleinere Schläge. Sie können dann als Puffer zwischen den benachbarten Schlägen wirken und vermindern somit Erosion durch Wasser und Wind. Positiv zu bewerten sind in der Folge geringere erosive Stoffeinträge in Oberflächengewässer. Als wirksamer Schutz gegen Winderosion auf den angrenzenden Ackerflächen schaffen Gehölzstreifen zudem ein günstiges Mikroklima, dass zu höheren Erträgen von Kulturpflanzen auf ihrer Leeseite führen kann. Ein weiterer positiver Effekt ist durch die Vernetzung von Biotopen und den Erhalt der Artenvielfalt gegeben.

Neben den positiv zu bewertenden Effekten auf Bodeneigenschaften, Gewässer, Mikroklima und Artenvielfalt kann durch die Anlage von Gehölzstreifen auch ein wichtiger Beitrag zur Kulturlandschaft geleistet werden. In gering strukturierten Landschaftsräumen oder auf großen zusammenhängenden Flächen, die durch den Anbau einer einzelnen Kulturart an gestalterischen Elementen verarmt sind, kann der Feldstreifenanbau zu einer kleinräumigen Variabilität und Werterhöhung des Landschaftsbildes beitragen. Auch ausgeräumte und durch die Flurbereinigung an Kleinstrukturen verarmte Agrarlandschaften können strukturell belebt werden. Allerdings muss die Diversifizierung von Landschaftsräumen durch die Anlage von Gehölzstreifen differenziert betrachtet werden, da die Wirkung von landschaftsbildenden Strukturen häufig subjektiven Charakter besitzt und auf unterschiedliche Weise wahrgenommen wird. Nichtsdestotrotz tragen Umfang und räumliche Gestaltung entscheidend zu einer objektiv bewertbaren Wirkung der neuen Landschaftselemente, ihre Naturnähe und ihre Anpassung an die Umgebung bei. In diesem Kontext kann bei der Anlage und gleichzeitiger Nutzung von Energiehölzern ein den Standortbedingungen nicht angepasster Anbau, z. B. der Anbau von fremden Arten und Sorten die nicht zu den heimischen bzw. potenziell natürlichen Gewächsen zählen, zur Verfremdung des Landschaftsbildes führen.

Ein weiterer Aspekt bei der Landschaftsplanung ist die zu erwartende Dauerhaftigkeit des Landschaftswandels durch den Anbau und die energetische Verwertung von Gehölzstreifen sowie eine langfristige Veränderung von Landschaftsstrukturen durch die Anlage von Bewirtschaftungswegen.

Mögliche Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes können durch die Zerschneidung oder die Überprägung eines Landschaftsraumes hervorgerufen werden. Diese möglichen Beeinträchtigungen sind jedoch als relativ gering einzustufen, sofern es sich beim Anbau um relativ *kleinflächige* Eingriffe handelt. Gleichwohl vermag der Anbau hochwüchsiger Pflanzenbestände – zumal wenn er gleichzeitig großflächig erfolgt – Störungen der Sichtbeziehungen in einer Landschaft bewirken und in Folge den Kultur- und Erholungswert des Landschaftsraumes zu vermindern (RODE et al. 2005).



Abb. 6–18: Einfluss von Kurzumtriebsplantagen auf Landschaftsbild am Beispiel der Versuchsfelder Canstein in Hessen (LIESEBACH 2006)

6.5.2 Agroforstsysteme

Agroforstliche Bewirtschaftungssysteme stellen eine alternative Nutzungsform dar, die Forstwirtschaft mit landwirtschaftlicher Nutzung verbindet. Es wird zwischen *silvopastoralen* Systemen (Kombination von Forstwirtschaft mit Beweidung) und *silvoarablen* Systemen (Kombination von Forstwirtschaft und Ackerkulturen) unterschieden, die zugleich hochwertiges Stammholz (Edelhölzer) und landwirtschaftliche Erzeugnisse produzieren. Abb. 6–19 vermittelt visuelle Eindrücke von derartigen Anbausystemen.

Beide Arten von Nutzungssystemen zeichnen sich durch ein hohes Potenzial an Umweltleistungen aus. Die Reduzierung von potenziellen Boden- und Gewässergefährdungen durch Erosion und Auswaschungsverluste, die Erhöhung der Biodiversität und das landschaftsgestalterische Potenzial von Agroforstsystemen beruhen auf den gleichen Mechanismen und Prinzipien wie bei der Anlage von Gehölzstreifen. Die Produktivität von Agroforstsystemen (Biomasseproduktion) kann die von konventionellen Bewirtschaftungssystemen übersteigen (HERZOG & DUPRAZ 2006: land equivalent ratio 1,1-1,6).

Zur Zeit liegen kaum experimentelle Daten aus Anbauversuchen vor, da Agroforstsysteme Umtriebszeiten von 25-100 Jahren haben. In Forschungsprojekten wie z. B. dem EU-Projekt „SAFE“ (Silvoarable agroforestry for Europe, 2001-2005) oder dem vom BMBF geförderten laufenden Projekt „Agroforst“ werden Agroforstsysteme modelliert. Ziel der Untersuchungen ist eine umfassende Bewertung von Agroforstsystemen, ihrer ökologischen und ökonomischen Potenziale und Funktionen, die Erstellung von Machbarkeitsstudien

und die Ausarbeitung entsprechender politischer Instrumentarien und Regelwerke für die Umsetzung zur Nutzung von Agroforstsystemen.

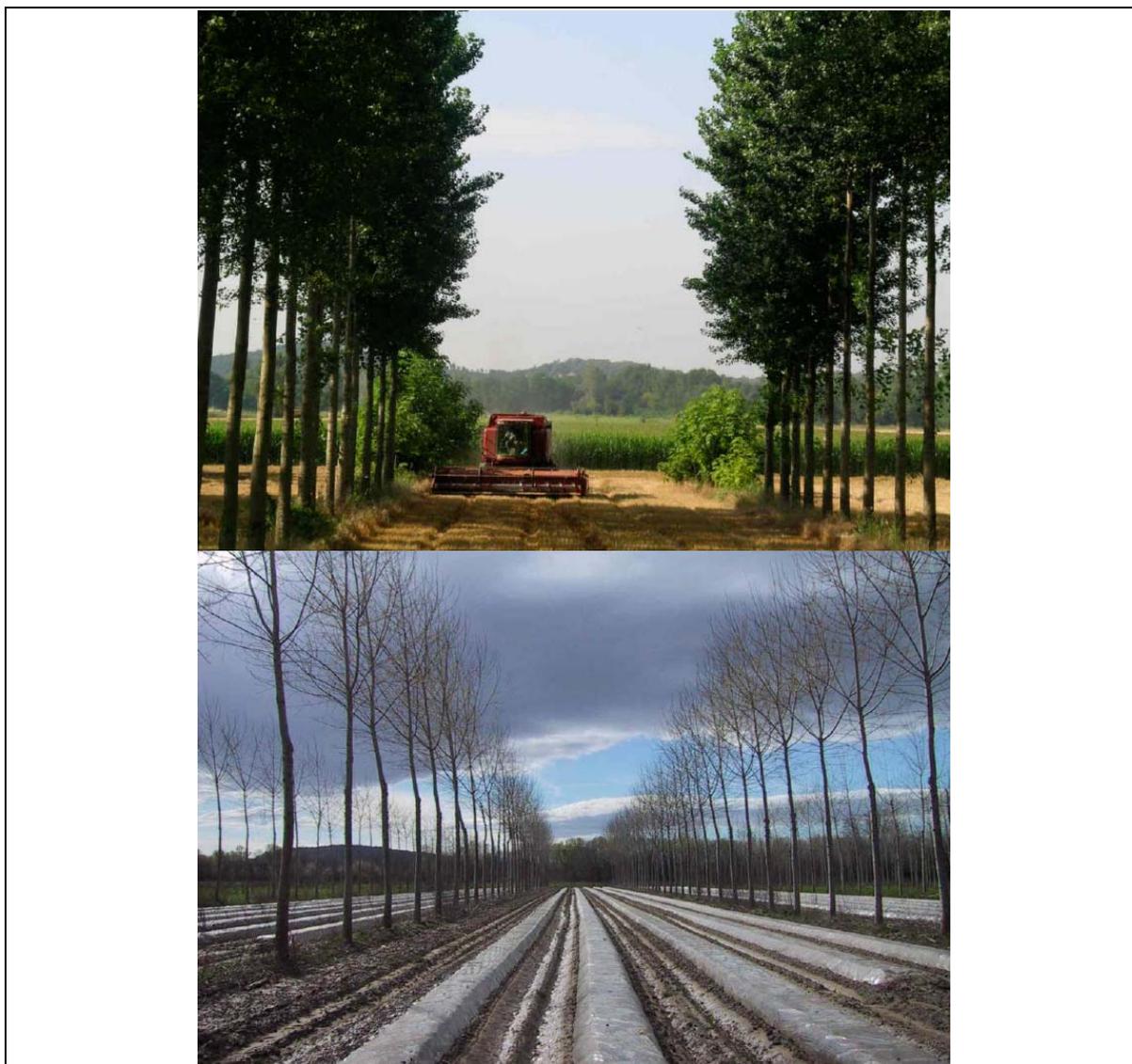




Abb. 6–19: Fotobeispiele für Agroforstsystemen (HERZOG et al. 2006)

6.6 Anbau von Bioenergiepflanzen auf kontaminierten Böden – Phytoremediation und Phytostabilisierung

Der Schwermetallgehalt und der Transfer vom Boden in pflanzliche Biomasse spielt in zweierlei Hinsicht eine Rolle. Zum einen wird bei der energetischen Verwertung von Biomasse ein möglichst geringer Gehalt an Schwermetallen angestrebt, um die Verbrennungsrückstände als Dünger einsetzen und somit den Stoffkreislauf schließen zu können. Die Grenzwerte für Schadstoffgehalte in der Trockenmasse biogener Brennstoffe werden in der DIN 51731 festgelegt (Tab. 6–27). Diese Norm schreibt die Qualitätsanforderungen für die Verarbeitung und den Einsatz biogener Festbrennstoffe als Pellets oder Briketts vor.

Tab. 6–27: Grenzwerte für Elementgehalte in Holzbriketts und -pellets nach DIN 51731 (FNR 2005)

S	Cl	N	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn
% i. d. Trockenmasse			mg/kg						
< 0,08	< 0,03	< 0,3	< 0,8	< 0,5	< 8	< 5	< 0,05	< 10	< 100

Generell haben holzartige Brennstoffe gegenüber den halmgutartigen Energiepflanzen höhere Schwermetallgehalte. Die Hauptursachen dafür liegen in den längeren Umtriebszeiten und den damit verbundenen höheren Akkumulationsraten von Schwermetallen und in den generell niedrigeren pH-Werten von Waldböden gegenüber landwirtschaftlichen Flächen. Im sauren Milieu werden Schwermetalle (v. a. Cadmium und Zink) mobilisiert und sind somit für die Aufnahme durch Pflanzen leichter verfügbar.

Höchste Konzentrationen der meisten Schwermetalle werden in der Rinde von Nadelgehölzen erreicht; Holz aus Kurzumtriebsplantagen und anuelle Kulturen weisen dagegen relativ niedrige Konzentrationen insbesondere von Quecksilber, Blei und Molybdän auf (KALTSCHMITT et al. 2003). Eine Ausnahme stellen Weiden und Pappeln aus dem Kurzumtrieb dar, die eine erhöhte Affinität gegenüber Cadmium zeigen. Tab. 6–28 führt mittlere Cadmium-Gehalte für Energiepflanzen nach den Untersuchungen von SCHOLZ et al. (2004) auf.

Tab. 6–28: Mittlere Cadmiumgehalte von Energiepflanzen nach SCHOLZ et al. (2004)

Energiepflanze	Cd-Gehalt
Weide (<i>Salix viminalis</i>)	1,62 mg/kg
Pappel (Pappel Japan)	1,16 mg/kg
Winter-Triticale	0,06 mg/kg
Winter-Roggen	0,04 mg/kg
Topinambur-Kraut	0,43 mg/kg
Knautgras	0,76 mg/kg
Hanf	<0,1 mg/kg

Zum anderen können Energiepflanzen gezielt zur Phytoremediation eingesetzt werden. Der Begriff der Phytoremediation umfasst die Nutzung von Pflanzen zur in situ-Sanierung von Böden, Oberflächengewässern und Grundwässern, die mit anorganischen oder organischen Schadstoffen kontaminiert wurden. Die Dekontamination erfolgt nach unterschiedlichen Mechanismen. Bei anorganischen Schadstoffbelastungen kann zwischen den Prozessen Phytostabilisierung, Rhizofiltration und Phytoextraktion unterschieden werden (MIRCK et al. 2005). Der Prozess der Phytostabilisierung wird als Immobilisierung von Schadstoffen im Wurzelraum der Pflanzen definiert; die Schadstoffe werden an den Wurzeln adsorbiert, in der Rhizosphäre ausgefällt und fixiert oder in der Wurzelmasse gespeichert. Bei der nach dem gleichen Prinzip funktionierenden Rhizofiltration werden die Pflanzen überwiegend zur Sanierung von Grundwässern eingesetzt.

Es gibt einige Pflanzen, die in der Lage sind bevorzugt Schwermetalle aufzunehmen und hohe Schwermetallkonzentrationen bei entsprechend geringen Mortalitätsraten zu tolerieren. Derzeit sind etwa 400 solcher als Hyperakkumulatoren bezeichneten Arten bekannt (STROHM-LÖMPCKE 2006). Die aus Bodenlösungen durch die Wurzeln aufgenommenen Schwermetalle werden in den verschiedenen Pflanzenorganen der Biomasse in unterschiedlich hohen Konzentrationen akkumuliert. Pflanzen mit hohen Akkumulationsraten können zur Phytoextraktion kontaminierter Böden wie z. B. auf ehemaligen Bergbau- oder Industriestandorten eingesetzt werden. Mit der Ernte der Biomasse werden die aufgenommenen Schwermetalle dem System Boden-Pflanze-Grundwasser entzogen. Hyperakkumulatoren nehmen per Definition Cd > 100 mg/kg TM, Co, Cu, Ni und Pb > 1000 mg/kg TM sowie Mn und Zn > 10.000 mg/kg TM auf (PULFORD et al. 2002).

Solche Hyperakkumulatoren sind meist kleinwüchsige, krautige Pflanzen ohne tief reichende Verwurzelung und sind daher häufig nicht für die Phytoextraktion geeignet, weil sie zwar hohe Schadstoffgehalte bezogen auf den Trockenmassezuwachs aufweisen, aber auf Grund der geringen Biomassezuwächse nur geringe Schadstoffmengen dem Boden entziehen (PUSCHENREITER 2002). Der Pflanzenaufwuchs auf schadstoffbelasteten Böden ist insbesondere zur energetischen Verwertung geeignet. Bei Pflanzen mit geringem Biomassezuwachs sind bereits aus ökonomischen Gründen keinerlei Synergieeffekte im Hinblick auf die Sanierungsziele und Bioenergieerträge zu erwarten.

Neben der spezifischen Akkumulation in den Pflanzenorganen sind tiefreichende Wurzeln bzw. eine hohe Wurzeldichte, ein hoher Wasserbedarf, rasche Zuwachsraten und auch spezifische, Schadstoffe abbauende mikrobielle Populationen in der Rhizosphäre der Pflanzen (PUSCHENREITER 2002) weitere Kriterien für einen wirksamen und quantitativen Schadstoffentzug aus dem Boden. Aber nicht nur die pflanzenspezifischen Eigenschaften steuern die Aufnahme und Akkumulation von Schwermetallen; vielmehr hängt das potenzielle Extraktionsvermögen auch mit der Pflanzenverfügbarkeit der Stoffe zusammen. Die Löslichkeit und Mobilität der Schwermetalle in der Bodenlösung wird dabei von den physiko-chemischen Bodencharakteristika wie dem pH-Wert, dem C_{org} -Gehalt und dem Anteil an Tonmineralen bestimmt.

Von den Kurzumtriebsgehölzen eignen sich vor allem Pappeln und Weiden auf Grund ihres raschen Wachstums und dem hohen Wasserbedarf für die Phytoextraktion (LICHT & ISEBRANDS 2005). Sie nehmen bevorzugt die Metalle wie Cadmium, Zink, Kupfer und Nickel auf, während Chrom und Blei kaum aus den Bodenlösungen extrahiert werden. Weidenklone variieren untereinander relativ stark in ihren Metall-Aufnahmefähigkeiten und zeigen unterschiedliche spezifische Akkumulationsraten in Rinden und Stammholz (PULFORD et al. 2002). Das spezifische Aufnahmevermögen von Weiden für das Schwermetall Cadmium wurde bereits an einer Vielzahl von Experimenten untersucht. In Tab. 6–29 sind exemplarisch verschiedene Untersuchungsergebnisse zum Aufnahmevermögen von Cadmium und den Entzugspotenzialen verschiedener Pflanzenspezies aufgeführt. Die meisten dieser Daten basieren auf Laboruntersuchungen und überschätzen den Schadstofftransfer Boden-Pflanze unter natürlichen Freilandbedingungen (VASSILEV et al. 2002). Andererseits fanden ROBINSON et al. (2000) an Untersuchungen natürlicher Pappelbestände in Nordfrankreich bei einer sehr variablen Cd-Konzentration im Boden (< 1 bis >300 mg/kg) außerhalb von Emissionslagen signifikante Cd-Konzentrationen in der Biomasse (> 209 mg/kg TM). Sie schließen daher generell auf die Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Laborexperimenten auf Freilandbedingungen. In den Laborversuchen erreichten Weiden bei insgesamt größeren Spannweiten (9 – 167 mg/kg TM) auch höhere maximale Akkumulationsraten als Pappeln (6 – 75 mg/kg TM).

Für die Phytoextraktion durch Weiden auf EDTA⁹-geimpften Böden wurde bei einem unterstellten jährlichen Trockenmasseertrag von 20 t/ha ein potenzieller Entzug von 1.060 g/ha ermittelt (ROBINSON et al. 2000, Tab. 6–29). Durch die EDTA-Applikation kurz vor der Ernte wird eine erhöhte Schwermetallaufnahme um den Faktor 1,5 – 5,3 induziert (AVTUKHOVICH 2003)¹⁰.

Eine überaus wichtige Funktion bei der Phytosanierung kommt auch endophyten Mykorrhiza- und Bakterienstämmen zu. Die Symbionten zeigen eine hohe Resistenz gegenüber Schwermetallen und begünstigen deren Mobilisierung und Pflanzenverfügbarkeit. Der Zusammenhang zwischen Endophyten und einer erhöhten Schadstoffaufnahme durch die Pflanzen konnte in zahlreichen Untersuchungen belegt werden, obwohl die komplexen Prozesse noch nicht vollständig verstanden sind (GOBRAN & LEPP 2003, PÜTTSEPP 2004).

Tab. 6–29: Cd-Extraktionspotenziale einiger Pflanzenspezies (VASSILIEV et al. 2002)

Plant species	Leaf Cd concentration (mg kg ⁻¹)	Reference	Possible DM yield (t.ha ⁻¹)	Possible Cd removal (g ha ⁻¹ .yr ⁻¹)
<i>T. caerulescens</i>	1600	Robinson et al., 1998	2.6–5.2	4160–8320
<i>Salix viminalis</i>	3–40	Riddell-Black et al., 1997	10–16	80–220
<i>Sails viminalis</i>	10–20	Rulford et al., 2002	8	80–160
<i>S. viminalis</i> + EDTA	53	Robinson et al., 2000	20	1060
<i>Nicotiana tabacum</i>	9–40(120)	Kayser et al., 1999a	9–13	90–115
<i>Nicotiana tabacum</i>	50	Gupta et al., 2001	10	500
<i>Brassica juncea</i>	73	Blaylock et al., 1997	4–24	60–80
<i>Zea mays</i>	1–9	Kayser et al., 2000	10	11–74
<i>Hordeum vulgare</i>	3–15	Vassilev, Zapryanova, 1999	5	15–75

Das in Tab. 6–29 aufgeführte *Thlaspi caerulescens* gehört zur Gattung der Heller- bzw. Täschelkräuter, die in Europa weit verbreitet sind und zu den Hyperakkumulatoren zählen. Charakteristisch für die Hellerkräuter sind die extrem hohen Akkumulationsraten für Cadmium, Nickel und Zink.

In einem zweijährigen Feldversuch in England wurden die Phytoextraktionsraten von Hellerkraut, Weiden und Mais auf einem ehemaligen Klärschlamm-Absatzbecken untersucht (Tab. 6–30). Auf einigen Versuchspartzen wurde der Boden zusätzlich mit Lösungsvermittlern behandelt. Die durchschnittlichen Konzentrationen im hoch belasteten Boden betragen zu Versuchsbeginn 44±5,4 mg Cd/kg und 2.300±88 mg Zn/kg. Selbst unter Zugabe

⁹ EDTA (Ethylendiamintetraacetat) ist eine Verbindung die wasserlösliche Chelat-Komplexe mit Metall-Kationen bildet. Die Löslichkeit von Me-Kationen, die sonst in schwerlöslichen Verbindungen vorliegen, wird dadurch stark erhöht.

¹⁰ Zur ökologischen Risikobewertung des Einsatzes von Lösungsvermittlern siehe weiter unten.

verschiedener Metall-Lösungsagenzien erreichen Weiden und Mais bei weitem nicht die Extraktionsraten des hyperakkumulierenden Hellerkrautes für Cadmium. Nach MAXTED et al. liegen die potenziellen Akkumulationsraten und flächenbezogenen Schwermetallentzüge weit über den ermittelten Werten; ein Großteil des Gesamt-Cadmiumgehaltes im Boden war bei dieser Versuchsdurchführung nicht pflanzenverfügbar.

Für Zink lagen die flächenbezogenen Entzugsraten des Weidenklons *Salix dasyclados* auf Grund der sehr hohen Biomasseerträge weit über denen von Mais und Hellerkraut. Bei unterstellten konstanten Transferraten Boden-Pflanze berechneten die Autoren selbst für den Hyperakkumulator *Thlaspi caerulescens* eine Zeitspanne von über 500 Jahren, um die Cd-Konzentration im Boden auf unter 3 mg/kg zu senken; beim Zink wurden für alle untersuchten Pflanzen über 1.000 Jahre als Zeitspanne berechnet, die zur Senkung der Zink-Konzentration unterhalb 300 mg/kg benötigt wird (MAXTED et al. 2002).

Tab. 6–30: Cadmium- und Zink-Konzentrationen und spezifische Entzüge verschiedener Kulturen auf einem mit Klärschlamm kontaminierten Boden (MAXTED et al. 2002)

Crop	Above-ground biomass (t ha ⁻¹)	Cd Conc. in Shoots (mg kg ⁻¹)	Cd Removal (kg ha ⁻¹ y ⁻¹)	Zn Conc. in Shoots (mg kg ⁻¹)	Zn Removal (kg ha ⁻¹ y ⁻¹)
<i>T. caerulescens</i> (Ganges)	2.51	265	0.66	1009	2.53
<i>T. caerulescens</i> (Prayon)	3.03	20.5	0.06	844	2.55
<i>S. caprea x cimeria x viminalis</i> (Calodendron)	13.07	9.41 ^a	0.12	169 ^a	2.21
<i>S. dasyclados</i> (Loden)	31.53	10.72 ^b	0.33	198 ^b	6.09
<i>Z. mays</i>	12.50	7.62 ^c	0.09	117 ^d	1.46

^a Weighted concentration in leaf and stem fraction following application of 10 mmol kg⁻¹ HCl solution.
^b Weighted concentration in leaf and stem fraction.
^c Uptake following application of 10 mmol kg⁻¹ EDTA solution.
^d Uptake following application of 2 mmol kg⁻¹ EDTA solution.

Die Auswertung der Ergebnisse von Feldversuchen, bei denen in den Jahren 1993 – 1996 in der Umgebung von Basel (Schweiz) die Schwermetallakkumulation einiger Kulturpflanzen untersucht wurde, ergab nur eine eingeschränkte Nutzbarkeit der Pflanzen auf verhältnismäßig gering kontaminierten Böden (FELIX 1997). Die Untersuchungen wurden auf basischen Böden mit mäßiger Schwermetallbelastung (Durchschnitt: Cadmium 6,6 ppm, Zink 810 ppm) durchgeführt. In Tab. 6–31 wird die Cadmium-Aufnahme in oberirdische Teile der Pflanzen verglichen. Mit 22 mg/kg Cadmium in der Trockenmasse zeigen Weiden zwar eine geringere spezifische Schwermetallaufnahme als das Hellerkraut *Thlaspi caerulescens*, allerdings ist der Entzug durch Weiden unter Berücksichtigung des Biomasse-Ertrages am effektivsten; damit stehen die Ergebnisse von FELIX in Widerspruch zu denen von MAXTED et al. (2002), was die große Variabilität der Extraktionsergebnisse von Standort- und Versuchsbedingungen verdeutlicht.

FELIX gibt anhand seiner Versuchsergebnisse einen rechnerischen Sanierungszeitraum von minimal 77 Jahren an, um mit Hilfe des Cd-Entzuges von *Salix viminalis* den Cd-Bodengehalt auf 0,8 mg/kg zu senken; ein sehr langer Zeitraum, wenn auch die Weiden am besten in diesem Versuch abschneiden. Andere vielversprechende nachwachsende Rohstoffe zur energetischen Nutzung, wie z. B. *Miscanthus sisensis* oder Raps sind zur Phytosanierung auf Grund ihrer sehr niedrigen Akkumulationsraten völlig ungeeignet (Tab. 6–31). Für *Thlaspi caerulescens* wurden 54 Jahre als notwendige Zeitspanne ermittelt (nicht dargestellt), um die Zink-Konzentration in den oberen 20 cm des Bodens von 810 mg/kg auf 200 mg/kg zu senken. Alle anderen Pflanzen lagen in diesem Versuch um Größenordnungen über der berechneten Sanierungsdauer.

Tab. 6–31: Cd-Akkumulation in Pflanzen (FELIX 1997)

Pflanzen	Ertrag (t/ha)	Cd-Gehalt (mg/kg TM)	Extrahierbares Cd g/(ha·a)	Jahre bis Cd-Gehalt ≤ 0,8 mg/kg
Hyperakkumulierende Wildpflanzen				
<i>Alyssum murale</i> (Mauersteinkresse)	1,3	28	22	777
<i>Thlaspi caerulescens</i> (Hellerkraut)	16	12	192	89
Hyperakkumulierende Kulturpflanzen				
<i>Nicotina tabacum</i> (Tabak)	13	8,6	115	149
<i>Zea mays</i> (Mais)	9,9	7,5	74	231
<i>Brassica juncea</i> (Indischer Senf)	24	3,5	80	214
<i>Salix viminalis</i> (Weiden-Hybrid)	10	22	222	77
Andere Pflanzen				
<i>Miscanthus sisensis</i> (Chinaschilf)	5,6	0,83	4,6	3.717
<i>Papphanus sativus</i> (Rettich)	8,3	06	5	3.420
<i>Brassica napa</i> (Raps)	28	0,83	23	743
<i>Chenop. abum</i> (Weißer Gänsefuß)	6,3	0,32	2	8.550

In einem von 1997 bis 2000 dauernden Anbauversuch in Schweden wurden Weidenklone (*Salix viminalis*) in unmittelbarer Nähe zu einer Batteriefabrik gepflanzt. Vor der Pflanzung der Weiden und nach ihrer Ernte erfolgte eine Schwermetallanalyse des Bodens bis 25 cm Tiefe. Auf den 1 m² großen Messplots wurden unterschiedliche Anzahlen (1-25) an Weidenstecklingen gepflanzt, die nach dreijährigem Umtrieb geerntet wurden. Die Ergebnisse zeigen eine positive lineare Korrelation zwischen Biomasse und Schwermetallentzug aus dem Boden (Abb. 6–20). Dabei wurden die Kupfer- und Nickelgehalte im Boden nach dreijährigen Umtrieb bei maximaler Pflanzdichte um etwa 50 % gegenüber dem Ausgangsgehalt im Boden vor dem Anbauversuch reduziert (GREGER & LANDBERG 2003). Auch die Schwermetallgehalte für Cadmium, Zink und Blei konnten durch den Pflanzenentzug reduziert werden, während sich in der gleichen Zeitspanne die Gehalte in der Nullvariante ohne Bepflanzung nicht wesentlich geändert haben (Tabelle in Abb. 6–20, siehe 0 t/ha). Zusammenfassend konnte ein eindeutiger linearer Zusammenhang zwischen dem Biomassezuwachs und dem quantitativen Schwermetallentzug aus dem Boden nachge-

wiesen werden. Der Biomassezuwachs pro Hektar ist entscheidend für den „effektiven“ quantitativen Schwermetallentzug. Die Extrahierbarkeit der Schwermetalle wird zudem direkt von der Biomasseproduktion, der Wurzelrespiration und -exsudation und dem mikrobiellen Abbau von Wurzelsubstanz stark begünstigt (PULFORD et al. 2002).

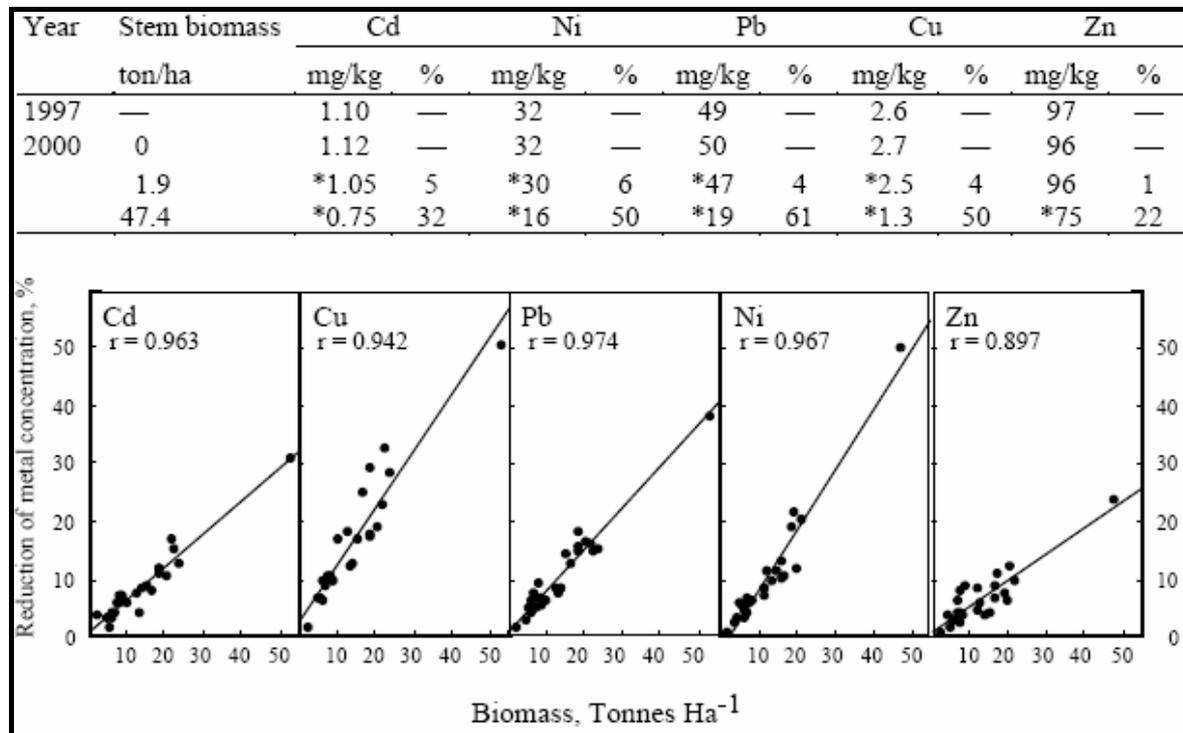


Abb. 6–20: Phytoextraktion mit Weiden (GREGER & LANDBERG 2003)

Schwermetallgehalte (s. Tabelle oben) im Boden vor der Pflanzung der Weiden im Jahr 1997 und nach der Ernte im Jahr 2000 bei unterschiedlichen Pflanzdichten (in mg/kg und in % der Anfangsgehalte; *signifikanter Entzug seit der Pflanzung). In der unteren Grafik ist der Zusammenhang zwischen Biomassezuwachs und den Metallentzügen im Boden dargestellt.

Farne zeichnen sich durch hohe Arsen-Akkumulationsraten aus. Die Farne, allen voran *Pteris vittata*, akkumulieren Arsen bevorzugt im Laubwerk. In Tab. 6–32 sind die Ergebnisse eines zwei Jahre dauernden Versuchs, der auf einer ehemaligen Obstplantage in New Jersey durchgeführt wurde, zur Arsenextraktion verschiedener Kulturen aufgelistet. Die Akkumulationsraten der Farne liegen Größenordnungen über denen der anderen Kulturpflanzen. Bereits nach 100 Tagen nahm *Pteris vittata* aus einem Boden mit einem Asengehalt von 50 mg/kg etwa 1.100 mg/kg in der Biomasse auf. Durch den Anbau von *Pteris vittata* konnte innerhalb von 5 Monaten ein Arsenentzug in den oberen 15 cm des Bodens um 20 mg/kg nachgewiesen werden (BLAYLOCK et al. 2002).

Tab. 6–32: Arsen-Akkumulation in den Trieben verschiedener Kulturen 100 Tage nach der Pflanzung (As-Bodengehalt vor der Pflanzung 50 mg/kg; BLAYLOCK et al. 2002)

Pflanze	As-Gehalt Pflanze mg/kg	Pflanze	As-Gehalt Pflanze mg/kg
Farn (<i>Pteris Vittata</i>)	1.100	Mais	0,5
Boston Farn	4,8	Ind. Senf	0,8
Amaranth	0,5	Senfkohl	3,0
Gerste	0,5	Sonnenblume	0,5
Chin. Senf	0,6	Weizen	1,2

Das Extraktionsvermögen von Sonnenblumen kann nach Untersuchungen von GUIZ et al. (2002) durch Zugabe von Phosphatdüngern erheblich gesteigert werden; es wurden Entzugsraten in der Größenordnung des Farngewächses *Pteris Vittata* gemessen. Bei einer Untersuchung auf Bergbaustandorten in Mexiko wurden hohe As-Gehalte in Sumpfbinsen (168 µg/g bzw. 81 µg/g) ermittelt (FLORES-TAVIZÓN et al. 2002).

In Sachsen startete die LfL im Frühjahr 2005 einen schnellwachsender Baumarten auf einer mit Schwermetallen kontaminierten Fläche. Ziel der Untersuchungen ist die Bestimmung der Zuwachs- und Ertragsleistung sowie der Schwermetallaufnahme von Pappeln und Weiden nach vierjährigem Umtrieb (SCHWARZE & RÖHRICHT 2006). Es bleibt abzuwarten, welche Ergebnisse diese Anbauversuche erbringen werden.

Zusammenfassend kann anhand der Literaturrecherche festgehalten werden, dass nach dem derzeitigen Kenntnisstand Sanierungszeiträume von einigen Dekaden (UNTERBRUNNER 2002) oder gar von einigen hundert Jahren abgesetzt werden müssen. Diese Zeitspannen gelten zumindest für die Reduzierung der Gesamtgehalte in Böden auf unbedenkliche Größenordnungen. Es gibt eine Reihe limitierender Faktoren für den Einsatz von Biomasse zur Phytoremediation. Nach dem heutigen Kenntnisstand spielen die Aufnahmekapazität bzw. -toleranz der Biomasse und vor allem die Mobilisierbarkeit der Schwermetalle in der Bodenlösung, also die pflanzenverfügbaren Schwermetalle eine wesentliche Rolle. Eine Reihe von Pflanzen sind theoretisch in der Lage große Mengen an Schwermetallen und anderen Schadstoffen dem Boden zu entziehen. Wird eine Extraktion des Gesamtmetallgehaltes angestrebt, trifft dieser Idealfall selten zu, denn die Metakationen liegen häufig in schwerlöslichen Verbindungen in der Pedosphäre vor und müssen durch entsprechende Mobilisierungsverfahren pflanzenverfügbar gemacht werden.

Die Anwendung von Komplexbildnern wie EDTA, Tensiden, Zitronensäure u. a. stellt eine Möglichkeit zur Steigerung der spezifischen Extrahierbarkeit durch Erhöhung der Melöslichkeit dar, allerdings sind die Umweltwirkungen der Applikation unter Freilandbedingungen bisher nur unzureichend untersucht worden und sicher nicht zu unterschätzen. Die direkten Wirkungen auf die Pflanze können sich in vermindertem Biomassezuwachs, Pflanzennekrose, Blattabfall, verminderter stomatärer Transpiration und im Umkehrschluss in verminderter Wasser- und Metallaufnahme sowie in der Komplexbildung und dem Entzug von wichtigen Pflanzennährstoffen wie Zn und Cu äußern (ROBINSON et al.

2000). Außerdem ist durch die Applikation eine potenzielle Gefährdung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser durch erhöhte Auswaschungsverluste gegeben. Es sind bereits Verfahren bekannt und patentiert, wie z. B. das Aufbringen eines aus Tonmineralen (Vermiculit) bestehenden Geovlies, das ausgewaschene Schwermetalle bindet (STROHM-LÖMPCKE 2006) und somit die Gefährdung des Grundwassers durch erhöhte Auswaschungsverluste reduziert. Doch wären solche Verfahren sicher nur bei punktuellen Sanierungen ökonomisch vertretbar und kaum für großflächig angelegte Sanierungen geeignet. Weiterhin gilt für die durch die Pflanzen aufgenommenen Schwermetalle, dass durch den mikrobiellen Abbau des Laubabfalls eine potenzielle Gefahr der Freisetzung und Rückführung der Schwermetalle in den Boden besteht; daher ist auch der Anbau mehrjähriger Pflanzen zur Phytosanierung kritisch zu betrachten.

Die Pflanzenaufnahme von Lösungsbeschleunigern stellt wie die hohe Schwermetallaufnahme von Hyperakkumulatoren für äsendes Wild und andere Organismen ein Gefährdungspotenzial dar. Eine energetische Verwertung des Ernteguts sowie die weitere Verwendung von Verbrennungsrückständen können auf Grund hoher Gehalte an Schwermetallen problematisch sein.

Insgesamt ist der Einsatz von Pflanzen zur Sanierung von hoch kontaminierten Standorten ungenügend untersucht und der praktische Einsatz mit einer Vielzahl von Problemen verbunden. Zurzeit scheint sich daher ein Trend zur Phytostabilisierung zu entwickeln; nicht der quantitative Entzug des Gesamt-Schwermetallgehaltes im Boden steht im Vordergrund, sondern vielmehr der Entzug der leicht mobilisierbaren Schwermetalle bzw. die Immobilisierung von Schwermetallen, die potenziell ausgewaschen werden können. Die ohnehin in unlöslicher bzw. schwerlöslicher Form vorliegenden Metallverbindungen stellen keine akute Beeinträchtigung der Wirkungspfade Boden-Mensch, Boden-Pflanze bzw. Boden-Grundwasser dar. Auch der Schadstoffaustrag von belasteten Flächen über Versickerung, Oberflächenabfluss und Erosion kann durch Phytostabilisierung vermindert werden. Insbesondere Weiden eignen zur Phytostabilisierung (KUZOVKINA & QUIGLEY 2005). Untersuchungen zur Schwermetallaufnahme (Cd, Cu, Ni, Zn) von 20 verschiedenen Weidenklonen auf hoch kontaminierten Böden ergaben stark schwankende sortenspezifische Aufnahme- und Akkumulationsraten sowie flächenbezogene Schwermetallentzüge der Pflanzen (Tab. 6–33, PULFORD et al. 2002). Die Ergebnisse dieser Untersuchung verdeutlichen noch einmal die hohe Variabilität und die große Spannweite der potenziellen Schadstoffaufnahme innerhalb einer Pflanzengattung. Neben den hyperakkumulierenden Weidenarten extrahieren einige der untersuchten Klone sehr geringe Mengen an Schwermetallen. Weidenklone eignen sich demnach für unterschiedliche Sanierungskonzepte; Sie können sowohl zur gezielten Phytoextraktion als auch zum Anbau auf schwermetallbelasteten Flächen ohne erwünschte Akkumulation und zur Phytostabilisierung eingesetzt werden. Das sortenspezifische Anreicherungsvermögen der Weiden für Schwermetalle erklärt auch die teilweise stark abweichenden Potenzialangaben zur Phytoextraktion in der Fachliteratur.

Tab. 6–33: Rangfolge von 20 untersuchten Weidenklonen* nach der spezifischen Schwermetallaufnahme in g/ha und nach der Gesamtmetall-Akkumulation. Die flächenspezifische Aufnahme berücksichtigt die sortenspezifische Akkumulation und den Biomasseertrag pro Hektar (PULFORD et al. 2002)

Rang	Cd (g/ha)	Cu (g/ha)	Ni (g/ha)	Zn (g/ha)	Metallgehalt (gesamt)	Ertrag (t TM/ha)
1	61,7 (rw)	58,6 (ge)	37,2 (cn)	822 (rw)	Rw	7,6
2	61,6 (om)	52,8 (rw)	33,4 (ge)	732 (sp)	Ge	3,9
3	56,3 (sp)	37,5 (om)	29,6 (rw)	659 (de)	Sp	4,4
4	47,8 (de)	32,6 (dy)	29,0 (sp)	598 (ca)	De	5,9
5	40,6 (ca)	31,9 (de)	27,3 (de)	539 (om)	Om	5,0
6	33,5 (ge)	25,2 (cn)	18,2 (bj)	478 (ge)	Cn	4,1
7	30,4 (cn)	24,7 (ca)	14,2 (cs)	417 (dy)	Ca	3,8
8	18,4 (dy)	23,8 (sp)	14,0 (dy)	335 (cn)	Dy	4,3
9	18,3 (bj)	21,4 (bj)	8,1 (om)	240 (bj)	Bj	1,9
10	12,9 (cs)	6,5 (cs)	5,6 (ca)	158 (cs)	Cs	1,4
11	6,8 (jo)	6,2 (jr)	4,6 (jo)	90 (jo)	Jo	0,95
12	4,4 (jr)	5,3 (jo)	2,8 (jr)	33,3 (q83)	Jr	0,45
13	3,1 (q83)	5,1 (ulv)	1,7 (q83)	32,6 (ulv)	Q83	0,33
14	2,6 (ulv)	4,3 (q83)	1,6 (ulv)	18,5 (jr)	Ulv	0,35
15	0,54 (to)	1,6 (to)	0,4 (to)	9,9 (to)	To	0,09
16	0,18 (gi)	0,5 (gi)	0,4 (mw)	3,9 (gi)	Gi	0,041
17	0,13 (mw)	0,36 (mw)	0,1 (gi)	3,6 (mw)	Mw	0,025
18	0,11 (699)	0,27 (699)	0,1 (699)	2,0 (699)	699	0,021

* Abkürzungen für folgende Weidenklone: rw (Rosewarne White), om (Othery Moor), sp (Spaethii), de (Delamare), ca (Calodendron), ge (Germany), cn (Candida), dy (Dasclydos), bj (Bjorn), cs (Coles), jo (Jorunn), jr (Jorr), to (Tora), gi (Gigantea), mw (Mawdesley), 699, Q83, Ulv.

6.7 Zwischenfazit – Chancen und Risiken der energetischen Nutzung pflanzlicher Biomasse

Aus Sicht des Natur-, Boden- und Gewässerschutzes bietet die energetische Nutzung pflanzlicher Biomasse aus der Forst- und Landwirtschaft prinzipiell mehr Chancen als Risiken, wenn Anforderungen der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden. Gleichwohl sind sich die Autoren bewusst, dass ökonomische und politische Einflussgrößen auch zu Fehlentwicklungen führen können, die z. B. auf Grund des großflächigen Anbaus weniger, besonders ertragreicher Pflanzen sowohl national als auch international zu Belastungen von Böden und Gewässern beitragen und zum Teil sogar den angestrebten CO₂-Minderungsbeitrag – z. B. durch erhöhte Mineralisierungsraten nach der Trockenlegung von Mooren oder durch die Abholzung von Tropenwald – konterkarieren können.

An dieser Stelle werden nur die grundlegenden Chancen und Risiken der energetischen Nutzung pflanzlicher Biomasse zusammengefasst, die beim Anbau von Energiepflanzen in Deutschland auftreten können. Auf die grundsätzlichen Beiträge zur Minderung der CO₂-Emissionen und der ggf. abweichenden CO₂-Emissionen-Effizienz unterschiedlicher Biomassenutzungsverfahren wird nicht eingegangen. Stattdessen werden ausschließlich die Chancen und Risiken für den Natur-, Boden- und Gewässerschutz benannt. Dabei sind die zusammenfassenden Ausführungen nach den vorstehenden Unterkapiteln gegliedert.

Nutzung holzartiger Biomasse der Forstwirtschaft und Landschaftspflege

Die verstärkte Nutzung holzartiger Biomasse der Forstwirtschaft – wie stehendes und liegendes Totholz, Durchforstungsholz, Kronenholz und Astwerk – ist an den Grundsätzen der Nachhaltigkeit zu orientieren, um damit verbundene Mineralstoffentzüge und Versauerungstendenzen sowie Auswirkungen auf die Habitateigenschaften von Waldstandorten in einem natur- und umweltverträglichen Maß zu halten. Die ausgewerteten Literaturquellen machen deutlich, dass eine an die Standortbedingungen angepasste Entnahme von Waldrestholz natur- und umweltverträglich realisiert werden kann. Mögliche Zielkonflikte zwischen der energetischen Nutzung und anderer ökologischer Leistungen des Waldrestholzes – wie z. B. Belassen des Totholzes als Habitatangebot für wildlebende Tiere oder die Armierung der Rückgassen zum Bodengefügeschutz – müssen vor Ort durch die Entscheidungsträger bei der Abwägung der Nutzungsoptionen berücksichtigt werden. Eine vollständige Entnahme des Waldrestholzes ist aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes abzulehnen.

Die Nutzung holzartiger Biomasse der Landschaftspflege ist grundsätzlich zu begrüßen. Im Hinblick auf den Humus- und Nährstoffhaushalt der Böden unter Landschaftspflegegehölzen sind keine der Waldrestholznutzung vergleichbaren Nachteile zu erwarten, weil die Landschaftspflegegehölze wie Hecken oder Feldgehölze traditionell zumeist einer perio-

disch vollständigen Nutzung ausgesetzt waren und sind. Insofern kann der Aufwuchs aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes energetisch genutzt werden. Dabei sind die in der Praxis üblich abschnittsweise bzw. teilflächenspezifischen Pflegemaßnahmen beizubehalten, um Ausweichmöglichkeiten für wildlebende Tiere bereitzuhalten.

Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse – Kraut- oder grasartige Biomasse

Die Nutzung kraut- oder grasartiger Biomasse zur energetischen Verwertung ist hinsichtlich der Umweltwirkungen weitgehend vergleichbar mit den derzeit üblichen Ackerbaukulturen bzw. Wiesenutzungsverfahren. Aus diesem Grund unterscheidet sich der Anbau dieser Biomaseträger im Hinblick auf ihre Umweltwirkungen auch nicht grundlegend von den derzeit üblichen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren. Stattdessen sind nur graduelle Unterschiede zu erwarten.

Das Spektrum der Ackerkulturen kann sich grundsätzlich durch den Anbau von Energiepflanzen erweitern. Daraus kann sich eine stärkere Differenzierung der Fruchtfolgen ergeben, die sowohl mit einer zeitlichen Aufweitung der Bearbeitungsverfahren als auch mit einer strukturellen Anreicherung der Feldflur verbunden wäre. Beide Effekte kämen prinzipiell dem Artenschutz entgegen.

Aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes bieten sich insbesondere Chancen durch Zweikultur- und Mischanbaufruchtfolgen, deren Praxisreife aber noch Gegenstand von Pilotvorhaben ist.

Als Risiko zeichnet sich die Auswahl weniger rentabler Energiepflanzen ab, die in einseitige Anbaustrukturen oder Monokulturen münden könnten. Insbesondere beim Maisanbau für die Biogasgewinnung wird eine starke Flächenausdehnung erwartet, was bei konventionellen Anbauverfahren zu verstärkter Bodenerosion und erhöhten Pflanzenschutzmittelanwendungen führen wird.

Bei der Bodenbearbeitung und Bestellung sind beim Anbau von Energiepflanzen keine grundlegenden Unterschiede zu erkennen. Im Fall perennierender Energiepflanzen wird die Bearbeitungshäufigkeit reduziert, was grundsätzlich positiv auf das Bodenleben und das Bodengefüge einwirkt. Im Einzelfall kann in der Phase der Bestandsentwicklung ein verstärktes Erosions- und Auswaschungsrisiko bestehen, weil die Bestände sich nur sehr langsam entwickeln, wie z. B. beim Miscanthus. Diesem zeitlich beschränkten Risiko sollte mit geeigneten Mulchverfahren begegnet werden können.

Tendenziell geringere Umweltbeeinträchtigungen sind im Bereich der Düngung und des Pflanzenschutzes zu erwarten. Im Vergleich zu den Qualitätsanforderungen an Lebens- und Futtermittel, insbesondere an den Proteingehalt und die Proteinqualität, werden an Energiepflanzen geringere Anforderungen gestellt, so dass extensivere Anbauverfahren mit geringeren N-Düngergaben und geringeren Pflanzenschutzmittelaufwendungen möglich erscheinen. Gleichwohl ist im Interesse einer optimierten Biomasseproduktion nicht

von einer drastischen Reduzierung des Betriebsmitteleinsatzes auszugehen. Risiken können sich aus einer einseitigen Anbaustruktur von nur wenigen Energiepflanzenarten ergeben; so kann bei einer weiteren Ausdehnung der Raps- und Maisanbaufläche der Pflanzenschutzmittelaufwand steigen, weil der Krankheits- und Schädlingsdruck zunimmt.

Die energetische Nutzung von Grünlandaufwuchs ist mit der Futternutzung vergleichbar. Aus diesem Grund sind keine negativen Effekte zu erwarten, wenn mit der energetischen Nutzung keine Intensivierung (Düngung, Schnitffrequenz) verbunden ist. Ein Grünlandumbruch zum ackerbaulichen Anbau von Energiepflanzen ist abzulehnen, weil damit höhere Stoffausträge in Grund- und Oberflächengewässerkörper verbunden sind.

Von einer Ausweitung der Anbauvielfalt und insbesondere vom Anbau perennierender Kulturen können auch positive Effekte für wildlebende Tiere ausgehen, weil dadurch das Habitatangebot ausgeweitet werden kann. Die Wirkung ist im starken Maße von der vorherrschenden Landnutzungsstruktur abhängig. In strukturarmen Ackerbauregionen wird eine Anreicherung der Feldflur durch den Anbau alter oder neuer Kulturpflanzen deutlich positivere Effekte ausüben können, als in bereits reich gegliederten Landschaften. Dabei sind die Ansprüche der Offenlandschafts-Arten zu berücksichtigen.

Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse – holzartige Biomasse

Im Gegensatz zu den kraut- und grasartigen Energiepflanzen gehen vom Anbau holzartiger Energiepflanzen auf Ackerflächen in Form von Kurzumtriebsplantagen überwiegend positive Wirkungen aus. Durch die Diversifizierung der Landschaftsstruktur wird die wildlebende Flora und Fauna deutlich gefördert; Kurzumtriebsplantagen nehmen eine Zwischenstellung zwischen Ackerhabitaten und Niederwäldern ein.

Die Chancen für den Artenschutz werden durch eine möglichst breit differenzierte Anbaustruktur von Energieholz gesteigert. Als besonders vorteilhaft werden ein Nebeneinander unterschiedlich alter Kurzumtriebsplantagen, Arten- und Sortenmischungen der Gehölze sowie die Einbindung der Plantagen in die Landschaft mit Hilfe von Übergangshabitaten wie Hecken und Säume eingeschätzt. Ansätze zur Gliederung von Landschaften (Biotopverbund) mit Hilfe des Energieholzanbaus können den in Entwicklung befindlichen Agroforstsystemen entnommen werden.

Kurzumtriebsplantagen tragen auch zum Boden- und Gewässerschutz bei, weil die Bodenerosion und die Auswaschung im Vergleich zur Ackernutzung deutlich reduziert werden kann. Der Schutz vor Erosion kann sowohl bei Gefährdungen auf den Anbauflächen selbst (On-Site) als auch bei Gefährdungen anderer Schutzgüter unterhalb potenzieller Erosionsflächen (Off-Site) wirksam werden.

Zeitlich begrenzte Gefährdungen in der Phase der Bestandsgründung sollten mit angepassten Boden- und Pflanzverfahren reduziert werden können; dazu bedarf es noch praxisgerechter Verfahrensentwicklungen, weil derzeit von der landwirtschaftlichen Beratung

durchweg konventionelle Bodenbearbeitungs- und Unkrautregulierungsverfahren empfohlen werden.

Das Bodengefüge und Bodenleben wird durch die Anlage von Kurzumtriebsplantagen insgesamt positiv gefördert. Dem Gefügeschutz bei der winterlichen Ernte ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen, weil bei den grundsätzlich hohen Bodenfeuchtegehalten im Winterhalbjahr massive Bodengefügeschäden nicht per se ausgeschlossen werden können. Auch hier besteht Entwicklungsbedarf für bodenschonende Ernteverfahren.

Rückstände aus der energetischen Biomassenutzung – Gärreste aus Biogasanlagen

Die landbauliche Verwertung von Gärresten aus Biogasanlagen ist unproblematisch möglich. Voraussetzung für eine umweltverträgliche Nutzung der Gärreste ist die boden- und nutzungsangepasste Verwertung, das heißt, die Ausbringung hat mit möglichst verlustarmen Techniken zu erfolgen und die Nährstoffausbringung ist am Pflanzenbedarf und dem Bodenvorrat auszurichten.

Die Güllevergärung ist insgesamt positiv einzustufen, weil durch die Vergärung die Fließfähigkeit verbessert und die Ätzwirkung verringert werden. Aus diesen Gründen ist eine verlustarme Ausbringung möglich. Die gleichzeitig erhöhten Ammoniumgehalte in vergorener Gülle verringern die Gefahr der Nitratauswaschung. Erhöhte Ammoniakverluste nach der Ausbringung sind auf Grund verbesserter Versickerungseigenschaften nicht zu erwarten; gleichwohl sollte auf verlustarme Ausbringungstechniken geachtet werden. Die deutlich reduzierten Methanverluste bei vergorener Gülle sind klimapolitisch sehr günstig zu bewerten.

Zu vermeiden sind Schadstoffbelastungen durch das Einbringen schadstoffbelasteter Co-Fermente. Hier eröffnet sich die potenzielle Gefahr, dass schadstoffbelastete Co-Fermente – z. B. aus der Lebensmittelindustrie oder aus dem Anbau auf Flächen mit erhöhten Schwermetallgehalten – zu einer Belastung der Gärreste führen. Daraus ergeben sich Anforderungen an die Genehmigungs- und Überwachungspraxis.

Bei sehr großen Biogasanlagen kann die ordnungsgemäße Verwertung der Gärreste Probleme aufwerfen. Auf Grund der geringen Transportwürdigkeit der Gärreste ist ein Verwertungsdruck auf anlagennahe Flächen zu befürchten, so dass zum einen der Nährstoffkreislauf durch die unvollständige Rückführung auf die Produktionsflächen unterbrochen wird und zum anderen Nährstoffüberhänge auf den Verwertungsflächen mit der Gefahr erhöhter Nährstoffverluste auftreten.

Rückstände aus der energetischen Biomassenutzung – Aschen aus der Verbrennung von Biomasse

Die Verbrennungsaschen aus der thermischen Nutzung pflanzlicher Biomasse können auf die Produktionsflächen zurückgeführt werden. Mit ihnen werden Nährstoffe zurückgeführt, so dass der Nährstoffkreislauf geschlossen wird. Die Ausbringung von Aschen kann durch pH-Wert-Stabilisierung und Fixierung von Schwermetallen durchaus positive Auswirkungen auf den Bodenchemismus zeigen. Zur Reduzierung der Schadstofffrachten sind jedoch nur die Grobaschen einer Verwertung zuzuführen. Die Feinaschen sind ordnungsgemäß zu entsorgen, weil sich in ihnen Schadstoffe anreichern.

Bei der Verwertung als Kompensationsdünger ist aber auch Schwermetallen, die sich bevorzugt in den Grobaschefraktionen anreichern wie z. B. Chrom, besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Ein entsprechender Verfestigungsgrad der Aschen sollte gewährleistet sein, um einer zu raschen Freisetzung der Inhaltsstoffe und damit verbundenen potenziellen Nährstoff- und Schadstoffverlusten entgegenzuwirken.

Bei der thermischen Verwertung schadstoffbelasteter Biomasse sind die Anforderungen des Bodenschutzes zu berücksichtigen; beim Ein- und Aufbringen der Aschen darf die Schadstoffsituation der Böden nicht verschlechtert werden.

Emissionen in die Atmosphäre

Die thermische Verwertung von pflanzlicher Biomasse ist mit Emissionen in die Atmosphäre verbunden. Bei anuellen Pflanzen sind insbesondere die höheren Nitrat-, Sulfat- und Chloridgehalte problematisch, weil damit auch die Emissionen von NO_x , SO_x und ggf. Dioxinen und Furanen ansteigen. Die Emissionen sind soweit wie möglich durch angepasste Düngungsstrategien und durch die Auswahl nährstoffarmer Pflanzenarten/-sorten zu reduzieren.

Bei anuellen Kulturen und Energieholz gleichermaßen problematisch sind die möglichen Feinstaubemissionen. Ihnen kann technisch mit angepassten Verbrennungs- und Abgasreinigungungsverfahren begegnet werden, was insbesondere bei großen Anlagen auch heute schon technisch realisiert werden kann. Problematisch sind die Kleinf Feuerungsanlagen, an die das geltende Immissionsrecht geringere Anforderungen stellt, so dass hohe Feinstaubimmissionsbelastungen in der Nähe von Kleinf Feuerungsanlagen auftreten können. Bei einem weiterhin ungebrochenen Trend zu Kleinf Feuerungsanlagen können daraus problematische Immissionsbelastungen in Siedlungsgebieten erwachsen.

Landschaftsbild

Die Nutzung pflanzlicher Biomasse zur energetischen Verwertung birgt sowohl Chancen als auch Risiken für das Landschaftsbild. Als Chance wird insbesondere der Anbau von

Energieholz angesehen, wenn der Anbau nicht großflächig erfolgt und die Eigenarten der Landschaften berücksichtigt werden. Annuelle Kulturen sind mit klassischen Kulturen der Ackerwirtschaft vergleichbar, so dass von ihnen nur ein untergeordneter Einfluss auf das Landschaftsbild ausgehen wird.

Als kritisch werden Tendenzen eingestuft, dass sich der Energiepflanzenanbau auf wenige, hochproduktive Pflanzenarten beschränken könnte und sich damit ein monotones Landschaftsbild einstellen würde. Diese Ansätze sind in einigen Regionen Deutschlands bereits erkennbar und werden als „Vermaisung“ und „Verrapsung“ angesprochen.

Anbau von Bioenergiepflanzen auf kontaminierten Böden – Phytoremediation und Phytostabilisierung

Auf schadstoffbelasteten Böden ist zum Teil kein qualitativ hochwertiger Anbau von Nahrungs- oder Futterpflanzen möglich. Vor diesem Hintergrund bietet sich der Anbau von Energiepflanzen als eine Nutzungsoption an. Dabei stehen grundsätzlich zwei Nutzungsmöglichkeiten zur Auswahl. Zum einen kann die Energiepflanzennutzung mit einer gleichzeitigen Sanierung der Böden verbunden werden, wenn durch den Schadstoffentzug mit Hilfe der Energiepflanzen der (verfügbare) Schadstoffgehalt der Böden reduziert wird (Phytoextraktion). Diese Option wird auf Grund der zumeist notwendigen sehr langen Sanierungszeiträume nur in wenigen Fällen praxisgerecht sein.

Zum anderen kann auch das Ziel der Phytostabilisierung verfolgt werden. In diesem Fall wird nicht der Entzug der Schadstoffe aus dem Boden angestrebt, sondern seine Sicherung durch eine verringerte Verfügbarkeit für die Wirkungspfade Boden-Mensch, Boden-Pflanze und Boden-Grundwasser. Dazu werden Pflanzen angebaut, die die Schadstoffe möglichst nicht anreichern. Aus diesem Grund eröffnen sich für solche Pflanzen auch wieder Möglichkeiten der stofflichen und thermischen Verwertung.

Sowohl die Phytoextraktion als auch die Phytostabilisierung haben noch nicht das Forschungsstadium verlassen, so dass praxisgerechte Verfahren einzelfallbezogen entwickelt werden müssen.

7 Steuerungsinstrumente

Die Diskussion der Steuerungsinstrumente hat im Wesentlichen drei Aspekte in den Blick zu nehmen:

Zum einen ist die energetische Nutzung von Biomasse aus vielfältigen energie-, klimaschutz- und strukturpolitischen Gründen ausdrückliches Ziel und daher mit den zur Verfügung stehenden politischen Instrumenten zu fördern.

Andererseits gehen wie von jeder Produktion auch von der Biomasseerzeugung und -verwendung negative Wirkungen auf Natur und Umwelt aus, die es mit einer Auswahl von Instrumenten zu vermeiden oder zu vermindern gilt.

Daneben gibt es positive Effekte für den Umwelt- und Naturschutz, die als Synergieeffekte der Biomassenutzung ggf. bewusst zu fördern und zu nutzen sind.

7.1 Ordnungsrecht

Das Ordnungsrecht bildet den generellen Handlungsrahmen für die Steuerung der Erzeugung und des Einsatzes von Biomasse zu energetischen Zwecken. Ordnungsrechtliche Instrumente haben neben der unmittelbaren Gefahrenabwehr, die in der landwirtschaftlichen Produktion verglichen mit anderen Branchen eher selten eine Rolle spielt, die Aufgabe, die Einsatzvoraussetzungen für flexiblere, ökonomische Anreizinstrumente zu schaffen (Kap. 7.4).

Grundsätzlich gilt es zu unterscheiden zwischen Vorschriften für den Anbau von Biomasse und für die Verwertung in Energieanlagen.

Steuerung der Flächennutzung im Rahmen des Agrarumweltrechts

Nach den Erkenntnissen der Autoren über die Umweltwirkungen (siehe Kap. 6) ist nicht zu rechtfertigen, dass für die Erzeugung von Biomasse und somit für den Anbau von Energiepflanzen generell andere Regeln gelten als für die Erzeugung von Futter- oder Nahrungsmitteln oder Biomasse zur stofflichen Verwertung. Das bedeutet, dass unabhängig vom Verwendungszweck sämtliche Vorschriften des Agrarumweltrechts Anwendung finden müssen. Darin eingeschlossen sind die Grundsätze der „guten fachlichen Praxis“. Auch wenn diese nicht allorten und stets so praktiziert werden wie angestrebt, kann die energetische Verwendung nicht per se Auslöser für höhere Restriktionen sein. Die „gute fachliche Praxis“ der Landwirtschaft regelt den ordnungsgemäßen Anbau aller Nutzpflanzen, d. h. von Nahrungs-, Futter- und Energiepflanzen. Da die Umweltmedien in allen Verwertungsrichtungen in vergleichbarer Weise genutzt werden, wären unterschiedliche Standards kontraproduktiv. Wenn unterschiedliche Standards verwendet würden, ent-

stünde zudem ein zusätzlich zu differenzierender Kontrollbedarf bei der Erzeugung von Biomasse.

Ein Anlass zur Verschärfung des geltenden Rechts spezifisch für den Energiepflanzenanbau ist nach Auffassung der Autoren erst dann gegeben, wenn nachweislich spezifisch negative Wirkungen auf Natur und Umwelt vom Energiepflanzenanbau ausgehen. Bislang ist dies nicht zu erkennen. Gleichwohl ist beispielsweise im Hinblick auf die befürchteten und regional auch bereits festzustellenden einseitigen Anbaustrukturen, insbesondere beim Maisanbau, unabhängig von der energetischen Verwendung zu fragen, ob aus Natur- und Umweltschutzsicht höhere Anforderungen an die Fruchtfolge eines Betriebes zu stellen sind. Denn die Erkenntnisse über die Gefahren insbesondere für den Arten- und Biotopschutz reichen auch heute schon aus, um aus Gründen der Vorsorge zu handeln. Das heißt, es gilt generell zu prüfen, ob die bisher definierten Vorgaben der „guten fachlichen Praxis“ dem Regelungsbedarf entsprechen und ob ggf. konkretere Standards zu formulieren sind oder ob die angestrebten umweltfachlichen Ziele effizienter über andere Instrumente wie etwa die Förderung zu erreichen sind.

Steuerung der Flächennutzung im Rahmen der Bewirtschaftungsstandards für Direktzahlungen an die Landwirtschaft („Cross Compliance“)

Die Argumentation lässt sich auch übertragen auf das ordnungsrechtliche Element der Bewirtschaftungsstandards, die im Rahmen der Direktzahlungen der EU-Agrarförderung einzuhalten sind. Eines der Hauptelemente der Reform der ersten Säule ist, dass die als Flächen- oder Tierprämien bekannten Direktzahlungen nicht mehr an die einzelnen Produkte und Produktmengen gebunden sind („Entkopplung“). Dadurch erhalten Landwirte mehr Entscheidungsfreiheit und können das produzieren, was der Markt verlangt. Dafür sind die Direktzahlungen aber an die Einhaltung der Bewirtschaftungsstandards geknüpft. Dadurch soll eine nachhaltige Landwirtschaft gestärkt werden. Die Vorgaben umfassen die Bereiche Umwelt, Lebensmittelsicherheit, Tier-/Pflanzengesundheit und Tierschutz. Diese Regelung wird als „Cross Compliance“ bezeichnet. Wenn die Bewirtschaftungsstandards nicht eingehalten werden, kann es zur Kürzung oder Streichung der staatlichen Zahlungen kommen.

Zulassung von Gentechnik im Energiepflanzenanbau

Die für die Bewertung des Agrarumweltrechts und für das Cross Compliance genannten Argumente gelten im Übrigen auch für die Anwendung von gentechnisch veränderten Pflanzenarten. Von Seiten der Politik und der Umweltverbände wird befürchtet, dass wegen des steigenden Bedarfs an Biomasse der Ruf nach gentechnischen Veränderungen bestimmter Pflanzenarten (Raps und Zuckerrübe mit Herbizidresistenz, Bt-Mais mit Insektizidresistenz) noch lauter wird, um höhere Erträge zu erzielen und damit effizienter und

letztlich rentabel produzieren zu können, was bisher ohne Fördermaßnahmen kaum möglich ist. Naturschutzverbände sprechen sich eindeutig gegen den Anbau und den Import von gentechnisch veränderten Energiepflanzen aus (z. B. NABU 2007).

Die Debatte über die Zulassung von Gentechnik ist nach Ansicht der Autoren unabhängig vom Nutzungszweck der Biomasse zu führen. Denn es ist nicht zu erwarten, dass die Risiken, die vom Anbau von gentechnisch veränderten Energiepflanzen ausgehen, andere sind als von Pflanzen, die als Futtermittel oder Lebensmittel angebaut werden. Allein die prognostizierte Quantität des Energiepflanzenanbaus erhöht den Druck, zu klären, ob das derzeitige Gentechnikrecht aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes genügend Vorsorge bietet und ggf. verschärft werden sollte.

Bisher beschränkt sich der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen in Europa auf Mais. In Deutschland werden seit einigen Jahren im experimentellen Feldversuch gentechnisch veränderte Organismen freigesetzt. Gentechnisch veränderte Kulturpflanzen gelangen zunehmend auf den Markt: Demnächst könnten Kartoffeln, Raps und Zuckerrüben hinzukommen. Anträge, den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen dieser Kulturarten in der EU zu genehmigen, sind gestellt. Voraussetzung einer Zulassung ist, dass schädliche Umweltauswirkungen nach dem Stand des Wissens auszuschließen sind. Zahlreiche öffentlich geförderte Forschungsprojekte in Deutschland haben sich damit beschäftigt.

Zu den zentralen Punkten des geltenden Gentechnikgesetzes gehört die Vorsorgepflicht. Danach müssen diejenigen, die mit zugelassenen gentechnisch veränderten Produkten umgehen, Vorsorge dafür treffen, dass weder Gesundheit und Umwelt noch die Koexistenz von konventionellen und gentechnisch veränderten Kulturpflanzen wesentlich beeinträchtigt wird. Dieser Vorsorgepflicht soll durch die Befolgung der allgemeinen Regeln der „guten fachlichen Praxis“ erfüllt werden. Dazu gehört beispielsweise die Einhaltung von Mindestabständen zwischen Feldern.

Im Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD ist eine Novellierung des Gentechnikgesetzes vorgesehen. Das Gentechnikrecht soll den Rahmen für die weitere Entwicklung und Nutzung der Gentechnik in allen Lebens- und Wirtschaftsbereichen setzen, so auch im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe. Erörtert wird insbesondere, wie eine Rechtsverordnung zur Konkretisierung der „guten fachlichen Praxis“ beim Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen ausgestaltet werden soll. Es wird daran gedacht, den Erzeuger gentechnisch veränderter Pflanzen zu verpflichten, seine Nachbarn über seine Anbaupläne zu informieren und mit diesen abzustimmen. Pflanzenartspezifische Regelungen sind für den Anbau von gentechnisch verändertem Mais vorgesehen. Unter anderem ist beabsichtigt, einen Mindestabstand zwischen der Anbaufläche mit gentechnisch verändertem Mais und Anbauflächen mit konventionellem oder ökologischem Mais, die als Lebens- oder Futtermittel verwendet werden sollen, festzulegen. Das Bundeslandwirtschaftsministerium schlägt hierzu einen Mindestabstand von 150 Metern vor (BMELV 2007a).

Genehmigung von Biomasseanlagen

Die nachfolgenden Ausführungen zum Genehmigungsrecht im Anlagenbau beschränken sich auf solche Bioenergieanlagen, die landwirtschaftsnah und relevant für die Wertschöpfungskette im ländlichen Raum sind. Großtechnische Anlagen wie etwa zur Produktion von Bioethanol, von Biogas im Kraftstoffmarkt und Pflanzenölen oder auch die Herstellung synthetischer Kraftstoffe auf Biomassebasis (BtL) werden hier nicht näher betrachtet.

Der ordnungsrechtliche Rahmen für die Genehmigung von Bioenergieanlagen berührt zahlreiche Rechtsbereiche und wird am Beispiel von Biogasanlagen in Stichpunkten in der Tab. 7–1 zusammengefasst. Länderechtliche Regelungen spiegeln sich vor allem in der Landesbauordnung wieder.

Tab. 7–1: Vorhabenzulassung am Beispiel von Biogasanlagen

Genehmigungsrechtliche Voraussetzungen für die Errichtung und den Betrieb von Biogasanlagen
<p>Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) – 4. Bundes-Immissionschutzverordnung (BlmSchV) Sind es Einsatzstoffe landwirtschaftlichen Ursprungs – nachwachsende Rohstoffe –, greift das KrW-/AbfG nicht. Werden tierische Ausscheidungen (Gülle, Jauche, Mist) eingesetzt, greift das KrW-/AbfG. Nach der 4.BlmSchV unterliegt die Vergärung und Co-Fermentation von Gülle der Genehmigung.</p>
<p>Baurechtliches Genehmigungsverfahren Anwendungsbereich eines baurechtlichen Genehmigungsverfahrens für Anlagen mit weniger als 10 Tonnen nicht besonders überwachungsbedürftiger Abfälle bzw. weniger als 1 Tonne besonders überwachungsbedürftiger Abfälle nach dem KrW-/AbfG. Geprüft werden Bundes-Immissionschutzgesetz, Abfallrecht, Wasserrecht, Baurecht und Nachweis der Verwertung der Gärrückstände auf landwirtschaftlichen Flächen.</p>
<p>Bioabfallverordnung (BioAbfV): Anwendungsbereich: Verwertung von Bioabfällen Bodenuntersuchungen: Vor erstmaligem Aufbringen von Bioabfällen wird Schwermetallgehalt und pH-Wert geprüft. Menge: 30 Tonnen Trockenmasse pro Hektar in 3 Jahren.)</p>
<p>Immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren 4.BlmSchV Anhang Nr. 8.6 bei mehr als 10 Tonnen Durchsatz von Abfällen. Einzelfallentscheidung, ob im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren eine Öffentlichkeitsbeteiligung durchgeführt bzw. das vereinfachte Verfahren durchgeführt wird. Ab 50 Tonnen Durchsatz Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung. Konzentrationswirkung: Baugenehmigung ist in immissionsschutzrechtlicher Genehmigung eingeschlossen.</p>
<p>Umweltverträglichkeitsprüfung Allgemeine Vorprüfung ab 50 Tonnen Durchsatz von Abfällen Standortbezogene Vorprüfung für Anlagen zwischen 10 und 50 Tonnen Bioabfällen Standortbezogene Vorprüfung bei Verbrennungsmotoren mit einer Wärmeleistung von 1 MW bis unter 10 MW Vorprüfung des Einzelfalls für UVP-pflichtige Intensivtierhaltung</p>

Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb von Biogasanlagen
<p>Gefährdung für Boden und Gewässer: Prüfbereiche sind BImSchG, Baurecht, Abfallrecht, Wasserrecht, Düngemittelrecht, Tierkörperbeseitigungsrecht und Gentechnikgesetz. Abfallrecht greift nicht bei Verwertung ausschließlich landwirtschaftlich erzeugter Einsatzstoffe.</p> <p>Seuchenhygienische Anforderungen (EU-Hygieneverordnung Nr. (EG) 852/2004 und nationale rechtliche Konkretisierungen): Biogene Abfälle enthalten Bakterien, Pilze, Viren und Parasiten. Seuchenrisiken können bei der Lagerung und Behandlung entstehen. Deshalb müssen Bioabfälle mit einer Mindesttemperatur von 55 Grad über 24 Std. und einer Mindestverweildauer von 20 Tagen im Reaktor behandelt werden.</p> <p>Luftreinhaltung: TA-Luft für Biogasanlage und Verbrennungsmotoranlagen</p> <p>Gerüche: TA-Luft für Anlagen mit 30 Tonnen Durchsatz/Tag und maximal 500 GE/m³</p> <p>Lärm: TA-Lärm – in Bezug auf Anlieferung der Einsatzstoffe und Abtransport der Gärreste sowie Maschinen</p> <p>Biomasseverordnung – BiomasseV Anwendungsbereich EEG zur Bestimmung der Stoffe, die Biomasse sind, die technischen Verfahren der Stromerzeugung und die Umweltaanforderungen.</p>
Planungsrechtliche Zulässigkeit
<p>Zulässigkeit über vorhabensbezogenen Bebauungsplan oder im Außenbereich als teilprivilegierte Vorhaben (kleine Bioenergieanlagen < 500 kW): § 35 Abs. 1 Nr. 6 BauGB: nur zulässig im Zusammenhang mit bereits privilegierten Nutzungen (= eingeschränkte Privilegierung) Privilegierung im Zusammenhang mit privilegierten Nutzungen nur, wenn die Anlage dem Betrieb unmittelbar rechtlich zugeordnet ist (GbR, GmbH), Personenidentität besteht und wenn die Anlage zum Schutz des Außenbereichs an der Hofstelle oder dem Betriebsstandort entsteht. Privilegierung nur, wenn Biomasse zu mehr als 50 % aus dem Betrieb bzw. aus dem Zusammenschluss mehrerer Betriebe (kleiner) stammt. Privilegierung nur für eine Anlage pro Hofstelle; zur Begrenzung der Anlagen, um mehreren Betreibern die Errichtung von Biogasanlagen zu ermöglichen. Privilegierung nur, wenn Leistung von 0,5 MW nicht überschritten wird. Dieses Kriterium ist mit der Förderung nach EEG abgestimmt.</p>

Bei den ordnungspolitischen Rahmenbedingungen gibt es derzeit aktuellen Anpassungsbedarf im

Wärmebereich in Bezug auf:

- *die 1. BImSchV zu den Rahmenbedingungen für die Verfeuerung von Festbrennstoffen (Holz, Getreide, Stroh, Ganzpflanzen):*
Eine umfassende Überarbeitung der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungs-

anlagen wird im Eckpunktepapier des BMU mit Stand vom 10. November 2006 u. a. wie folgt begründet.

“Während die Schadstoffemissionen anderer Quellgruppen (z. B. Kraftwerke, Industrieprozesse, Straßenverkehr) rückläufig sind, ist bei Kleinfeuerungsanlagen derzeit aufgrund des zu verzeichnenden verstärkten Holzeinsatzes weiterhin von einem Emissionsanstieg auszugehen.“

“Der angestrebte Ausbau der energetischen Nutzung von Biomasse kann jedoch nur dann eine breite und umweltpolitisch positive Akzeptanz finden, wenn er unter Einsatz moderner Anlagentechnik möglichst umweltverträglich erfolgt. Als flankierendes Instrument hierzu sind anspruchsvolle, am Stand der Technik ausgerichtete Umweltanforderungen an den Betrieb der Anlagen zu stellen, um eine effiziente und emissionsarme Energieumwandlung zu gewährleisten.“

Folgende Neuregelungen werden angestrebt:

- Aufnahme von Getreidekörnern und ähnlichen Brennstoffen (z. B. Getreideganzpflanzen, Getreidepellets, Mühlenrückstände) in die Brennstoffliste,
- Beschränkung des zulässigen Feuchtegehalts für Stückholz, das in handbeschickten Feuerungsanlagen eingesetzt wird,
- Emissionsgrenzwerte für Feuerungsanlagen sowie Anforderungen an den Mindestwirkungsgrad bei Einzelraumfeuerstätten für feste Brennstoffe,
- Anforderungen an Überwachung und Messung.

Strombereich in Bezug auf

- die Biomasseverordnung zur Erweiterung der Begünstigung von tierischer Biomasse im EEG

Kraftstoffbereich in Bezug auf

- *Zertifizierung von Biokraftstoffen*

Mit der Einführung der Beimischungsquote für Biokraftstoffe werden diese in größerem Umfang als bisher auf den Markt gelangen. Die Quote verpflichtet die Mineralölhersteller, ihren Kraftstoffen bis 2010 5,75 % Pflanzensprit beizumischen, den die Konzerne so günstig wie möglich einkaufen werden. Viele Pflanzenöle sind auf dem Weltmarkt billiger zu beziehen als Rapsöl aus europäischer Landwirtschaft, diese Öle werden jedoch häufig unter niedrigen ökologischen und sozialen Standards produziert. Ähnliche Probleme stellen sich auch bei der Benzin-Alternative Ethanol, dessen einheimische Produktion sich mit der aus südamerikanischem Zuckerrohr messen lassen muss.

Allerdings bietet das Biokraftstoffquotengesetz die Möglichkeit, gegenzusteuern: Es erlaubt der Bundesregierung, nur die Biokraftstoffe auf die Quotenerfüllung anzurechnen, bei deren Herstellung bestimmte Mindestansprüche eingehalten werden. Dazu können zum Beispiel eine nachhaltige Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen oder bestimmte CO₂-Mindesteinsparanforderungen zählen. Um sicherzustellen,

dass derartige Anforderungen auch eingehalten werden, kann auf nationale, EU-weite oder internationale Zertifizierungssysteme zurückgegriffen werden, wie sie beispielsweise bereits im Forst-, Holz- oder Kaffeesektor im Einsatz sind.

Im Auftrag des BMELV bzw. der FNR erstellt die Unternehmensberatung meó Consulting Team in Zusammenarbeit mit Vertretern aus Industrie, Handel, Landwirtschaft, Politik und Nicht-Regierungsorganisationen ein Konzept für die Zertifizierung von Bioenergie. Erste Ergebnisse liegen voraussichtlich im Frühjahr 2007 vor, sie werden dann in einem nationalen und einem europaweiten Workshop zur Diskussion gestellt. (BMELV 2007). Des Weiteren bearbeitet das IFEU im Auftrag des UBA eine Studie zur Zertifizierung. Erste Vorschläge zu Standards für Nachhaltige Bioenergie liegen vor vom WWF/Öko-Institut und explizit zu Bioethanol vom Umweltbundesamt in Österreich sowie von der ETH Lausanne in der Schweiz (WIEGMANN & FRITSCH 2006). Auf internationaler Ebene bereitet die FAO einen Bericht zur nachhaltigen Bioenergie vor und innerhalb der G8-Staaten bemüht man sich um die Implementierung von Nachhaltigkeitsstandards für Bioenergie (FRITSCH et al. 2006).

Die aufgezeigten Regulierungsinitiativen und Gesetzesvorhaben werden im Wesentlichen auf Bundesebene entschieden. Auf der Ebene des Freistaates Sachsen ist abgesehen von Initiativen im Rahmen von Bundesgesetzgebungsverfahren ein spezifischer Handlungsbedarf nicht erkennbar.

7.2 Raumbezogene Planungsinstrumente

Für die Diskussion, ob und inwieweit die verfügbaren planerischen Instrumente geeignet sind, den Umgang mit Biomasse zu steuern, ist zu unterscheiden in

- die land- und forstwirtschaftliche Erzeugung von Biomasse, d. h., in die Steuerung der Flächennutzung und
- die Verwertung von Biomasse, d. h., die Standortsteuerung von Bioenergieanlagen.

Die aktuelle räumliche Dimension der energetischen Biomasse-Anbaupfade wird in Kap. 3.1 dargestellt, die mögliche künftige Flächendimension ist zum einen ablesbar an den Zielstellungen zum Ausbau der Bioenergie (Kap. 2.1.1) und zum anderen an den darauf basierenden Abschätzungen zum Flächenpotenzial (Kap. 4.2).

Derzeit werden in Deutschland bereits 13 % der Ackerfläche zum Anbau von Energiepflanzen genutzt (Stand: 2006), folgt man den Zielstellungen der Bundesregierung könnten es je nach Potenzialansatz bis 2020 etwa 2 bis 5 Mio. ha, entsprechend 17 bis 42 % der Ackerfläche, sein. In Sachsen haben Energiepflanzen (noch) einen vergleichsweise niedrigen Anteil von ca. 7 % (Stand: 2005).

Angesichts dieser Dimensionen zu erwarten bzw. bereits beschrieben sind für die globale, nationale und regionale Ebene Flächennutzungskonkurrenzen in Bezug auf den Anbau von Energiepflanzen (SCHÜTZ & BRINGEZU 2006, GÖMANN et al. 2006) sowie für die regionale bzw. Landesebene Konflikte in Bezug auf den Standort von Energieanlagen.

Insofern ist zu fragen, ob die planerischen Instrumente künftig auch in Bezug auf den angestrebten Ausbau von Bioenergie zu einem Ausgleich der verschiedenen Nutzungsinteressen einschließlich der Belange des Natur- und Umweltschutzes beitragen können.

In diesem Kontext in Betracht kommen (Tab. 7–2)

- Räumliche Gesamtplanung (Landes-, Regional- und Flächenutzungsplanung)
- Fachplanung Landschaftsplanung
- Fachplanung Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung

Ein ergänzendes Analyseinstrument zur Ermittlung der erwarteten Dimension des Energiepflanzenanbaus sind regionale Potenzialbetrachtungen (Tab. 7–3).

Tab. 7–2: Räumliche Dimension und raumbezogene Planung mit Funktion

Wirkungsbereich	Planungsebene	Funktion der Planung
Landesebene	Landesplanung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grundsätze und Ziele zur Nutzung von Bioenergie
Region	Regionalplanung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorrangflächen, Eignungsflächen für Anlagen ▪ Vorrangflächen für die Landwirtschaft ('Biomassenutzung')
Landschaft	Landschaftsplanung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bestandsaufnahme ▪ Potenzialanalyse für Biomasseanbau ▪ natur- und umweltbezogene Wirkungsanalyse Flächennutzung (Ist-Nutzung; potenzielle Nutzung) ▪ Nutzungsempfehlungen
	Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung Forsteinrichtung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Potenzialanalyse für Biomasseanbau ▪ regionalwirtschaftliche und ökologische Wirkungsanalyse, betriebswirtschaftliche Rentabilitätsbetrachtungen (Ist-Nutzung; potenzielle Nutzung) Biomasseanbau und energetische Verwertung im ländlichen Raum bzw. in landwirtschaftlichen Betrieben
Kommune	Flächennutzungsplan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausweisung von Standorten für Biomasseanlagen als gewerbliche Baufläche
	Bebauungsplan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorhabensbezogener Bebauungsplan
Fläche/ Schlag	kein Planungsinstrument	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Steuerung der landwirtschaftlichen Flächennutzung außerhalb von festgesetzten Schutzgebieten
Standort einer	im Kontext der Objektplanung:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rechtsverbindliche Zulässigkeitsprüfung

Wirkungsbe- reich	Planungsebene	Funktion der Planung
Anlage	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Raumordnungsverfahren ▪ Umweltverträglichkeitsprüfung ▪ FFH-Verträglichkeitsprüfung ▪ Umweltprüfung (Bauleitpla- nung) 	<i>siehe Kap. 7.1 Ordnungsrecht</i>

Räumliche Gesamtplanung

Auf den Ebenen der Landes- und Regionalplanung ist die räumliche Gesamtplanung gemäß ihrem gesetzlichen Auftrag der legitimierte Akteur, umwelt- und naturschutzfachliche Zielvorstellungen mit anderen Nutzungszielen abzustimmen, Konflikte auszugleichen und in einen verbindlichen Konsens zu führen sowie Vorsorge für die jeweiligen Nutzungen zu treffen. Entsprechend ist es ihre ureigene Aufgabe, Nutzungskonkurrenzen zwischen Biomasseerzeugung und anderen Flächennutzungsansprüchen wie Wohn- und Gewerbeflächenentwicklung, Trinkwassergewinnung, Tourismus und Naturschutz u. a.m. mit ihren Instrumenten räumlich zu ordnen, etwa durch Festlegung von Vorranggebieten oder -standorten.

So ermöglicht § 7 Abs. 4 Satz 1 bis 3 des Bundesraumordnungsgesetzes den Ländern die Festlegung bestimmter Gebietskategorien. In Betracht kommen insbesondere

- Vorranggebiete:
Die vorgesehene Nutzung erhält den Vorrang gegenüber anderen; die Vorrangnutzung entfaltet eine innergebietliche Ausschlusswirkung gegenüber unvereinbaren Nutzungen.
- Eignungsgebiete:
Die vorgesehene Nutzung wird einem „geeigneten“ Raum zugewiesen. Sie entfaltet keinen Ausschluss nach innen, sondern nur nach außen.

Diese Möglichkeiten wurden in einigen Bundesländern bereits für die Steuerung von Windenergieanlagen genutzt. Beispielsweise wurde die Regionalplanung in Sachsen im Landesentwicklungsplan von 2003 beauftragt, die räumlichen Voraussetzungen für die Nutzung von Windenergie zu sichern und dafür eine flächendeckende Planung vorzunehmen (WEICHLER 2005). Die Regionalen Planungsverbände sichern Standorte mit der Kategorie der „Vorrang- und Eignungsgebieten für Windenergie“. Wegen der außergebietlichen Ausschlusswirkung dieses kombinierten Instruments, muss allerdings innerhalb dieser Flächen die grundsätzliche Gewähr bestehen, dass dort die Errichtung einer Windkraftanlage planungsrechtlich zulässig ist. Dieses Vorgehen kann einerseits bei den Kommunen und Investoren zu mehr Planungssicherheit und andererseits in der Öffentlichkeit zu mehr Akzeptanz führen. Inwieweit ein solches Vorgehen in der Zukunft auch bei Bioenergieanlagen geboten erscheint, sollte geprüft werden.

Gründe für die Steuerung von Biomasseanlagen durch das Instrument der Vorrang- und Eignungskönnen z. B. sein:

- Notwendigkeit der interkommunalen Abstimmung
- Konfliktpotenziale zwischen Biomasseanlagen und weiterer Ziele der Raumordnung (z. B. Belange des Natur- und Umweltschutzes)
- Auswirkungen der Anlagen auf schutzwürdige Nutzungen (wegen der Anlagenzahl und der räumlichen Dimension)
- Koordinierungsauftrag bei raumbedeutsamen Vorhaben (§ 35 Abs. 3 BauBG)

Der Planvorbehalt in § 35 Abs. 3 BauGB der ansonsten im Außenbereich privilegierten Biomasseanlagen macht deutlich, dass der Gesetzgeber davon ausgeht, dass auch diese Anlagen raumbedeutsam sein können (aus Erfahrung mit den Windenergieanlagen) und demzufolge eine Steuerung durch die Regionalplanung oder Flächenutzungsplanung erforderlich sein kann. Für die Ausweisung von geeigneten Standorten z. B. für Biogasanlagen spielt sicherlich deren Größe eine entscheidende Rolle. Nach Angaben von BECKMANN (2006) dominieren zahlenmäßig zwar die kleineren Anlagen. Das bestätigen auch die Daten des EEZ über vorhandene Biomasse- und Biogasanlagen (SCHLEGEL, interne Daten mit Stand vom 09.02.2007). Der Trend geht aber zu größeren Anlagen mit mehr als 500 kWel, so auch in Sachsen, wie die Daten des EEZ zeigen.

Die Entwicklung der Größe hängt auf absehbare Zeit von den jeweiligen Förderbedingungen ab. Größere und leistungsfähigere Anlagen dürften als raumwirksam betrachtet werden und deren Standorte dürften im Rahmen der Regionalplanung zu entscheiden sein. Analog zu den Vorrang- und Eignungsgebieten für Windenergieanlagen müssten ein Untersuchungsverfahren und Kriterien für Gebiete für Bioenergieanlagen entwickelt werden.

Ob im Vorgriff zur Regionalplanung ein flächendeckendes landesplanerisches Konzept zur Darstellung von Konzentrationszonen für Biomasseanlagen erforderlich ist, bleibt derzeit angesichts der eher geringen Anzahl der Anlagen in Sachsen im Vergleich zu Windenergieanlagen wohl eher noch abzuwarten. Jedenfalls gilt es die Wechselwirkung zwischen den Kriterien der Anlagenförderung und der Entwicklung des Steuerungsbedarfs im Rahmen der Planungsinstrumente zu beobachten.

In Bezug auf die Flächennutzung wird beispielsweise vom Präsident des Landesbauernverbands Sachsen-Anhalt ZEDLER (LANDESBAUERNVERBAND SACHSEN-ANHALT 2006) gefordert in den Landesentwicklungsplan eine neue Kategorie "Vorbehaltgebiete für Biomassenutzung" einzuführen, um den Anbau und die Lieferung von Biomasse in der Nähe einer Anlage, z. B. einer Biogasanlage, sicherstellen zu können. Auf diese Weise könnten Landesentwicklung und Regionalplanung dazu beitragen, regionale „intelligente“ Energiekonzepte zu befördern, die auf die Nähe zwischen Energieerzeuger und -verbraucher bauen und somit kurze Transportwege anstreben und zur regionalen Wertschöpfung beitragen (z. B. effiziente Kraft-Wärme-Nutzung durch Biogasanlagen in der Nähe von Gewerbestandorten).

In Bezug auf die Bauleitplanung sind LAUER & RÖHNERT (2005) der Auffassung, dass Bioenergieanlagen im Unterschied zu Windenergieanlagen aufgrund ihrer Merkmale mit sonstigen gewerblichen Anlagen zu vergleichen sind und keine spezifischen Ansprüche entfalten und somit auch keiner spezifischen Standortbindung bedürfen. Die Steuerungsinstrumente sind bekannt: Im Flächennutzungsplan kommen gewerbliche Bauflächen in Betracht und auf der Ebene des Bebauungsplans der vorhabensbezogene Bebauungsplan, der dann allerdings auch zu Umsetzung verpflichtet. Darüber hinaus ggf. erforderlich sind eine Feinsteuerung wegen der störenden Geruchsemissionen sowie spezifische Festsetzungen zu Baukörper, Verkehrsfläche, Versorgungsleitungen oder Grünfestsetzungen. Dessen ungeachtet können im Vorfeld der förmlichen Bauleitplanung vorbereitend informelle Steuerungsmöglichkeiten genutzt werden.

Nicht-förmliche Planungen

Neben dem förmlichen Instrumentarium der Landschafts- und Regionalplanung sowie der Bauleitplanung eignen sich für die konzeptionelle Begleitung der Förderung von Biomassenutzung auch nicht förmlich geregelte Planungsinstrumente – vor allem wegen ihrer größeren Flexibilität. Solche Planungen können z. B. im Rahmen der Erstellung von Regionalen Entwicklungskonzepten für das EU-Förderinstrument LEADER+ oder bei anderen Formen des integrierten Regionalmanagements vorgenommen werden.

Einen solchen Ansatz verfolgen z. B. die Länder Rheinland-Pfalz und Brandenburg im Zusammenhang mit der Erarbeitung von räumlichen Leitbildern für den Einsatz erneuerbarer Energien und von regionalen Energieversorgungskonzepten. Grundlage hierfür ist das Landesentwicklungsprogramm, das bereits 1995 der Regionalplanung im Kontext mit der Windenergie die Aufgabe zugewiesen hat, diese Leitbilder zu erarbeiten. Mittlerweile liegen erste Konzepte über das Potenzial und die zukünftige Nutzung erneuerbarer Energien vor. Im Rahmen der regionalen Raumordnungspläne sollen sie konkretisiert und umgesetzt werden. Z. B. verfügt die Region Barnim-Uckermark mit der Initiative „barum111“ über eine Strategie für die Nutzung erneuerbarer Energien. Die Region Elbe-Elster hat in ihrem Konzept für Integrierte Ländliche Entwicklung, der wirtschaftlichen Nutzung von Bioenergie hohe Priorität eingeräumt. Beide Regionen sind überdies Teil des EU-Projekts „5 EURES - Five European RES (Renewable Energy Sources) Heat pilots“.

Auch auf der Ebene des Flächennutzungsplans kann eine positive vorsorgende Steuerung u. U. sinnvoll sein und durch eine informelle qualifizierte Planung erfolgen, um auf kommunaler Ebene oder auf interkommunaler Ebene (Stichwort: interkommunaler Flächennutzungsplan) dezentrale Energiekonzepte unter Einbeziehung von Bioenergie einerseits aktiv zu unterstützen und andererseits mit anderen Belangen verträglich zu gestalten: Dazu wären u. a. Bioenergiepotenziale zu ermitteln, Tabuzonen (z. B. Schutzgebiete) zu identifizieren, Abstände zu schutzwürdigen Nutzungen zu bestimmen, die Planung mit Nachbarkommunen abzustimmen, Netzanschlussmöglichkeiten mit Energieversor-

gungsunternehmen zu eruieren und Synergieeffekte zu prüfen. Die Umsetzung eines solchen informellen Konzepts in den Flächennutzungsplan kann bei der unmittelbaren Vorhabensplanung erfolgen (RÖHNERT 2006, TRINTER 2005). Ein solches Konzept kommt sowohl für Kooperationen zwischen Kommunen als auch zwischen öffentlichen und privaten Vorhabensträgern in Betracht.

Landschaftsplanung

Als Fachplanung des Naturschutzes, die nach § 13ff. BNatSchG flächendeckend und auf mehreren Planungsebenen zu erstellen ist, ist es ohnehin ureigene Aufgabe der Landschaftsplanung die Naturraumpotenziale bzw. Landschaftsfunktionen für die verschiedenen anthropogenen Nutzungen zu ermitteln (RODE & KANNING 2006, KENNEWEG 2004). Ausgehend von der Landschaftsanalyse hat sie über die Bewertung Ziele zur nachhaltigen Entwicklung verschiedener Landschaftsfunktionen abzuleiten und Maßnahmen zur räumlich-konkreten Umsetzung zu erarbeiten. Somit könnte die Landschaftsplanung grundsätzlich naturraumbezogen zur Ermittlung natur- und umweltverträglicher nutzbarer Biomassepotenziale sowie zur Erstellung regionaler Versorgungsszenarien und -strategien beitragen. Zum anderen wäre sie fachlich in der Lage, die Eignung von Standorten für den Anbau von Energiepflanzen, von bestimmten Arten und Anbauverfahren in Relation zu deren Wechselwirkungen mit den Landschaftsfunktionen abzuschätzen und somit zur Vermeidung von Konflikten beizutragen. Im Prinzip sind die Aufgaben in § 2 Abs.1, Nr. 2 und 6 Bundesnaturschutzgesetz bereits vorgedacht: Denn dem Aufbau einer nachhaltigen Energieversorgung insbesondere durch zunehmende Nutzung erneuerbarer Energien wird dem Gesetz nach besondere Bedeutung beigemessen.

Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung, Planungen der Forsteinrichtung

Der Agrarstrukturellen Entwicklungsplanung (AEP) wird in Bezug auf die Querschnittsaufgabe „Agrarstruktur“, zu der auch die Förderung einer umweltverträglichen Landnutzung gehört, eine hohe Problemlösekompetenz und hinsichtlich der Agrarförderprogramme eine starke Steuerungsleistung zugeschrieben, auch wenn sie rechtlich unverbindlich ist.

Insofern scheinen die Fachplanungsinstrumente der Landwirtschaft wie auch der Forstwirtschaft grundsätzlich geeignet, sowohl unter umweltfachlichen, als auch vor allem unter agrarfachlichen und betriebswirtschaftlichen Aspekten nachhaltige Potenziale wie auch geeignete Standorte für den Anbau von Biomasse und für Anlagen zur Verwendung von Biomasse zu ermitteln. Damit hätten diese Instrumente in Bezug auf Biomasse die Funktion der Standortsuche und könnten somit als Fachbeitrag zu anderen Planungsinstrumenten auf derselben Ebene dienen (z. B. regionale Entwicklungsplanungen, Landschaftsplanung). Darüber hinaus können sie als Informationsgrundlage und Impulsgeber für Fördermaßnahmen dienen, z. B. im Rahmen der Förderprogramme nach ELER. Auch

wäre von ihr generell ein Lösungsbeitrag zu Nutzungskonkurrenzen innerhalb der Landwirtschaft und gegenüber anderen Nutzungsansprüchen einschließlich des Natur- und Umweltschutzes zu erwarten.

Da die Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung bei weitem nicht flächendeckend und auch zeitlich nicht kontinuierlich eingesetzt wird, wird sie die benannte Funktion angesichts der durch die Anreizinstrumente ausgelösten Ausbaudynamik bei Bioenergie nur im Ausnahmefall in der Praxis übernehmen können. Dies gilt im Übrigen auch für die Landschaftsplanung. Ähnliches gilt im Grundsatz auch für die Landschaftsplanung, hinzu treten hier erhebliche Vollzugsdefizite bei der Umsetzung der Ergebnisse in die rechtsverbindliche Bauleitplanung.

Ein Beispiel für eine auf das Thema Biomasse eng gefasste Anwendung der Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung ist die der Region Anhalt-Wittenberg (Sachsen-Anhalt). Sie umfasst ausschließlich eine Potenzialanalyse für den Bau von großen Tierhaltungsanlagen in Kopplung mit Biogasanlagen zur Verwertung der anfallenden Biomasse.

Steuerung der Flächennutzung

Über die Standortvorsorge für Energieanlagen und die Analyse- und Zielsetzungsfunktion beim Energiepflanzenanbau hinaus ist zu fragen, welchen Beitrag die Ergebnisse der genannten Planungen zur Steuerung der Flächennutzung tatsächlich leisten können. Dazu muss kritisch festgestellt werden, dass keines der Planungsinstrumente einen eigenständigen rechtlich verbindlichen Zugriff auf die Qualität bzw. Intensität der Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen hat und auch die Struktur der Flächennutzung nur indirekt beeinflussen kann über flächenbezogene Schutzkategorien des Natur- und Wasserschutzes sowie über die Anlage von Landschaftsstrukturelementen (ausführlicher und in Bezug auf Sachsen in: FELDWISCH & MEYER-MARQUART 2006, S. 74ff. und AG BOSCH & PARTNER GMBH 2000).

Abgesehen von den theoretischen Möglichkeiten der Flächennutzungssteuerung sind angesichts der derzeitigen Dynamik beim Anbau von Energiepflanzen planerische Instrumente in ihrer Steuerungswirkung aus der Sicht der Praxis wohl eher mit Skepsis zu betrachten.

Steuerung von Standorten für Anlagen

Gleichwohl ist wie oben aufgezeigt zu prüfen, ob die Regionalplanung und auch die Landesentwicklungsplanung im Bereich des Anlagenbaus dazu beitragen kann, geeignete Standorte zu suchen und planerisch zu sichern, ähnlich wie bei der erwähnten Standortsteuerung von Windenergieanlagen. Bei vergleichbaren Hintergründen unterscheidet sich zwar der Umgang mit Biomasseanlagen erheblich von dem mit Windenergieanlagen.

Sowohl durch die differenzierte Ausgestaltung der Privilegierung als auch durch die bislang deutlich kleinräumigeren Auswirkungen auf die Umgebung ist der Steuerungsdruck für die Kommunen geringer als bei der Windkraft. Doch bei Bioenergieanlagen sind z. B. wegen der Geruchsbelästigung oder aus ethischen Gründen (Stichwort: Getreide verheizen?) u. U. ebenso vehemente Vorbehalte der Bevölkerung gegen solche Anlagen zu erwarten wie bei Windenergieanlagen. Hinzu treten Befürchtungen des Natur- und Umweltschutzes, die sich aber eher auf die Flächennutzung richten (Stichworte sind: Einfallstor für Gentechnik, Monokulturen, Nutzungskonkurrenz gegenüber Naturschutz und ökologischem Anbau, niedrige soziale und ökologische Standards in Biomasse-Exportländern u. a. m.). Durch eine wie oben skizzierte fundierte Planung mit Abwägung der unterschiedlichen Raumansprüche können regionale Energiekonzepte gezielt umgesetzt und kann Investoren Rechtssicherheit und auch Expansionspotenzial geboten werden. Eine fachlich begründete Standortwahl minimiert das Konfliktpotenzial mit anderen Nutzungen schon im Vorfeld. Die Kommunen sichern gleichzeitig ihren Entscheidungsspielraum für die künftige Siedlungsentwicklung.

Regional bzw. standörtlich differenzierte Analyse und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Will man aus Gründen des Natur- und Umweltschutzes eine räumliche Steuerung vornehmen - zunächst einmal unabhängig von der planerischen bzw. politischen Ebene und unabhängig vom einem bestimmten Planungs- oder Förderinstrument, wird erst eine regional bzw. standörtlich differenzierte ökologische wie ökonomische Betrachtung des Biomasseanbaus helfen, raumbezogene Empfehlungen zur Entwicklung einer nachhaltigen Erzeugung von Energiepflanzen im Freistaat Sachsen zu generieren. Zu regionalen Beratungstools und zu Ansätzen der regionalen Steuerung sind bereits einige Forschungsvorhaben vergeben worden, die zum Teil bereits abgeschlossen worden und im Rahmen zukünftiger Tätigkeiten für spezifische Fragestellungen auszuwerten sind (Tab. 7–3).

Tab. 7–3: Auswahl aktueller regionsbezogener Studien zur Standortwahl, Potenzialermittlung und Strategieermittlung von Biomasseanbau und -verwendung

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
Laufende Vorhaben	
Ökologische Optimierung der Produktion und energetischen Nutzung von Biomasse – Natur- und raumverträglicher Ausbau energetischer Biomassepfade (SUNREG II)	Mit dem Ziel, landwirtschaftlichen Betrieben, Anlageinvestoren und regionalen Entscheidungsträgern Entscheidungshilfen zu bieten, wurden in SUNREG I die regionalen Bereitstellungspotenziale aus landwirtschaftlich erzeugter Biomasse (Energiepflanzen, Stroh, Reststoffe) für unterschiedliche energetische Pfade in ausgewählten Modellregionen ermittelt und die ökonomisch sinnvollsten Varianten identifiziert. In SUNREG II werden die aus produktionstechnischer und ökonomischer Sicht erarbeiteten Strategien auf ihre Natur- und Raumverträg-

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
von 2006 bis 2009 TU Hannover, Institut für Umweltplanung Hannover, Michael Rode u. a.	<p>lichkeit bewertet. Zu diesem Zweck werden zwei komplementäre Analysen vorgenommen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ eine raumbezogene Analyse mit einer Verknüpfung von qualitativer Stoffstromanalyse und ökologischer Risikoanalyse ▪ eine akteursbezogene Analyse mittels qualitativer Netzwerkanalysetechnik. <p>So sollen Chancen und Risiken unterschiedlicher Biomasseausbaupfade vom Anbau über die Energieerzeugung bis hin zur Reststoffverwertung identifiziert werden. Als Ergebnis der regionalen Untersuchungen werden Indikatoren und Kriterien entwickelt, die eine Übertragung der modellregionsspezifisch gewonnenen Bewertungen, Planungs- und Handlungsempfehlungen auf andere Regionen erlauben. Im Gesamtergebnis werden Planungs- und Handlungstools erarbeitet, die sich auf eine integrierte Betrachtung der (produktions-)technischen, ökonomischen und ökologischen Beurteilungen stützt.</p>
<p>Entwicklung einer übertragbaren Strategie zur naturverträglichen Biomassebereitstellung auf Landkreisebene (Brandenburg, Bayern).</p> <p>bis 12/2007</p> <p>TU München, Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus, Alois Heißenhuber u. a.;</p> <p>TU Berlin, Institut für landschaftsarchitektur und Umweltplanung, Johannes Köppel u. a., Birgit Kleinschmitt u. a.</p>	<p>Ziel des Projekts sind übertragbare Strategien, die auf lokaler Ebene dazu beitragen, mögliche Konflikte zwischen dem Energiepflanzenanbau und Naturschutz bereits während des Ausbaus der Bioenergienutzung zu minimieren.</p> <p>Zusammen mit lokalen Partnern werden dazu unter Berücksichtigung von naturräumlichen, agro-ökonomischen und naturschutzfachlichen Standortfaktoren Handlungsanleitungen entwickelt, die einem nachhaltigen, naturverträglichem Anbau von Biomasseträgern gerecht werden. Die anhand der untersuchten Landkreise entwickelten praxisorientierten und GIS-gestützten Tools werden ausdrücklich so aufbereitet, dass eine Übertragbarkeit auf andere Regionen möglich sein wird. Die Entwicklung von umsetzungsorientierten Entscheidungsmodulen steht damit im Fokus des Projektes. Untersuchungsgebiete sind der Landkreis Ostprignitz-Ruppin in Brandenburg sowie der Chiemgau in Bayern.</p> <p>Die TU München ermittelt dabei die regionalen Biomassepotenziale auf Basis der regionalen Betriebs- und Produktionsstruktur. Fokus sind hier Flächenpotenziale für den Anbau von Energiepflanzen und Reststoffpotenziale aus Land- und Forstwirtschaft. Die TU Berlin erstellt flächenscharfe Anbauarten und Naturverträglichkeitsprofile für die Biomasseerzeugung.</p>
<p>Abgeschlossene Vorhaben</p>	
<p>Regionale Umsetzungen zur Nutzung des im Rahmen der ökologischen Begleitforschung/ZIP Biomasse entwickelten nationalen Werkzeugs für die Politikberatung „Stoffstromanalyse“ - Bio-Regio</p> <p>bis 11/2006</p>	<p>Im BMU-Projekt „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ (ÖKO-INSTITUT et al. 2004) wurden auf der Basis eines nationalen Betrachtungsansatzes Handlungsempfehlungen zur nachhaltigen Biomassenutzung entwickelt.</p> <p>Zur regionalen Anwendung der Handlungsempfehlungen wird im Rahmen des BioRegio-Vorhabens die Implementierung des entwickelten Instrumentariums im Zusammenhang mit der Initiierung innovativer Technologien in 6 Modellregionen untersucht. Geplante Inhalte sind: Analyse regionalspezifischer Abhängigkeiten der im Vorgänger-Projekt entwickelten Biomasse-Tools, deren Regionalisierung, Untersuchung und Evaluierung der Modellregionen, regionale Implementierung des Biomasse-Tools, Initiierung von innovativen Technologien und nachhaltigen Biomasse-Szenarien. Im Ergebnis liegen für die Modellregionen</p>

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
Institut für Zukunftssysteme Saarbrücken, Ulrich Bemann Öko-Institut, Institut für angewandte Ökologie, Freiburg, Uwe Fritsche Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig, Daniela Thrän Fraunhofer-Institut UMSICHT, Markus Hiebel Institut für Angewandtes Stoffstrommanagement, Birkenfeld, Ralf Gebhard	optimierte Biomasse-Beratungstools vor, deren methodische und strategische Abläufe auch auf andere Regionen übertragen werden können. Sachsen: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Region 5: Mittelsachsen (Landkreise Mittweida, Döbeln, Meissen) mit Kreativzentrum Sachsen e.V., Umweltzentrum Ökohof Auterwitz, das Unternehmen ZUFA-zukunftsfähige fachübergreifende Dienstleistungen, Konzept nachhaltiges Zschadraß; ▪ Auftaktveranstaltung 2005, Workshop 2005, Bockelwitzer Gespräche ▪ zentrale Themen: Biogasanwendung (konventionell in BHKW, innovativ in Gasmotoren), Rapsöl vs. RME, Energieholzanbau ▪ Kooperation mit Modellregion Erzgebirge
Aufbau einer Modell-Region im Erzgebirge zur energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe 2002 bis 2005 TU Dresden, Institut für Internationale Forst- und Holzwirtschaft, A. Bemann	Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Erprobung einer Strategie zur beschleunigten Einführung einer nachhaltigen, dezentralen Energiebereitstellung aus nachwachsenden Rohstoffen. Innerhalb der Landkreise Freiberg, Annaberg und dem Mittleren Erzgebirgskreis soll das regionale Energiepotenzial von nachwachsenden Rohstoffen (Holz) definiert, über eine optimale Dienstleistungsinfrastruktur wettbewerbsfähig erschlossen und dem potenziellen Nutzer vermittelt werden. Ausgehend von einer Marktanalyse soll ein regional übergreifender Verbund aller Entscheidungsträger geschaffen werden. Ein Strategie-Kuratorium wird über Handlungserfordernisse und eine Marktstrategie beraten, ein Fachzentrum dient als Informations- und Handlungsplattform. Die Ergebnisse werden veröffentlicht und vorgestellt. Offene Frage: Begleitende Analyse und Bewertung der Natur- und Umweltverträglichkeit?
Regionale Potenzialstudie „Nachwachsender Rohstoffe“ auf der Basis Geographischer Informationssysteme 2004 bis 2006 FH Eberswalde, FB 2 Landschaftsnutzung und Naturschutz, H.-P. Piorr	Ziel der Analyse und der logistischen Untersuchungen ist die zweckmäßige Standortwahl für Biomassehöfe, um die potenziell anfallende Biomasse in ökonomisch und ökologisch sinnvoller Weise der energetischen Nutzung zuzuführen. In Zusammenarbeit mit dem regionalen Leitprojekt "Biomassehof - Öffentlichkeitsarbeit und Bildung im Bereich Erneuerbare Energien" werden Methoden entwickelt, welche die potenziell anfallenden Biomassen in Forst- und Landwirtschaft visualisieren. Dabei sollen Ergebnisse in verschiedenen räumlichen Auflösungen präsentiert werden und die Übertragbarkeit der entwickelten Methode überprüft werden. Für die systematische Nutzung nachwachsender Rohstoffe werden sowohl regionale Potenzialanalysen als auch, speziell bei der Nutzung von Rohstoffen mit geringer Energiedichte, logistische Analysen angewendet, um eine Optimierung des Energieaufkommens zu erreichen. Als Instrumentarium werden dafür auf der Basis handelsüblicher High-End Softwareprodukte GIS-basierte Methoden entwickelt und einer regionalen Überprüfung unterzogen. Mit Hilfe der Geodaten werden optimale Produktionsstandorte für Energiepflanzen und -fruchtfolgen visualisiert. Aus deren logistischer Untersuchung ergeben sich genaue Informationen für die Planung der

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
	Bioenergienutzung. Ziele der Potenzialanalysen mittels Geographischen Informationssystemen (GIS): <ul style="list-style-type: none"> ▪ Potenzielle Standorte eines Biomassehofes / einer Biogasanlage ▪ Visualisierung der anfallenden Biomasse in den Gemeinden: Ermittlung der "zu erntenden Energie" mit hoher Genauigkeit ▪ Übertragung der entwickelten Methoden von der Gemeindeebene auf kleinräumigere Ebenen bis zur Betriebsebene ▪ Anwendung ebenfalls für großräumigere Bezugsräume (Landkreise, Bundesländer, EU) ▪ Optimierung des Anbaus von Biomasse und deren Verwertung hinsichtlich Energiewirtschaft und Umweltaspekten ▪ Ergebnisse sind Diskussionsgrundlage für die Öffentlichkeitsarbeit und Beratung ▪ Visualisierung von Konkurrenzen zwischen Bioenergie-Verarbeitungsstandorten ▪ Logistische Untersuchungen der potenziellen Standorte Es werden Zentren mit hohem Biomasseaufkommen lokalisiert. Die Modellierungen dienen als Ansatzpunkt für die Diskussion mit Landwirten und Gemeinden.
Regionale Standortanalyse für die Planung von Energieproduktionsanlagen, z. B. Meyer, R. & Angele, H.C (Basler & Partner, Schweiz)	auf der Basis von GIS-Produkten der Firma ESRI
Veröffentlichungen	
BECKMANN, G. (2006): Regionale Potenziale ausgewählter biogener Reststoffe. Informationen zur Raumentwicklung H.1/2.2006, S. 23-33.	Bundesweite regionsbezogene (Raumordnungsregionen) Abschätzung des technischen Energiepotenzials von Getreide-Reststroh (jährlich produzierte Strohmenge, aus Daten zur Getreideernte errechnet), Waldrestholz und Schwachholz (Abschätzung durch Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft anhand Ertragstafeln) sowie tierischen Exkrementen (Rechenmodell nach Kaltschmitt 1992). Offene Frage: Begleitende Analyse und Bewertung der Natur- und Umweltverträglichkeit?
BREUER, T. UND HOLM-MÜLLER, K. (2006): Abschätzung der Chancen aus der Förderung von Biokraftstoffen für die ländlichen Regionen in Nordrhein-Westfalen. Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirt-	Die Untersuchung soll zeigen, in welchen Regionen Nordrhein-Westfalens unterschiedliche Energiepflanzen einen positiven Beitrag zur Einkommensentwicklung leisten können. Nach einem Abgleich der Standortanforderungen unterschiedlicher Energiepflanzen mit den regionalen Verhältnissen dienen die ermittelten regionalen Erträge, Deckungsbeiträge und Kostendeterminanten der landwirtschaftlichen Biomasse als Inputparameter für eine kreisscharfe Analyse möglicher Einkommenswirkungen und einer ersten Abschätzung von Umweltwirkungen mit Hilfe des Agrarsektormodells RAUMIS . Neben der quantitativen Analyse der in der Landwirtschaft schon bekannten Energiepflanzen (Raps, Weizen und Energiemais) wurden mit

Projekttitel Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
schaft“, Landwirtschaftliche Fakultät der rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (Hrsg.). Forschungsbericht Nr. 137, Bonn.	Hilfe von RAUMIS und für die bisher wenig bekannten Energiepflanzen (Schnellwachsende Baumarten, Miscanthus) anhand von qualitativen Analysen auf Basis der vorhandener Daten regionale Erträge, Erlöse und Gewinnmöglichkeiten ermittelt. Um dem Projektionsjahr 2010 gerecht zu werden, muss neben der Abschätzung der Entwicklung des Landwirtschaftssektors auch eine Ein- und Abschätzung der energieökonomischen und vor allem der energiepolitischen Rahmenbedingungen bis zu diesem Zeitpunkt erfolgen. Im Anschluss an die Untersuchung der ökonomischen Potenziale soll dann für ausgewählte Regionen überprüft werden, ob die für eine erfolgreiche Vermarktung notwendigen sozioökonomischen Bedingungen vorliegen und/oder geschaffen werden können. Aus der Analyse der Entwicklungshemmnisse sowie einiger best-practice-Beispiele in ausgewählten Regionen konnten Erkenntnisse darüber gewonnen werden, wie eine Förderpolitik des Ländlichen Raumes nach der neuen Schwerpunktbildung des ELER in Bezug auf Biokraftstoffe aussehen könnte, die die Chancen für diese Regionen erhöht und gleichzeitig mögliche negative Umwelteinwirkungen vorausschauend verhindert (Politikfolgenabschätzung). Offene Frage: Begleitende Analyse und Bewertung der Natur- und Umweltverträglichkeit?
Hemmers, R. et al. (2005): Bioenergienutzung – Strategien und Optionen für lokale und regionale Energiedienstleistungsunternehmen Hrsg. v. SynergieKomm Agentur für Nachhaltigkeit und Innovation	Konzepte zur Geschäftsfeldentwicklung/ Machbarkeitsstudie für Bioenergieanlagen eines Unternehmens (Stadtwerke Oerlinghausen GmbH)
HMULV (2005): Grunddaten und Modelle zur Biomassenutzung und zum biomassepotenzial in Hessen Wiesbaden 2005	„Die vorliegende Studie hat zum Ziel, die aktuelle Biomassenutzung sowie die verfügbaren technischen Potenziale an Biomasse in Hessen zu quantifizieren und die Möglichkeiten zur Mobilisierung bisher ungenutzter Potenziale aufzuzeigen. Dabei werden – im Gegensatz zu anderen Potenzialstudien auf Bundes- oder Landesebene die endogenen Biomassepotenziale auf Ebene der Landkreise ermittelt , was eine sehr detaillierte, kleinräumige Bewertung der Biomassepotenziale in Hessen erlaubt. Vorrangiges Ziel der Studie ist es, die im Land Hessen vorhandenen Biomassepotenziale zu erfassen und hinsichtlich einer zukünftigen Nutzung zu bewerten, um auf diese Weise belastbare Aussagen darüber treffen zu können, ob bzw. in wie weit die Zielvorstellungen des Landes Hessen hinsichtlich des künftigen Beitrags erneuerbarer Energien aus den im Land vorhandenen Ressourcen an nachwachsenden Rohstoffen erreichbar sind. Daher bleiben Stoffströme an biogenen Roh- und Reststoffen bzw. an Bioenergieträgern (Biokraftstoffen) über die Landesgrenzen unberücksichtigt, so dass diese Studie das Land Hessen einer Inselbetrachtung unterzieht.“
HEMME-SEIFERT, K.	RAUMIS als Methodik für die Angebotsanalyse, Äquivalenzkostenme-

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
(2003): Regional differenzierte Modellanalyse der Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung in Deutschland. Landbau-forschung Völknerode: Sonderheft 261, Braun-schweig: FAL, 143 S.	thode zur Preisermittlung für Biomasse Modellanwendung auf ökonomische Fragestellungen: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Biomasseproduktion aus betriebswirtschaftlicher Sicht - Die Studie stellt eine regional differenzierte Politikfolgenabschätzung der derzeitigen Rahmenbedingungen dar. ▪ Biomasseproduktion aus volkswirtschaftlicher Sicht – Die Modellanwendung dient der Frage, welches aus volkswirtschaftlicher Sicht der optimale Produktionsmix der Biomasse ist, wenn ein bestimmter Prozentsatz an Energie aus Biomasse am Primärenergiebedarf in Deutschland gewünscht wird. Quantifizierung makroökonomischer Effekte (Beschäftigungswirkungen, land- und forstwirtschaftliches Einkommen, Steuereinnahmen). Offene Frage: Begleitende Analyse und Bewertung der Natur- und Umweltverträglichkeit?
Linden, R.-D. (2002): Konzeptstudie Systematische Biomassenutzung in der westfälischen Modellregion Münster - Borken – Paderborn. Hrsg. . Geschäftsstelle der Landesinitiativen Zukunftsenergien NRW	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ermittlung der Biomassepotenziale in den Modellregionen ▪ Stoffstromanalyse und Verfügbarkeitsabweichungen holzartiger Biomasse ▪ Logistik von Biomasse ▪ Transportkosten ▪ Logistik und Organisation von Stoffströmen

7.3 Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation

Eine der grundlegenden Voraussetzungen für den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland ist die Akzeptanz der Bevölkerung. Das hat nicht zuletzt der oftmals lokal wie regional sehr umstrittene Umgang mit der Windenergie bereits gezeigt. Auch wird es aus ethischen Gründen („Weizen nicht verheizen!“) wie aus Umwelt- und Naturschutzgründen (z. B. Grünlandumbruch, verstärkter Mais- und Rapsanbau) wesentlich auf die Information und Kommunikation über den Ausbau von Bioenergie ankommen.

Die noch begrenzte Auswahl an laufenden Vorhaben zeigt, dass die Aufgabe der Vermittlung des weiteren Ausbaus von Bioenergie erst mit einer weiter expansiv wachsenden Zahl an Bioenergieanlagen und monostrukturierter Flächennutzung verstärkt kommen wird.

Das Thema Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation umfasst aber nicht nur die Vermittlung zu Zwecken der Konfliktvermeidung und Akzeptanzförderung, sondern auch die Motivation der potenziellen Befürworter, Erzeuger und Kunden von regenerativen Energien (z. B. Projekt Bioenergiedorf, Tab. 7–4).

Tab. 7–4: Auswahl von Studien zum Thema Kommunikation/ Vermittlung

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer, Projektleitung	Kurzcharakterisierung
<p>„Create Acceptance. Cultural influences on Renewable Energy Acceptance and Tools for the development of communication strategies to promote Acceptance among key actor groups”</p> <p>2006 bis 2008</p> <p>Projektpartner in mehreren Mitgliedstaaten der EU; Leitung: Energy research Centre of the Netherlands, Ruth Mourik</p>	<p>Das Projekt hat das Ziel, die Bedingungen für den Einsatz von erneuerbaren Energien mit Hilfe eines Tools für die Förderung der sozialen Akzeptanz zu verbessern.</p> <p>Bislang ist das Wissen über die sozialen Prozesse, die zur Akzeptanz von Technologien im Bereich der erneuerbaren Energien führen, begrenzt. Wenn bei der Impementation nicht berücksichtigt wird, dass Schlüsselpersonen oftmals andere oder konfligierende Vorstellungen von der Innovation haben, kann ein Projekt ernsthaft gefährdet werden.</p> <p>Auf der Basis einer Weiterentwicklung des Tools 'Socrubust' sollen konfligierende Sichtweisen und Haltungen besser antizipiert werden. Als empirische Grundlage dienen fünf Demonstrationsprojekte in fünf verschiedenen Ländern, die verschiedene Technologien abdecken. In Deutschland handelt es sich um das Bioenergiedorf Jühnde. Projektpartner in Deutschland ist das Öko-Institut (Kontakt: Karin Wiegmann)</p>
<p>„Akzeptanz und Strategien für den Ausbau Erneuerbarer Energien auf kommunaler und regionaler Ebene”</p> <p>2005 bis 2008</p> <p>Partner im Projektverbund: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Instituts für Psychologie (Forschungsgruppe Umweltpsychologie), Petra Schweizer Ries; Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Timon Wehnert Ecologic - Institut für Internationale und Europäische Umweltpolitik, Camilla Bausch</p> <p>Die Ergebnisse des Projektes werden im Rah-</p>	<p>Das Projekt betrachtet aus sozial- und verhaltenswissenschaftlicher Perspektive die sozialen Begleiterscheinungen der Stromerzeugung mittels Erneuerbarer Energieträger aus Windenergie (Windkraftanlagen On-Shore), Sonnenenergie (Photovoltaik-Freiflächenanlagen) und Bioenergie. Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert. Projektträger ist das Forschungszentrum Jülich (PTJ-EEN).</p> <p>Innerhalb des Projekt unterscheiden sich die Schwerpunkte und die eingesetzten Methoden der Projektpartner: Akzeptanz - Instituts für Psychologie</p> <p>In diesem Projekt werden aus sozial- und verhaltenswissenschaftlicher Perspektive die sozialen Begleiterscheinungen der Stromerzeugung mittels Erneuerbarer Energieträger aus Windkraft, Sonnenenergie und Bioenergie betrachtet.</p> <p>Dabei soll untersucht werden, wo Empfindlichkeiten auftreten und wie eine Umgestaltung der Energieversorgung sozial akzeptiert und konsensfähig ermöglicht werden kann. Hierfür wird die momentane Akzeptanzlage anhand von Fallstudien ebenso detailliert ermittelt wie konkret auftretende Akzeptanzprobleme und die mögliche Akzeptanzgewinnung im Vorfeld einer Planung. Zusätzlich werden die Merkmale derjenigen Regionen untersucht, in welchen eine gelungene Umsetzung stattgefunden hat.</p> <p>Mittels quantitativer und qualitativer Methoden werden Definitionen des psychologischen Konstruktes „Akzeptanz“ erarbeitet und Akzeptanzprofile entwickelt. Ziel ist es, Strategieempfehlungen zu Planungs- und Umsetzungsverfahren zu geben und ein standardisiertes Messinstrument zu entwickeln, das Akzeptanzdefizite im Vorfeld aufzuspüren hilft, um dann gemeinsam mit den beteiligten Akteuren akzeptierte Lösungen zu erreichen.</p>

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer, Projektleitung	Kurzcharakterisierung
<p>men der vom BMU und dem Zentrum für Technik und Gesellschaft (ZTG) organisierten Konferenz "Den Ausbau erneuerbarer Energien gestalten" am 19. April 2007 auf den IBA-Terrassen in Großräschchen vorgestellt.</p>	<p>SKEP – Entwicklung einer „Strategischen Kommunalen Energiepolitik“ (IZT) Zielsetzung des Forschungsprojektes ist es, den unterschiedlichen Akteuren konkrete Handlungsempfehlungen zu geben, wie sie auf einen stärkeren Einsatz von Erneuerbaren Energien in ihrer Kommune hinarbeiten können. Dabei steht der Nutzen für die Kommune im Vordergrund - so können etwa durch das positive Image der Erneuerbaren andere Aktivitäten der Kommune besonders im Bereich der Energieeffizienz vorangetrieben werden.</p> <p>Dafür werden im Rahmen des Forschungsvorhabens, kommunales Know-how und Instrumente evaluiert und als Bausteine einer zukünftigen "Strategischen Kommunalen Energiepolitik" zusammengetragen. Dabei sollen besonders übergreifende Instrumente identifiziert und gemeinsam mit kommunalen Vertretern weiter entwickelt werden, so dass die Kommunen die Nutzung und Förderung Erneuerbarer Energien strategisch vorantreiben können. Hierbei soll explizit auf die bestehenden kommunalen Strukturen im KEM und in der Bauleitplanung zurückgegriffen werden. Die erarbeiteten Handlungsempfehlungen für kommunale Akteure werden in einer nutzerfreundlichen und praxisorientierten Broschüre zur Verfügung gestellt.</p> <p>Akzeptanzuntersuchung Erneuerbarer Energien auf regionaler Ebene (Ecologic) Ziel des Projektes ist es zu untersuchen, welche Faktoren für Betroffene auf regionaler Ebene von besonderer Bedeutung sind und die Betroffenen zu unterstützen, Projektideen mit Blick auf ihre jeweilige wünschbare Zukunft zu entwickeln.</p> <p>Im Rahmen des Projekts veranstaltete Ecologic insgesamt fünf Zukunftswerkstätten, in denen Repräsentanten aus Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Zivilgesellschaft zusammenkamen, um Zukunftsvisionen zu entwerfen und deren Durchsetzungsmöglichkeiten zu überprüfen. Die Kritikpunkte, Wünsche und Ideen der Betroffenen können interessante Informationen über zukünftige Potenziale und Konfliktherde im Bereich der Erneuerbaren Energien geben und damit auch zu Akzeptanzfragen geben</p> <p>u. a. Zukunftswerkstatt in der Lausitz zum Thema Biomasse, in Leipzig zu flächenhaften Fotovoltaikanlagen</p>
<p>„Nachwachsende Rohstoffe – Qualifizierung lokaler Akteure und Erarbeitung von Kommunikationsstrategien aus Sicht des Umwelt- und Naturschutzes“</p> <p>2006 bis 2007</p> <p>Dachverband der Land-</p>	<p>Das vorliegende Projekt hat folgende Schwerpunkte:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Chancen und Risiken des Energiepflanzenanbaus für den Umwelt- und Naturschutz sollen allgemeinverständlich aufbereitet und kommuniziert werden, um dem Informationsbedürfnis örtlicher Umwelt- und Naturschutzgruppen nachzukommen. ▪ Lösungsvorschläge zur Integration von Umwelt und Energieerzeugung sollen erarbeitet und kommuniziert werden. ▪ Ferner soll diskutiert werden, welche Anforderungen an eine nachhaltige Energie- und Agrarpolitik im Hinblick auf den Anbau von Energiepflanzen gestellt werden. ▪ Die Ergebnisse und Vorschläge sollen in einem Expertendialog mit

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer, Projektleitung	Kurzcharakterisierung
schaftspflegeverbände (DVL), Christof Thoss; Naturschutzbund deutschland (NABU), Florian Schöne; Arbeitsgemeinschaft bäuerliche Landwirtschaft (AbL), Ulrich Jasper	Vertretern von Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Wissenschaft erörtert werden mit dem Ziel, gemeinsame Vorschläge für Leitlinien bzw. Kriterien (Kriterienkatalog) zu erarbeiten. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Alle Ergebnisse werden veröffentlicht und den Verbänden des Umwelt- und Naturschutzes sowie der Landwirtschaft auf regionaler Ebene an die Hand gegeben. Dies soll u. a. in Form einer Fachbrochüre sowie in Form von übersichtlichen Informationsblättern (Argumentationshilfen) geschehen. ▪ Eine allgemeine Presse- und Öffentlichkeitsarbeit soll den Einfluss des Biomasseanbaus auf den Umwelt- und Naturschutz stärker in Politik und Öffentlichkeit ins Bewusstsein rücken.
<p>„Das Bioenergiedorf - Voraussetzung und Folgen einer eigenständigen Wärme- und Stromversorgung durch Biomasse für Landwirtschaft, Ökologie und Lebenskultur im ländlichen Raum“</p> <p>2000 bis 2008</p> <p>Universität Göttingen, Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung, Hans Ruppert u. a. Sozialwissenschaftler, Peter Schmuck</p>	<p>In dem Vorhaben Das Bioenergiedorf ist geplant, unter aktiver Beteiligung der Bevölkerung und eines Ingenieurbüros die Strom- und Wärmeversorgung eines Dorfes auf die Basis von Biomasse umzustellen. Hierdurch soll gezeigt werden, dass eine umweltfreundliche Energieversorgung im ländlichen Raum nicht nur technisch durchführbar, sondern auch erschwinglich ist.</p> <p>Teilaspekt: Auf der Basis gesellschaftswissenschaftlicher Analysen soll herausgefunden werden, mit welchen Argumenten, Maßnahmen und Vorgehensweisen, Konzepten und Strategien Menschen im ländlichen Raum dafür gewonnen werden können, ihren Bedarf an Wärme und Strom auf der Basis von Biomasse zu decken. Hierauf aufbauend sind übertragbare, öffentlichkeitswirksame Konzepte und Modelle zu entwickeln.</p> <p>- Dorf Jühnde</p>

7.4 Ökonomische Anreizinstrumente

Den – abgesehen von Nutzungsverböten und Geböten – größten und dynamischsten Einfluss auf die Flächennutzung haben finanzielle Anreizinstrumente wie Förderprogramme, Emissionszertifikate und Steuern. Auch auf den Bau von Energieanlagen haben diese Instrumente abgesehen vom Genehmigungsrecht einen hohen direkten und indirekten Einfluss.

Zu dem Instrumentarium der Förderung von Biomasse für Zwecke der energetischen Verwendung bzw. generell von erneuerbaren Energien gehört eine Vielfalt von Maßnahmen auf allen politischen Ebenen, die erst in den letzten rund fünf Jahren in dem Umfang begonnen wurden. Begründet werden sie mit Effekten für die Energieversorgung, den Klimaschutz sowie für die Beschäftigung, insbesondere im ländlichen Raum (Kap. 2.1.1).

Als Handlungsfelder besonders zu berücksichtigen sind Bereiche der Energiepolitik (Kap. 2.1) sowie der Agrar- und Forstpolitik einschließlich der Politik für den ländlichen Raum (Kap. 2.2.2 und 2.2.3).

In der Energiepolitik richtet sich die Struktur der Maßnahmen nach der Form der bereit gestellten Energie. So gibt es in Deutschland bezogen auf die Energieformen umfangreiche Anreizsysteme für erneuerbare Energien, die die ökonomischen Instrumente Förderung, Steuern und Emissionszertifikate und entsprechend eine Reihe von verschiedenen Maßnahmen umfassen (siehe auch in der Übersicht Tab. 2–2 und im Detail Anhang Tab. 10–1):

- *Strom*
 - Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)
 - Kraft-Wärme-Kopplung-Gesetz (KWKG-Gesetz) (unabhängig von Stromquelle)
- *Wärme*
 - Marktanzreizprogramm zur Förderung von erneuerbaren Energien (neue Förderrichtlinien ab 2007)
 - Kraft-Wärme-Kopplung-Gesetz (KWKG-Gesetz) (unabhängig von Stromquelle)
 - Geplant: Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (Wärme-EEG oder EEW)
- *Kraftstoffe*
 - Energiesteuergesetz
 - Biokraftstoffquotengesetz
- *Übergreifende ökonomische Maßnahmen:*
 - Ökologische Steuerreform
 - CO₂-Zertifikatehandel
 - Förderung F&E
 - Finanzierungsprogramme der KfW
- *Landesprogramme zu Förderung von Investitionsmaßnahmen (Bioenergieanlagen)*
Sachsen:
 - Förderprogramm Immissions- und Klimaschutz einschließlich der Nutzung erneuerbarer Energien

Im Bereich der Agrar- und Forstpolitik handelt es sich vornehmlich um Förderprogramme, die sowohl den Anbau bzw. die Erzeugung von Biomasse fördern als auch Anreize für Investitionen in Energieanlagen setzen, um die Wertschöpfung im Agrarsektor zu diversifizieren und zu erhöhen (siehe Tab. 2–2 bzw. ausführlich im Anhang Tab. 10–1). Über die

Forschungsförderung und Öffentlichkeitsarbeit des Freistaates und die Agrarinvestitionsförderung (s. Kap. 2.2.2) hinaus ist das Immissions- und Klimaschutz-Programm das zentrale Anreizinstrument zur Förderung von Bioenergieanlagen in Sachsen (vgl. Tab. 2–3).

Im Bereich der investiven Förderung gibt es vielfältige Überschneidungen zwischen Bundes- und Länderregelungen (z. B. Bioenergieanlagen), die aus Landessicht eine Feinsteuerung nach Kriterien des Umwelt- und Naturschutzes u. U. erschweren.

Kriterien zur Bewertung von Fördermaßnahmen

Für die Bewertung der Maßnahmen aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes relevant sind die ökologische Wirksamkeit und die Fähigkeit zur räumlichen Anpassung an konkrete Umweltbedingungen, aus Klimaschutzpolitischer Sicht spielt die Frage der Vermeidung von CO₂ und anderer Treibhausgasen eine vordringliche Rolle und aus volkswirtschaftlicher Sicht sind besonders die ökonomische Effizienz und politische Beherrschbarkeit vordringliche Kriterien. Für die Energiepolitik ist es der Dreiklang aus Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und CO₂-Vermeidung.

Aus der Sicht der Fördermittelempfänger und somit für die Akzeptanz von Fördermaßnahmen bedeutsam ist nicht allein die Höhe der Vergütungen, sondern weitere Faktoren wie die Stabilität der (bzw. das erweckte Vertrauen in die) Förderpolitik, die Höhe des Investitionsrisikos und die Stärke nichtökonomischer Barrieren, wie eine EU-weite Studie im Bereich der regenerativen Stromerzeugung deutlich gezeigt hat (RAGWITZ et al. 2006). Diesen Erkenntnissen folgend sollen nach einer Initiative des Europäischen Parlaments zur Förderung von erneuerbaren Energien im Wärmebereich (2005/2122(INI)) nationale Anreizinstrumente künftig bestimmte Förderprinzipien berücksichtigen:

- durch mittel- bis langfristig stabile Förderbedingungen Investitionssicherheit gewährleisten;
- durch verlässliche Laufzeiten der Instrumente Stop & Go-Marktentwicklungen vermeiden;
- effiziente und systematische Förderung zur Zielerreichung garantieren;
- Wirtschaftlichkeit erneuerbarer Energietechniken durch den Aufbau von Massenproduktion beschleunigen;
- den besonderen Bedürfnissen der Technologien Rechnung tragen und das langfristige Ziel verfolgen, die Ausschöpfung des Potenzials der verschiedenen Technologien zu erreichen;
- Förderungen mit zunehmender Marktreife der Technologien schrittweise auslaufen lassen.

Eine umfassende Bewertung anhand dieser und ggf. weiterer Kriterien ist an dieser Stelle nicht zu leisten. Für den Zweck der Vorstudie werden cursorisch einige aktuelle Aspekte der Diskussion zur Modifizierung derzeitiger Fördermaßnahmen zusammen getragen.

Positionen zur Förderpolitik aus volkswirtschaftlicher Sicht

In einer allgemeinen volkswirtschaftlichen Betrachtung kommt HENKE (2006) auf der einen Seite zu dem Schluss, dass Bioenergien zwar einen Beitrag zum Umweltschutz und zur Energieversorgungssicherheit leisten können, dass dieser Beitrag aber teilweise teuer erkaufte und deutlich begrenzt ist. Bioenergien weisen in den meisten Fällen noch eine zu geringe Wettbewerbsfähigkeit auf und sind häufig keine effiziente klimapolitische Option.

Wenn die Differenzkosten gegenüber fossilen Energieträgern bei anhaltend hohen Erdölpreisen sinken und die Wettbewerbsfähigkeit von Bioenergie steigt - unter der Annahme, dass die landwirtschaftlichen Rohstoffpreise nicht steigen (!) -, dann ist auf der anderen Seite zu fragen, ob der Staat in den Markt eingreifen und Bioenergie fördern soll (ISERMEYER & ZIMMER 2006).

Von der förderpolitischen Grundsatzfrage abgesehen weist die Bioenergie-Politik nach Auffassung von ISERMEYER & ZIMMER (2006) derzeit deutliche Begründungsschwächen auf:

- Dem Argument „Beitrag zum Umwelt- und Ressourcenschutz“ wird entgegen gehalten, dass Deutschland nur einen geringen Beitrag zur Erreichung der globalen energie- und klimapolitischen Ziele leisten kann. (Denn der Anstieg des Primärenergieverbrauchs ist in den Schwellenländern besonders stark (vgl. HENKE 2006). Knappe Mittel werden durch ineffiziente Maßnahmen vergeudet. Die Förderung der Bioenergie wird nicht hinreichend mit anderen umweltpolitischen Maßnahmen abgestimmt.
- Die Versorgungssicherheit im Bereich Energie wird zu Ungunsten der Sicherheit im Bereich der Nahrungsmittelversorgung erreicht. Wenn nur 10 % des Endenergieverbrauchs durch inländisch produzierte Bioenergie gedeckt werden soll, wird ein großer Teil der Nahrungsmittelerzeugung ins Ausland verlagert. Denn die nach der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik mehr und mehr ungeschützte Nahrungsmittelerzeugung wird dem Wettbewerb mit der stark produktionsabhängig geförderten Bioenergie ausgesetzt.
- Im Hinblick auf die angestrebten Beschäftigungseffekte, insbesondere im ländlichen Raum, ist zu berücksichtigen, dass dem Zugewinn an Arbeitsplätzen in der Bioenergie-Branche ein Verlust in der Nahrungsmittelbranche und anderen Bereichen gegenübersteht.

Die Autoren resümieren deshalb: Je stärker die Bioenergie aus der Nische tritt, desto wichtiger sei es, die bisherige Förderpolitik zu überprüfen und die Instrumente konsistenter auf die Ziele auszurichten. Nicht zuletzt deshalb sind ein Gesamtwirtschaftliches Energiekonzept und ein abgestimmter nationaler Biomasseaktionsplan dringend erforderlich.

Weitere Vertreter der Agrarwirtschaft, wie Agrarwissenschaftler SCHMITZ, und der Präsident der DLG, BARTMER, warnen generell vor einer allzu intensiven Intervention im Be-

reich der Bioenergie: Eine zeitlich begrenzte Initialförderung für technologische Entwicklungen sei wichtig, aber eine dauerhafte Feinsteuerung ist nicht wünschenswert, die Interventionsfehler der Agrarpolitik dürften nicht wiederholt werden. Die Entscheidung über die Flächennutzung müsse dem unternehmerischen Geschick des Landwirts überlassen bleiben (DLG 2007; Ernährungsdienst 10. Januar 2007, S. 2).

Diskussion zur Modifizierung derzeitigen Fördermaßnahmen

Im Detail werden von verschiedenen Seiten folgende Ansatzpunkte zur Modifizierung derzeitigen Fördermaßnahmen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) diskutiert:

Anbau von Energiepflanzen bzw. Erzeugung von Biomasse

Wegen der zunehmenden Nutzungskonkurrenz zwischen Biomasseerzeugung auf der einen Seite und Nahrungs- und Futtermittelerzeugung auf der anderen Seite und der begrenzt zur Verfügung stehenden Ackerflächen ist kritisch zu prüfen, ob eine *Stilllegung von landwirtschaftlichen Ackerflächen* noch länger gefördert werden soll und nach welchem Konzept diese Maßnahme ausläuft.

Der Wegfall der indirekten Förderung des Anbaus von *nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen* mit entsprechender Prämie kann durch die Energiepflanzenprämie aufgefangen werden. Bevor allerdings wesentliche Anreizinstrumente verändert werden, ist auf EU-Ebene zu klären, welcher Selbstversorgungsgrad bei Nahrungsmitteln künftig angestrebt wird und welches Biomassepotenzial angesichts dieser und anderer Restriktionen wie Anforderungen des Naturschutzes und der Agrarumweltprogramme sowie anderer Flächenansprüche zur Verfügung steht und gefördert werden soll.

Die Leistung von Direktzahlungen ist an die Einhaltung von Bewirtschaftungsstandards geknüpft (*Cross Compliance*). Aufgrund der derzeitigen Anreize zum Anbau von Energiepflanzen und aufgrund der wirtschaftlichen Vorzüglichkeit von einigen wenigen Kulturarten wäre aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes zu prüfen, ob eine Modifizierung der Bewirtschaftungsstandards geeignet wäre, die Intensität und Vielfalt der Anbausysteme positiv zu beeinflussen. Eine solche Regelung dürfte sich nach dem Stand der Kenntnis über die Umweltwirkungen (Kap.6) jedoch nicht exklusiv auf den Anbau von Energiepflanzen beschränken und müsste konsistent bei flächenbezogenen Direktzahlungen und bei der Anlagenförderung angewendet werden (vgl. Argumentation Kap. 7.1).

Weitere Empfehlungen zur Modifizierung der Fördermaßnahmen im Bereich der Biomasseerzeugung richten sich auf die Erweiterung des Kultur- und Sortenspektrums und beinhalten die verstärkte Einführung von Mischkulturen und Zweikulturnutzungssystemen sowie die Förderung der Züchtung und Entwicklung wirtschaftlicher Kulturarten und -sorten (z. B. AG LANDWIRTSCHAFT UND NATURSCHUTZ VON DLG UND WWF 2006, DRL 2006). Beispiele für Letzteres sind neue Roggensorten oder Pappelhybriden für Kurzumtriebsplan-

tagen. Bei welcher Fördermaßnahme dieses Anliegen konkret implementiert werden sollte, etwa im Rahmen der Energiepflanzenprämie und/oder der (noch gewährten) Stilllegungsprämie oder im Rahmen der Ablagenförderung durch das EEG, ein künftiges EEW oder im Rahmen der landwirtschaftlichen Forschungsförderung und Beratung bleibt dabei offen.

Auch das zuständige Fachministerium bzw. die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe hält u. a. wegen des hohen Maisanteils an der Biogaserzeugung eine Intensivierung der Anbau- und Züchtungsforschung zur Erweiterung des Anbau- und Sortenspektrums für unerlässlich (STOLTE 2007). So werden im Rahmen der Forschungsförderung durch das Programm Nachwachsende Rohstoffe Vorhaben u. a. unter dem Gesichtspunkt der Biodiversität unterstützt: Dazu gehören erstens der bundesweite Anbauversuch „EVA“ mit einer ökologischen und ökonomischen Begleitforschung, zweitens Züchtungsprojekte zu neuen Biomasse-Genotypen von Roggen, Raps und Rüben sowie Sonnenblume und Hirse und deren Einbindung in leistungsfähige „Energiefruchtfolgen“ und drittens das abgeschlossene Verbundvorhaben zu Energiepflanzen für die Biogasproduktion mit Untersuchungen zu potenziellen Energiepflanzen, wie Hirsen, Klee- bzw. Luzernegras und durchwachsende Silphie im Vergleich mit Mais (STOLTE 2007, FNR 2006). Die Energiepflanzenzüchtung einschließlich schnell wachsender Baumarten wird auch in Zukunft ein wichtiger Forschungsschwerpunkt der Fachagentur sein (STOLTE 2007).

Auf Landesebene könnte eine naturräumlich bzw. standörtlich differenzierte Analyse des Biomasseanbaupotenzials dazu beitragen, im Kontext regionaler Energiekonzepte Empfehlungen zur Entwicklung einer nachhaltigen Erzeugung und Verwendung von Biomasse zu generieren. Eine wirksame Beeinflussung der Flächennutzungsstruktur kann allerdings nur gelingen, wenn die angestrebten Anbausysteme und Kulturen im Vergleich zu den derzeitigen „Boom-Kulturen“ Mais und Raps eine wirtschaftliche Alternative darstellen. Die Erstellung von regionalen Potenzialanalysen als auch darauf aufbauender Energiekonzepte könnte beispielsweise im Rahmen der Gemeinschaftsinitiative LEADER+ Gegenstand der Förderung nach der ELER-Verordnung sein.

Als Grundlage für die Einführung oder Anpassung von Fördermaßnahmen für naturverträgliche Biomasseproduktion sollen in einem für 2007 geplanten Vorhaben des BfN (UFOPLAN des BfN, Nr. 3507 82 150) Mindeststandards für die Ermittlung regionaler Potenziale sowie standortangepasster Produktionsmengen/-grenzen und zielorientierte Restriktionen für den Anbau in ausgewiesenen Schutzgebieten (Naturschutzgebieten, Wasserschutzgebieten etc.) erarbeitet werden. Die Ergebnisse sollen in Form eines Leitfadens zur Verfügung gestellt werden. Damit soll eine weitestgehende Integration der Naturschutzanforderungen in den Biomasseanbau und eine Vermeidung von Flächenkonkurrenzen insbesondere auch im Hinblick auf Auen und Überschwemmungsgebiete ermöglicht werden.

Wegen der Konkurrenz zur tierischen Veredlung und der infolge dessen massiv gestiegenen Pachtpreise plädiert der DLG-Präsident für eine Schwerpunktsetzung beim Energiepflanzenanbau in Ackerbauregionen. Zugleich warnt er aber auch vor einer Feinsteuerung der Anreizinstrumente durch eine regionale Differenzierung der Förderung, weil damit Fehlsteuerungen bei anderen Zielen wie bei der bisherigen Agrarpolitik vor der GAP-Reform vorprogrammiert sein (z. B. Einkommensziele der Agrarförderung).

Förderung bestimmter Bioenergiepfade

Die *Wärmenutzung* bietet im Vergleich der anderen Pfade das höchste Energiepotenzial, die höchste Energieeffizienz und die geringsten CO₂-Vermeidungskosten, weshalb in diesem Bereich weitere Anreize zur Verwendung von Biomasse gefordert werden und ein entsprechendes Gesetzesvorhaben in Vorbereitung ist (Kap. 2.1.2). Gerade wegen der im Verhältnis besseren Wirtschaftlichkeit müssten die Anreize allerdings auch zeitlich begrenzt und die Kriterien für das Ende der Förderung transparent sein.

Im Bereich der regenerativen *Stromerzeugung* hat das EEG hohe Anreize für den Ausbau der Biomassenutzung gesetzt. Insbesondere der Bonus für nachwachsende Rohstoffe hat zu einer hohen Attraktivität von Silomais und damit zu einer erheblichen Ausweitung des Anbaus geführt. Aus der Sicht des Natur- und Umweltschutzes wäre zu prüfen, ob der gewährten Bonus für nachwachsende Rohstoffe zu modifizieren ist. So fordern z. B. NABU und DVL (2006) gemeinsam, den so genannten NaWaRo-Bonus (§ 8 Abs. 2 EEG) an einen Kulturlandschaftsfaktor mit bestimmten Kriterien zu koppeln, wie z. B.:

- Beschränkung des Anteils einer Fruchtart (z. B. Silomais) in der Biogasanlage auf maximal 50 %
- Nachweis einer ökologischen Ausgleichsfläche (z. B. Saumstrukturen, Blühstreifen, Feldgehölze, Extensivgrünland) in Höhe von mindestens 5 ha pro 100 kW Anlagenleistung
- Verzicht auf Fungizide und Insektizide
- Verzicht auf Grünlandumbruch
- Verzicht auf gentechnisch veränderte Organismen.

Die Autoren dieser Vorstudie betrachten eine Sonderregelung im Pflanzenbau für den Verwendungszweck „Energie“, wie bereits in Kap. 7.1 ausgeführt, grundsätzlich mit Skepsis und halten diese momentan im Ordnungsrecht für nicht gerechtfertigt, weil bisher nicht nachgewiesen werden kann, dass von den Energiepflanzen spezifische negative Umweltwirkungen auf Natur und Landschaft ausgehen. Vielmehr liegen die Ursachen für die befürchteten zusätzlichen Risiken des Energiepflanzenanbaus (Verengung der Fruchtfolgen, Intensivierung der Bewirtschaftung) in der Ausweitung einiger weniger betriebswirtschaftlich besonders lukrativer Kulturen infolge einer attraktiven Förderung, etwa durch das EEG. Insofern wäre aus der Sicht des Umwelt- und Naturschutzes zu prüfen, ob die Anreize für den Anbau und die Verwendung von Biomasse nach dem EEG künftig qualifiziert und die Förderung des Energiepflanzenanbaus mit besonderen Bewirtschaftungs-

bzw. Umweltstandards (z. B. hinsichtlich der Erweiterung des Kulturartenspektrums) ausgestattet werden sollte. Dies schließt auch eine Definition und Qualifizierung der Biomasse ein (Stichwort: Herkunft und Art der Biomasseimporte; Zertifizierung; siehe unten).

Mit der Intention, Anreize für eine nachhaltige Erzeugung und Nutzung von Biomasse zu setzen, gilt es auch den Bonus für Kraft-Wärme-Kopplung und den Technologiebonus im EEG zu überprüfen (§ 8 Abs. 3 und 4): Es sollte Ziel sein, besonders umwelt- und naturverträgliche Anbau- und Produktionsmethoden sowie energieeffiziente und emissionsarme Techniken zu honorieren. Beispielsweise schlagen NABU und DVL vor, den Bonus erst für Technologien ab einem Nutzungsgrad von 70 % zu gewähren.

Nach Auffassung der Autoren ist allerdings die Förderung einer bestimmten Anbauform, Biomasseherkunft oder Technologie volkswirtschaftlich nur zu verantworten, wenn diese Aussicht haben, nach einer gewissen Anlaufzeit auch ohne Förderung wirtschaftlich zu werden. Abgesehen von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben sollte eine Regelförderung jeweils am ökoeffizientesten Pfad ansetzen.

Derzeit wird ein Erfahrungsbericht zum EEG erarbeitet, mit einer Novellierung des EEG ist vor 2008 nicht zu rechnen (BÜSGEN 2006). Insofern kann bis zu einer Änderung der Regelungen fundiert untersucht werden, ob in diesem Gesetz auf effiziente Weise Anreize für eine umweltverträgliche Erzeugung und Verwendung von Biomasse gesetzt werden sollten oder ob dies an anderer Stelle noch kosten- und umweltwirksamer geschehen kann (z. B. durch die Konkretisierung der guten fachlichen Praxis und der Bewirtschaftungsstandards im Rahmen des Cross Compliance unabhängig vom Verwendungszweck). Für den Bereich der biogenen Reststoffe ist bereits eine begleitende Auswertung des EEG und der Biomasseverordnung bezüglich der aus umwelt-, energie- und agrarpolitischer Sicht gewünschten Steuerungswirkung auf den Weg gebracht worden (MÜLLER-LANGER et al. 2006). Analog sollte die Lenkungswirkung für den Anbau und die Verwertung von Energiepflanzen untersucht werden.

Entsprechend sollte bei der derzeitigen Ausgestaltung des EEW von vornherein darauf geachtet werden, Anreize für eine umweltverträgliche und mittelfristig ohne Fördermittel rentable und somit ökoeffiziente Erzeugung und Verwendung von Biomasse zu setzen und dafür entsprechende Fördervoraussetzungen zu definieren. Dies betrifft insbesondere die Verwendung von Getreide, Stroh und Holz aus Kurzumtriebsplantagen.

Angesichts der Vielzahl der indirekten und direkten Förderungen von Biogasanlagen im Rahmen des EEG, des Agrarinvestitionsprogramms bzw. der Modernisierungsförderung nach ELER, des Sonderkreditprogramms der Rentenbank und im Rahmen des sächsischen Landesprogramms Immissions- und Klimaschutz und angesichts der hohen Rentabilität allein schon durch das EEG ist kritisch zu fragen, ob künftig eine andere Schwerpunktsetzung der Förderung vorzunehmen ist und Impulse in bisher weniger schwungvoll

ausgebaute, aber effizientere Bereichen gesetzt werden, wie beispielsweise bei der Feststoffverbrennung zur Wärmeerzeugung. Dies setzt allerdings eine sorgfältige Überprüfung der Ökoeffizienz von Stroh, Getreide und Kurzumtriebholz und ggf. von weiteren Festbrennstoffen voraus. Besonders bei Getreide gilt es auch die ethische Diskussion zu führen und zu klären, ob eine Förderung der Getreideverbrennung jenseits der Verwertung minderwertiger Partien vermittelbar ist.

Wenn auch die heute einsatzfähigen *Biokraftstoffe* der 1. Generation (Biodiesel, Ethanol, Pflanzenöl) sehr differenziert beurteilt werden müssen, werden doch von vielen Seiten die Schwächen der Biokraftstoffe in der Zusammenfassung ähnlich beurteilt: Bedingt durch hohe Umwandlungsverluste ist die Energieeffizienz gering, die CO₂-Vermeidungskosten sind hoch und die Produktion bisher nicht ausreichend wirtschaftlich (TANGERMANN & VON LAMPE 2007, 2006; SRU 2005). Auch wenn die verschiedenen Kraftstoffe der 2. Generation (BtL-Kraftstoffe) wesentlich höhere Energieerträge erbringen können, sind diese bei weitem noch nicht im großen Maßstab einsatzfähig und wirtschaftlich zu erzeugen (DENA 2006). Mit diesen Argumenten wird aus Natur- und Umweltschutzsicht grundsätzlich abgeleitet, dass der Schwerpunkt einer Förderung eher auf verbrauchsarmen Antriebstechniken liegen müsste (z. B. SRU 2005). Der weitere Ausbau ist jedoch politisches Ziel der EU und des Bundes und der Anteil am konventionellen Kraftstoff mit Inkrafttreten des Biokraftstoffquotengesetzes zum 1. Januar 2007 eben erst rechtlich fixiert. In diesem Kontext hat ZEDDIES (2006) untersucht, ob die Quote mit inländisch erzeugter Biomasse zu erfüllen wäre, insbesondere auch vor dem Hintergrund der derzeit hohen Getreidepreise. ZEDDIES kommt zu dem Ergebnis, dass die Quote mit Biodiesel und Pflanzenöl nicht zu erreichen wäre und Bioethanol die einzige schnell ausbaufähige Technologie wäre, die ausreichend Flächen- bzw. Biomassepotenzial hätte, für die allerdings eine erhebliche Ausdehnung der ökonomischen Anreize im Bereich Ethanol zulasten der Biogasförderung notwendig wäre.

Die Beimischungsquote verpflichtet die Mineralölhersteller, ihren Kraftstoffen bis 2010 5,75 % Biokraftstoffe beizumischen, den die Konzerne so günstig wie möglich einkaufen werden. Viele Pflanzenöle sind auf dem Weltmarkt billiger zu beziehen als Rapsöl aus europäischer Landwirtschaft, diese Öle werden jedoch häufig unter niedrigen ökologischen und sozialen Standards produziert. Ähnliche Probleme stellen sich auch bei der Benzin-Alternative Ethanol, dessen einheimische Produktion sich mit der aus südamerikanischem Zuckerrohr messen lassen muss. Aufgrund der im internationalen Vergleich geringen Wirtschaftlichkeit vieler Biomassepfade wird ein zunehmender Import von Biomasse nicht nur für die Kraftstoffherstellung erwartet. Beispielsweise hat der russische Agrarminister GORDEJEW eine breite Exportoffensive für Biomasse aus seinem Land angekündigt (ERNÄHRUNGSDIENST Nr. 6 vom 24.01.2007, S.1)

Analog zur Diskussion um Cash Crops in den vergangenen Jahrzehnten werden erneut ökologische, soziale und bezogen auf bestimmte Bevölkerungsschichten wirtschaftliche

Folgeprobleme erwartet, die schon heute im Zusammenhang mit Palmölimporten aus Indonesien oder Zuckerrohr aus Brasilien offen diskutiert werden.

Das Biokraftstoffquotengesetz hat die Möglichkeit gegenzusteuern: Es erlaubt der Bundesregierung, nur die Biokraftstoffe auf die Quotenerfüllung anzurechnen, bei deren Herstellung bestimmte Mindestansprüche eingehalten werden. Dazu können zum Beispiel eine nachhaltige Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen oder bestimmte CO₂-Mindesteinsparanforderungen zählen. Um sicherzustellen, dass derartige Anforderungen auch eingehalten werden, kann auf nationale, EU-weite oder internationale Zertifizierungssysteme zurückgegriffen werden, wie sie beispielsweise bereits im Forst-, Holz- oder Kaffeesektor im Einsatz sind.

Die Einführung eines solchen marktkonformen Zertifizierungssystems für Biomasse wird von vielen Seiten empfohlen (u.a. NABU 2007; EEB & BirdLifeInternational, Pressemit. v. 07.06.2006; DRL 2006; SRU 2005). Wegen der generellen handelspolitische Bedenken wird von einem Teil der Befürwortern angeregt, nicht den Zugang zum Markt auf direktem Weg zu regulieren, sondern Anlageinvestitionen nur zu fördern oder Bioenergie nach dem EEG oder künftig eventuell nach einem EEW nur höher zu vergüten, wenn zertifizierte Biomasse verwendet wird (NABU 2007; WIEGMANN & FRITSCH 2006).

Im Auftrag des BMELV bzw. der FNR erstellt die Unternehmensberatung meó Consulting Team in Zusammenarbeit mit Vertretern aus Industrie, Handel, Landwirtschaft, Politik und Nicht-Regierungsorganisationen ein Konzept für die Zertifizierung von Biokraftstoffen. Erste Ergebnisse liegen voraussichtlich im Frühjahr 2007 vor, sie werden dann in einem nationalen und einem europaweiten Workshop zur Diskussion gestellt. (BMELV 2007). Des Weiteren bearbeitet das IFEU im Auftrag des UBA eine Studie zur Zertifizierung. Erste Vorschläge zu Standards für Nachhaltige Bioenergie liegen vor vom WWF/Öko-Institut (Fritsche et al. 2006) und explizit zu Bioethanol vom Umweltbundesamt in Österreich sowie von der ETH Lausanne in der Schweiz (WIEGMANN & FRITSCH 2006). Auf internationaler Ebene bereitet die FAO einen Bericht zur nachhaltigen Bioenergie vor und auch innerhalb der G8-Staaten bemüht man sich um die Implementierung von Nachhaltigkeitsstandards für Bioenergie (Fritsche et al. 2006).

Bundes- und Landesbehörden halten sich unter Verweis auf die politischen Zielvorgaben zum Ausbau der Bioenergie mit der Kritik an aktuell fallweise zu beobachtenden nachteiligen Folgen des Biomasseanbaus zurück. Es zeigt sich aber, dass die Förderinstrumente aus Nachhaltigkeitserwägungen in naher Zukunft vorsichtig umgesteuert werden: z.B. mittelfristig durch Einstellen der Förderung von Biogasanlagen, keine Förderung bei Verwendung von Palmöl, Verhindern von Grünlandumbruch für Zwecke des Energiepflanzenanbaus in NATURA 2000-Gebieten.

Zusammenfassend wird darauf verwiesen, welche energiepolitischen Maßnahmen in dieser Legislaturperiode diskutiert und erarbeitet werden und wo demzufolge Ansatzpunkte

für eine Steuerung zugunsten der Natur- und Umweltverträglichkeit gegeben sind (BÜSGEN 2006):

Politische Ebene	Maßnahme
Land	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Förderrichtlinien nach ELER
Bund	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erarbeitung eines „Gesamtwirtschaftlichen Energiekonzeptes“ ▪ Nationaler Biomasseaktionsplan ▪ EE Wärme Gesetz ▪ EEG Erfahrungsbericht 2007, danach ggf. in 2008 EEG-Novelle ▪ Entscheidung über die Laufzeitverlängerung von 4 AKW
EU	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ziele zu erneuerbaren Energien für die Zeit nach 2010 ▪ Mitteilung der Kommission zur RL 2001/77/EG (EE-Richtlinie - Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt) ▪ RL zum Einsatz von erneuerbaren Energien bei der Wärmeerzeugung (3. Regelung nach Strom und Kraftstoffen)

7.5 Zwischenfazit

Aus Gründen des Umwelt- und Naturschutzes werden im Bereich des *Ordnungsrechts* im Wesentlichen spezifische Bewirtschaftungsstandards zur Steuerung des Energiepflanzenanbaus diskutiert. Sonderregelungen für den Energiepflanzenanbau könnten Anwendung finden bei der Ausgestaltung der „guten fachlichen Praxis“ im Agrarumweltrecht, im Gentechnikrecht und bei den Bewirtschaftungsstandards im Rahmen der Direktzahlungen an die Landwirtschaft (Cross Compliance). Da ein Bedarf an besonderen Standards aus der Analyse der vorliegenden Literatur über die Umweltwirkungen der betreffenden Kulturpflanzen nicht abzuleiten ist, kommen die Autoren der Vorstudie zu dem Schluss, dass der Energiepflanzenanbau nicht Anlass für eine Neufassung von ordnungsrechtlichen Standards sein kann, sondern unabhängig davon eine aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes in bestimmten Punkten defizitäre landwirtschaftliche Flächennutzung. Etwaige Änderungen wären auf Bundesebene umzusetzen.

Angesichts der zunehmenden Flächennutzungskonkurrenz durch die Biomasseerzeugung ist der Natur- und Umweltschutz in noch stärkerem Maße als bisher gefordert, insbesondere auf Landesebene, seine Anforderungen an die Fläche und an die Qualität der Nutzung im Rahmen des gegebenen Natur- und Umweltschutzrechts geltend zu machen und zu vollziehen. Dies betrifft in Sachsen hauptsächlich den Schutz des Grünlands und den Schutz und die Anlage von Landschaftsstrukturelementen sowie den Schutz von Ackerflächen vor Bodenabtrag.

Notwendige rechtliche Anpassungen, die sich auf die Errichtung und den Betrieb von Bioenergieanlagen beziehen, wie die Novellierung der 1. BImSchVO und die Erweiterung der Biomasseverordnung werden ebenfalls auf Bundesebene vorgenommen.

Für die Landesebene sind über das Ordnungsrecht hinaus eher Handlungsansätze im Bereich der Planungs- und Förderinstrumente gegeben:

So können die formalen Instrumente der *räumlichen Gesamtplanung*, insbesondere der Regionalplanung und der Flächennutzungsplanung, zu einer vorsorgenden Standortsicherung und Konfliktvermeidung bei Bioenergieanlagen beitragen (analog zur Windenergie). Davon abgesehen können auf beiden Ebenen flexible nicht-förmliche Planungsinstrumente veranlasst werden, um „intelligente“ regionale Energieversorgungskonzepte vorzubereiten und zu begleiten und die Förderung von Anlageinvestitionen und Energiepflanzenanbau im Rahmen der auf Landesebene beeinflussbaren Programme mit zu steuern und gezielte Schwerpunktsetzungen vorzunehmen.

Wenn eine räumliche Steuerung angestrebt wird, sei es aus Gründen des Umwelt- und Naturschutzes und/oder der Energieversorgung, werden unabhängig von einem bestimmten Planungs- oder Förderinstrument regional differenzierte ökologische Verträglichkeitsanalysen und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen als Informationsgrundlage benötigt. Hierzu liegen bundesweit bereits einige Ansätze vor, auf die zurückgegriffen werden kann. Fallweise können die Analysen auch im Rahmen der Fachplanungen der Landwirtschaft und des Naturschutzes vorgenommen werden.

Für den weiteren nachhaltigen Ausbau der Bioenergie werden in Ergänzung zu den planerischen Instrumenten voraussichtlich Kommunikationskonzepte über die Öffentlichkeitsarbeit hinaus erforderlich, um die Akzeptanz für Bioenergie in der Bevölkerung und die Motivation bei den potenziellen Investoren zu fördern. Hier gilt es zunächst die Entwicklung in den Regionen Sachsen zu beobachten.

Im Bereich der *Förderinstrumente* werden im Wesentlichen zwei Ansatzpunkte für eine stärkere Ausrichtung der Bioenergie auf eine nachhaltige Nutzung diskutiert: Zum einen sollen die Energieeffizienz und andere ökologische Parameter bei der Steuerung der Anlagenförderung einen noch höheren Stellenwert erhalten, zum anderen soll die verwendete Biomasse auf nachhaltige Weise erzeugt werden. Für Letzteres könnten Bewirtschaftungsstandards als Fördervoraussetzungen eingeführt werden, die über die „gute fachliche Praxis“ hinausgehen und darauf ausgerichtet sind, durch die Förderung induzierte negative Umweltwirkungen zu vermeiden (z. B. durch Verengung der Fruchtfolgen und Intensivierung der Bewirtschaftung).

Für eine Modifizierung bzw. Einführung der meisten Anreizinstrumente ist die Bundesebene zuständig (EEG, EEW, BioKraftQuG und Förderprogramme).

Für importierte Biomasse wird diesbezüglich die Einführung einer Zertifizierung vorbereitet. Erste Vorschläge zu Standards für eine nachhaltige Bioenergie wurden bereits von NGOs (NABU, WWF) und im Ausland (Österreich, Schweiz) vorgelegt. In einem für 2007 geplanten Vorhaben des BfN sollen Mindeststandards für die Ermittlung regionaler Potenziale sowie standortangepasster Produktionsmengen/-grenzen und zielorientierte Restrik-

tionen für den Anbau in ausgewiesenen Schutzgebieten (Naturschutzgebieten, Wasserschutzgebieten etc.) erarbeitet werden.

Auf Landesebene diesbezüglich zu überprüfen und ggf. zu modifizieren sind die Förderung von Bioenergieanlagen im Programm 'Immissions- und Klimaschutz' und im Rahmen der Agrarförderung nach ELER (Entwurf Förderrichtlinie Land- und Ernährungswirtschaft – LuE/2007). Die Unterstützung derselben Fördergegenstände durch mehrere Bundes- und Landesprogramme erschwert allerdings die Einführung höherer Standards auf Landesebene, weil der Fördermittelnehmer ausweichen kann.

Als ergänzende weiche Instrumente kommen für die Landesebene insbesondere die Züchtungs- und Anbauforschung in Betracht, weil hier standörtliche Gegebenheiten Berücksichtigung finden müssen. Aus der Sicht des Umwelt- und Naturschutzes hat sie insbesondere die Aufgabe, im Verbund mit anderen Ländern natur- und umweltverträgliche Anbauformen von Energiepflanzen zu entwickeln, die betriebswirtschaftlich attraktiv sind, und insgesamt zur Erhöhung der Biodiversität beitragen. Im Bereich der Technologie- und Forschungsförderung liegen die Aufgaben aus Umweltsicht vorrangig der Steigerung der Energieeffizienz und beim ökologisch-ökonomischen Vergleich der Verfahren.

8 Forschungsbedarf

Aus der Gegenüberstellung von Chancen und Risiken auf der einen Seite und des verfügbaren Steuerungsinstrumentariums auf der anderen Seite sind aus der Sicht des Umwelt- und Naturschutzes Kenntnislücken in Bezug auf die Entwicklung des künftigen Instrumentariums zur Steuerung der Erzeugung von Biomasse zu energetischen Zwecken im Freistaat Sachsen abzuleiten und auszufüllen.

Ökologische Begleitforschung

Zur Entwicklung von natur- und umweltverträglichen Nutzungsformen des Energiepflanzenanbaus können auf der Grundlage der vorliegenden Literaturrecherche folgende offene Fragenkomplexe identifiziert werden:

- Anbau- und Ernteverfahren:

Für eine umweltverträgliche Bestandsentwicklung perennierender Energiepflanzen auf Ackerflächen sind konservierende Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren zu entwickeln. Die derzeitigen Anbauempfehlungen der landwirtschaftlichen Beratungsstellen zielen auf den flächenhaften Einsatz des Pfluges in Kombination mit Vor-Auflauf-Herbizid-Anwendungen ab. Bei derartigen Verfahren sind in der Phase der langsamen Bestandsentwicklung von perennierenden Kulturen wie Miscanthus oder Kurzumtriebsplantagen verstärkte Bodenerosion und Auswaschungsverluste zu befürchten. Zur Vermeidung dieser potenziellen Gefahren bieten sich flächenhaft konservierende Bodenbearbeitungsverfahren, nicht-flächenhaft Bodenbearbeitungsverfahren beschränkt auf die Pflanz-/Saatreihen und Mulchsaat- bzw. Mulchpflanzverfahren an. Diese Verfahren müssen jedoch praxisgerecht an die Bedingungen des Energiepflanzenanbaus adaptiert werden, wobei die im Bericht ausgeführten Anforderungen an natur- und umweltverträgliche Verfahren berücksichtigt werden sollten.

Bei der Rückumwandlung langjährig genutzter Energieplantagen in Ackerflächen mit annuellen Kulturen sind deutlich erhöhte Stoffauswaschungen – namentlich von Nitrat – zu befürchten, weil durch intensive Bodenbearbeitungsverfahren, die im Übrigen von der Beratung empfohlen werden, Mineralisationsschübe ausgelöst werden können. Auch hierfür gilt es, natur- und umweltverträgliche Verfahren zu entwickeln, um zusätzliche Umweltbelastungen soweit wie möglich zu vermeiden.

Zweikultur- und Misanbausysteme zur Integration von Energiepflanzen in landwirtschaftliche Fruchtfolgen können zum Schutz des Bodens vor Erosion und zur Minderung von Stoffauswaschungen beitragen. Die Schutzwirkung des Zweikulturanbaus geht von einer längeren Begrünung aus, so dass zum einen die Ackerböden gegen Erosion besser geschützt werden; zum anderen werden die Nitratvorräte des Bodens vor dem Winter besser abgeschöpft. Misanbausysteme zeichnen sich durch eine geringere Empfindlichkeit gegen Krankheiten und Schädlinge aus, so dass tendenziell sinkende Pflanzenschutzmittelaufwendungen erwartet werden können. Zudem bieten sich Chancen zur Reduzierung der mineralischen Stickstoffdüngung an, indem Legu-

minoson in die Mischungen aufgenommen werden. Weiterhin kann ein Beitrag zum Schutz der genetischen Vielfalt geliefert werden, indem wieder verstärkt alte Kulturpflanzenarten angebaut werden.

Im Bereich der Zweikultur- und Mischanbausysteme wird kein grundlegender Forschungsbedarf gesehen; hier kann auf Erfahrungen historischer Anbausysteme, des ökologischen Landbaus und jüngerer Forschungsvorhaben zurückgegriffen werden. Im Rahmen einer Begleitforschung sollte möglichen Einflüssen auf das Bodenleben nachgegangen werden; durch veränderte Bearbeitungszeiträume beim Zweikulturanbau, insbesondere durch die Bearbeitung zu Zeiten hoher bodenbiologischer Aktivität im Mai / Anfang Juni zur Bestellung der Zweitkultur könnten negative Beeinträchtigungen des Bodenlebens ausgelöst werden.

Nutzungsumwandlungen von Grünland zum ackerbaulichen Energiepflanzenanbau sind aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes abzulehnen. Gegen einen Grünlandumbruch sprechen insbesondere die Zunahme der Erosions- und Auswaschunggefährdung, die CO₂-Freisetzung aus der organischen Bodensubstanz in Folge der umbruchbedingten Mineralisationsschübe sowie negative Effekte im Hinblick auf den Artenschutz. Dazu bedarf es keiner weiteren Forschungsaktivitäten, weil Untersuchung der vergangenen Jahrzehnte bereits ausreichend Erkenntnisse zu den Umweltwirkungen des Grünlandumbruchs bereitstellen

- Auswirkungen auf den Landschaftswasserhaushalt
Durch den Anbau perennierender Energiepflanzen und – nachrangig – auch durch Zweikulturanbausysteme wird die Evapotranspiration deutlich gesteigert. Dies setzt zum einen den Anbau von Energiepflanzen auf produktiven Standorten mit ausreichender Wasserversorgung voraus, woraus eine Konkurrenz zum Nahrungs- und Futtermittelanbau erwächst. Zum anderen wird die Grundwasserneubildung verringert; in der Folge sind steigende Stoffkonzentrationen im Sicker- und Grundwasser auf Grund der geringeren Verdünnungseffekte, eine geringeres Grundwasserdargebot und eine Beeinflussung des Abflussregimes von Fließgewässern auf Grund geringerer Basisabflüsse zu befürchten bzw. zu berücksichtigen. Indes sind die vorgenannten möglichen Effekte im starken Maße vom Flächenumfang des perennierenden Energiepflanzenanbaus abhängig; erst bei einem größeren Flächenumfang sind signifikante Veränderungen zu erwarten. Die exakte Abschätzung der wasserwirtschaftlichen und hydrogeologischen Effekte können nur anhand der Gebietscharakteristika abgeschätzt werden. In Gebieten, die bereits unter rezenten Bedingungen eine geringe positive klimatische Wasserbilanz aufweisen, sollten vor einer massiven Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus die wasserwirtschaftlichen und hydrogeologischen Auswirkungen mit Hilfe von Modellierung in Erwägung gezogen werden, um starken Beeinflussungen des Landschaftswasserhaushaltes vorzubeugen. Dies gilt umso mehr vor dem Hintergrund der zu erwartenden klimatischen Veränderungen, die sowohl die Nieder-

schlagsmenge als auch die Niederschlagsverteilung innerhalb eines Jahres beeinflussen werden.

- **Monostruktur**

Die grundsätzlich mögliche stärkere Diversifizierung der Landnutzung durch den Anbau von Energiepflanzen wird durch die derzeit zu beobachtende Konzentration auf wenige Kulturen wie Mais und Raps konterkariert. In einigen Regionen Deutschlands dominieren diese beiden Kulturen bereits heute das Landschaftsbild. Zum Teil werden Flächenanteile von 50 % Mais erwartet.

Eine solch starke Einengung der Fruchtfolge geht mit negativen externen Effekten einher, wie monotones Landschaftsbild, erhöhte Erosions- und Auswaschungsverluste, erhöhte Pflanzenschutzmittelaufwendungen auf Grund eines erhöhten Unkraut-, Krankheits- und Schädlingsdrucks sowie Beeinträchtigungen des Bodenlebens und wildlebender Tiere in Folge einseitiger Anbaustrukturen.

Um derartigen möglichen Fehlentwicklungen entgegenzuwirken, bedarf es keiner grundlegenden Forschungsaktivitäten. Die zu erwartenden Auswirkungen sind anhand der vorliegenden Erkenntnisse zu den Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Anbausysteme abschätzbar. Stattdessen muss die Förder- und Zulassungspolitik auf derartige Entwicklungstendenzen im Vorfeld reagieren, um Umweltfolgekosten zu vermeiden.

- **Grünlandintensivierung**

Die energetische Verwertung von Grünlandaufwuchs kann mit Nutzungsintensivierungen verbunden sein, wenn im Interesse eines möglichst hohen Biomassertrags die Düngergaben und Schnitffrequenz erhöht werden. Bei derartigen Nutzungsintensivierungen wird der naturschutzfachliche Wert der Grünlandflächen reduziert, weil sich grasdominierte Grünlandbestände durchsetzen und zugleich wildlebende Tierarten verdrängt werden, die an extensivere Nutzungssysteme angepasst sind. Beide Effekte laufen damit den Zielen des Naturschutzes zuwider.

Die Auswirkungen einer Grünlandintensivierung sind anhand der umfangreichen Prozessforschung der vergangenen Jahrzehnte in ausreichender Sicherheit abschätzbar. Aus diesem Grund wird kein Forschungsbedarf gesehen. Den zu erwartenden Umweltfolgekosten kann mit Hilfe einer angepassten Förderpolitik begegnet werden.

- **Gentechnisch veränderte Organismen (GVO)**

Der Anbau von Energiepflanzen verstärkt den Druck auf die Politik, gentechnisch veränderte Pflanzen zum Anbau zuzulassen. Um den möglichen Chancen und Risiken des GVO-Einsatzes zur Bioenergiegewinnung nachzugehen, empfiehlt sich eine Aus-

wertung vorliegender Freisetzungsdaten zu den möglichen Umweltwirkungen. Erst dann wird zu entscheiden sein, ob die möglichen Risiken beherrschbar sind oder ob stärkere Anforderungen an die Begleitforschung bzw. das Monitoring bei Freisetzungen eingefordert werden müssen. In diesem Sinne ist im Umweltforschungsplan 2007 des Bundesamtes für Naturschutz das Vorhaben „Freisetzungen (von GVO) als Grundlage für eine spätere Marktzulassung – Anforderungen und Konzeption“ vorgesehen.

- Immissionsschutz

Ein in den nächsten Jahren zu erwartender Anstieg des Einsatzes biogener Festbrennstoffe in Kleinfeuerungsanlagen stellt hohe Anforderungen an die Entwicklung von Anlagen mit entsprechenden Filter- und Abscheidetechniken zur Verminderung von umweltrelevanten Emissionen, insbesondere wenn vermehrt halmgutartige Biomasse zur energetischen Verwertung eingesetzt werden soll. Hierzu liegen bereits umfangreiche technische Entwicklungsarbeiten vor, die jedoch weiter fortentwickelt werden müssen.

Modifizierung des Förderinstrumentariums

Angesichts begrenzter Ressourcen und politischer Restriktionen muss sich auf der einen Seite die Politik – insbesondere auch auf Landesebene – im Hinblick auf die künftige Forschung und Förderung zunehmend fragen, welche Wirkungen eine politische Maßnahme auf die Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung hat, welche unerwünschten Folgewirkungen auftreten und wie effizient sie etwas zur Erreichung der angestrebten Ziele sowohl der Energie- und der Klimaschutzpolitik als auch des Umwelt- und Naturschutzes beiträgt. Auf der anderen Seite müssen Investoren (Landwirte, Anlagenbetreiber/Energiewirte) in Anbetracht der begrenzten Rentabilität der meisten Biomassepfade und der Abhängigkeit von Fördermitteln wissen, an welchem Standort welche Biomasseprodukte in welcher Menge in einem für Investitionen überschaubaren zeitlichen Horizont mit Gewinn produziert und verarbeitet werden können.

Zur Beantwortung dieser Fragen ist ein Ansatz gefordert, der regionale und sektorale Angebotspotenzialabschätzungen von Biomasse mit ökologischen Verträglichkeitsanalysen und Wirtschaftlichkeitsanalysen auf der Ebene der Land-, Forst- und Energiewirtschaft kombiniert. Für eine weitestgehende Integration der Umwelt- und Naturschutzanforderungen in den Biomasseanbau und zur Vermeidung von Flächenkonkurrenzen sind in die Angebotsabschätzung neben ökonomischen und sozialen Einflussfaktoren vor allem Anforderungen des Natur- und Umweltschutzes einzustellen.

Als Beispiele für die Berücksichtigung von Anforderungen des Natur- und Umweltschutzes bei der Potenzialermittlung können Studien auf EU-Ebene (z.B. EEA 2006) und auf nationaler Ebene (Kap. 4) herangezogen werden. Für den regionalen Betrachtungsansatz lie-

gen schon eine Reihe von Potenzialabschätzungen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen vor (siehe Tab. 7–3). Speziell zur Erarbeitung von naturschutz- und umweltfachlichen Mindeststandards für die Ermittlung regionaler Potenziale sowie standortangepasster Produktionsmengen/-grenzen und zielorientierter Restriktionen für den Anbau in ausgewiesenen Schutzgebieten (Naturschutzgebieten, Wasserschutzgebieten etc.) plant das Bundesamt für Naturschutz ein Vorhaben in 2007.

Von diesen Beispielen abgesehen gibt es noch keine Studien zur Potenzialermittlung unter dem Gesichtspunkt der Ökoeffizienz. Mit anderen Worten, die Fragen, welche Anbaustruktur einer wirtschaftlich effizienten und ökologisch verträglichen Erzeugung von Biomasse entspricht und welche Energiepotenziale diese liefert, sind bisher nicht beantwortet worden.

Für eine Potenzialbetrachtung in Sachsen, die die Anforderungen des Umwelt- und Naturschutzes berücksichtigt und den Zielen der Nachhaltigkeit zu wider laufende Flächenkonkurrenzen vermeidet, gilt es Ansätze zu finden für Flächenansprüche der Lebens- und Futtermittelerzeugung, konkurrierender energetischer Nutzungen (Verwendung der Biomasse zu Wärme, Strom, Kraftstoff) und anderer Flächennutzungen wie Formen des umweltverträglichen Landbaus, für unerfüllte Ansprüche nach dem Naturschutzrecht (unerfüllte Zielvorgaben des Landesnaturschutzgesetzes, FFH-Richtlinie/NATURA 2000) und nach der Wasserrahmenrichtlinie sowie für Infrastrukturzuwachs und Kompensationsflächen. In diesem Zusammenhang kann auch der Frage nachgegangen werden, wie ökonomisch die Verwendung freigesetzter landwirtschaftlicher Flächen für den Bioenergiepflanzenanbau im Vergleich zu anderen Nutzungsoptionen ist. Die Flächenfreisetzung für den Bioenergiepflanzenanbau setzt – bei gleich bleibendem Anspruch an den Selbstversorgungsgrad – eine intensive Lebens- und Futtermittelproduktion voraus, um den Bedarf an Lebens- und Futtermitteln abzudecken; die damit einhergehenden negativen Umweltwirkungen sind den zu erwartenden positiven Umweltleistungen des Energiepflanzenanbaus gegenüberzustellen. Als Alternative ist eine flächendeckend extensivere Lebens- und Futtermittelproduktion in die Bewertung aufzunehmen.

Zusammenfassend sind aus der Sicht des Umwelt- und Naturschutzes zur Modifizierung der Steuerungsinstrumente folgende Schritte empfehlenswert:

- Erstellen von regionalen und auf Nachhaltigkeit orientierte Potenzialabschätzungen für die Erzeugung und energetische Verwertung von Biomasse
- Übertragen der vorhandenen Kenntnisse über die Umweltwirkungen bestimmter Anbausysteme und -verfahren in den oben genannten Bereichen auf die Biomasseerzeugung und -verwertung.
- Ausfüllen der oben genannten Kenntnislücken durch eine ökologische Begleitforschung, insbesondere zu den negativen Umweltwirkungen der Biomasseerzeugung und -verwertung

- Auf der Grundlage der vorgenannten Punkte Formulieren von Fördervoraussetzungen bzw. Standards und Anpassen der Förderprogramme bzw. Einführen von neuen Programmen mit einer verstärkten Orientierung bzw. Prioritätensetzung auf ökologisch verträgliche und auf ökonomisch effiziente Biomassepfade.

9 Literaturverzeichnis

- Abdegbidi, H.G., T.A. Volk, E.H. White, L.P. Abrahamson, R.D. Briggs, D.H. Bickelhaupt (2001): Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bioenergy plantations in New York State. *Biomass & Bioenergy* 20, 399-411.
- AG Bosch & Partner GmbH (2000): Kriterienkatalog zur Gestaltung von Ackerschlägen im Agrarraum – Landschaftsökologische Aspekte. FuE-Vorhaben des SMUL. Dresden.
- AG Landwirtschaft und Naturschutz DLG und WWF (2006): Nachhaltiger Anbau und energetische Verwertung von Biomasse. (Download: www.dlg.org/naturschutz; www.wwf.de/naturschutz)
- Aretz, A., D. Elsner, H. Flaig, W. Weimer-Jehle (2003): Waldprogramm Baden-Württemberg – Ergebnisse der 3. Dialogphase: Sachstandspapier Wald und Klima (Stand November 2003). Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg. (Aretz_et_al._2003.pdf).
- Austermann-Haun, U., D. Wendler, K.-H. Rosenwinkel (2001): Großtechnische Erfahrungen mit der Co-Fermentation in Deutschland. In: KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall; 48. Jhg., Nr. 10, S. 1443 – 1451.
- Avtukhovich, I. (2003): Study of Distribution of Cd in Soil Fractions and Increase in the Efficiency of Phytoextraction Using EDTA. In: Gobran, G. R. & Lepp, N. (eds.) (2003): 7th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements - Uppsala, Sweden, June 15-19 - p. 126-127. (Gobran_Lepp_2003.pdf)
- Beckmann, G. (2006): regionale Potenziale ausgewählter biogener Reststoffe. Informationen zur Raumentwicklung H.1/2.2006, S. 23-33.
- Bick, U. & Dahm, S. (1992): Bundeswaldinventur 1986-1990. Band I: Inventurbericht und Übersichtstabellen für das Bundesgebiet nach dem Gebietsstand vor dem 3.10.1990 einschließlich Berlin (West). Band II: Grundtabellen für das Bundesgebiet nach dem Gebietsstand vor dem 3.10.1990 einschließlich Berlin (West). Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten [Hrsg.], Bonn.
- Blaylock, M. J., M. P. Elless, C. Y. Nuttall, K. L. Zdimal, C. R. Lee (2002): Treatment of Arsenic-Contaminated Soil and Water Using *Pteris Vittata*. In: Gobran, G. R. & Lepp, N. (eds.) (2003): 7th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements - Uppsala, Sweden, June 15-19 - p. 130-131. (Gobran_Lepp_2003.pdf)
- Blick, T., F. Burger (2002): Wirbellose in Energiewäldern. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 34 (9), 276-284.
- BMELV (2003): Programm des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft zur Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben 2003.
- BMELV (2004): Konzept zur energetischen Nutzung von Biomasse.

- BMELV (2005): Meilensteine der Agrarpolitik, Ausgabe 2005.
- BMELV (2007): http://www.bmelv.de/cIn_045/nn_1081138/DE/081-NachwachsendeRohstoffe/Biokraftstoffe/ZertifizierungBiokraftstoffe.html__nnn=true (Stand: 02.02.2007)
- BMELV (2007a): [www.bmelv.de/Landwirtschaft/Gentechnik ... Das](http://www.bmelv.de/Landwirtschaft/Gentechnik...Das) Gentechnikgesetz, (Stand: 02.02.2007).
- BMU (2006): Wirkung des Ausbaus Erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt unter besonderer Berücksichtigung des Außenhandels. Zwischenergebnisse. (Download), (BMU_2006.pdf).
- BMU (2006a): Entwicklung der Erneuerbare Energien 2005. Stand: Mai 2006. Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). 28 S. (Download: www.erneuerbare-energien.de).
- BMU (2006b): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. Stand: Mai 2006. Berlin. 48 S. (Download: www.erneuerbare-energien.de)
- BMU (2006c): Neufassung der Klärschlammverordnung: Ressourcen nutzen – Böden schonen. Eckpunktepapier.
- BMU (2006d): Feinstaubemissionen aus der Biomasseverbrennung in Kleinfeuerungsanlagen. – Hintergrundpapier zum Vortrag von MinDir Dr. habil. Uwe Lahl, 17 S. (BMU_2006d.pdf)
- BMU (2005): Strategien zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse in ausgewählten Modellregionen – BioRegio. Regionale Umsetzungen zur Nutzung des im Rahmen der ökologischen Begleitforschung entwickelten nationalen Werkzeugs für die Politikberatung „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse“. (www.bioregio.info.)
- BMVEL (2004): Konzept zur energetischen Nutzung von Biomasse. Berlin. 22 S.
- Boelcke, B. (2005): Schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen – Fotoshow. <http://lfamv.de/index.php?/content/view/full/728>.
- Boelcke, B. (2006a): Schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen – Ertrag und Ertragsaufbau in Abhängigkeit von der Baumart und Umtriebszeit. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Bd. 18, S. 234-235. (GFP_2006.pdf)
- Boelcke, B. (2006b): Leitfaden zur Erzeugung von Energieholz. Hrsg. v. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern.
- Boelcke, B., S. Beuch, S. Zacharias, P. Kahle, L. Belau, D. Amelung (1998): Bewertung der Umweltwirkung des Anbaus von Miscanthus als nachwachsender Rohstoff. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Heft 16.
- Bolte, A. (2006): NOVALIS – Zur naturverträglichen Produktion von Energieholz in der Landwirtschaft. In: BFH-Nachrichten 2/2006, S. 13-14. (BFH_2006.pdf)

- Bosch, J.M., J.D. Hewlett (1982): A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evaporation. *Journal of Hydrology* 55, 3-23.
- Braschkat, J. (1996): Ammoniakverluste nach Ausbringung von Rinderflüssigmist auf Dauergrünland: Einflussfaktoren und Schätzung. Dissertation Univ. Hohenheim, Institut für Pflanzenernährung, Verlag Ulrich E. Grauer, 127 S.
- Breuer, T., K. Holm-Müller (2006): Abschätzung der Chancen aus der Förderung von Biokraftstoffen für die ländlichen Regionen in Nordrhein-Westfalen. Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“, Landwirtschaftliche Fakultät der rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (Hrsg.). Forschungsbericht Nr. 137, Bonn.
- Bundesregierung (2000): Nationales Klimaschutzprogramm – Beschluss der Bundesregierung vom 18. Oktober 2000. Fünfter Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO₂-Reduktion. Bundestagsdrucksache 14/4729.
- Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin.
- Burger, F. (2004): Energiewälder und Ökologie – positive Auswirkungen auf Flora, Fauna und Boden. In: LWF-aktuell „Energetische Nutzung von Holz“ 48/2004. Hrsg. von Bayerischer Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising, S. 26-27. (lwf_2004-aktuell_48.pdf)
- Burger, F. (2006): Nachhaltige Hackschnitzelerzeugung in Pappel-Energiewäldern. In: LWF-Wissen 52 „Beiträge zur Schwarzpappel“. Hrsg. von Bayerischer Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising, S. 63-65. (lwf_2006wissen_52.pdf)
- Büsgen, U. (2006): Energie, Erneuerbare Energien und Biomasse in Deutschland. Vortrag im Rahmen des gemeinsamen Workshops von AbL, NABU und DVL „Nachwachsende Rohstoffe“ am 6. Oktober 2006 (Download: www.lpv.de/fileadmin/user_upload/data_files/Erneuerbare_Energien/Uwe_B_sgen_BMU.pdf)
- BVB – Bundesverband Boden e. V. (2007): Stellungnahme des Bundesverbandes Boden e. V. zur geplanten Neufassung der Klärschlammverordnung. <http://www.bvboden.de/texte/stellungnahmen/index.htm> bzw. http://www.bvboden.de/downloads/Stn_AbfKlaerV_BVB_07.pdf
- C.A.R.M.E.N. e.V. (2007): Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln. <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnipreise.html>, Stand 12.02.2007.
- Cambours, M.A., P. Nedjad, U. Granhall, M. Ramstedt (2005): Frost-related dieback of willows. Comparison of epiphytically and endophytically isolated bacteria from different *Salix* clones, with emphasis on ice nucleation activity, pathogenic properties and seasonal variation. *Biomass and Bioenergy* 28, 15-27.
- Christian, D.P. (1997): Wintertime use of hybrid poplar plantations by deer and medium-sized mammals in the Midwestern U.S. *Biomass and Bioenergy* 12, 35-40.

- Christian, D.P., Collins, P.T., Nahowski, J.M., G.J. Niemi (1997): Bird and small mammal use of short-rotation hybrid poplar plantations. *J. Wildlife Management* 61, 171-182.
- Cunningham, M. D., J. D. Bishop, H. V. McKay, R. B. Sage (2004): ARBRE Monitoring – Ecology of short rotation coppice. Department of Trade and Industry, United Kingdom. (Cunningham_etal_2004.pdf).
- dena (deutsche Energie-agentur) (2006): BiomassToLiquid – BtL-Realisierungsstudie. Zusammenfassung. Berlin.
- Dhondt, A. A., P. H. Wrege, K. v. Sydensticker, J. Cerretani (2004): Clone preference by nesting birds in short-rotation coppice plantations in central and western New York. *Biomass and Bioenergy* 27, p. 429-435.
- Dieter, M. & Englert, H. (2001): Abschätzung des Rohholzpotentials für die energetische Nutzung in der BRD. - Arbeitsberichte des Institutes für Ökonomie der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft. Hamburg, 31 S. (Dieter_Engelert_2001.pdf).
- DIN-51731: Deutsches Institut für Normung (Hrsg.) (1996): Prüfung fester Brennstoffe - Presslinge aus naturbelassenem Holz - Anforderungen und Prüfung. Beuth, Berlin.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) (2007): Ressourcenknappheit: Die Landwirtschaft hat den Schlüssel in der Hand. (www.dlg.org/dedruckversion.html?url=http://www.dlg.org/de/termine/winterta...)
- DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) et al. (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Stuttgart u. a.
- DRL (Deutscher Rat für Landespflege) (2006): Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft. Schr.-R. des DRL Nr. 79.
- EEA (European Environmental Agency) (2006): How much energy can Europe produce without harming the environment? EEA report No. 7/2006, Kopenhagen.
- Entscheidung des Rates vom 25. April 2002, 2002/358/EG
- European Environment Agency - Europäische Umweltagentur (2006): How much biomass can Europe use without harming the environment? EEA Report No 7/2006, Kopenhagen.
- FBB (Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz) (2001): Der sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückständen im Acker- und Grünland. Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft (BFL), Institut für Bodenwirtschaft, Wien. (FBB_2001.pdf).
- Fearnside, P.M. (2000): Uncertainty in land-use change and forestry sector mitigation options for global warming: Plantation silviculture versus avoided deforestation. *Biomass and Bioenergy* 18, 457-468.
- Feldwisch, N. & Meyer-Marquart, D. (2006): Umweltverträglichen Ackerbau gestalten. Abschlussbericht. Im Auftrag des LfUG.

- Felix, H. (1997): Vor-Ort Reinigung schwermetallbelasteter Böden mit Hilfe von metallakkumulierenden Pflanzen (Hyperakkumulatoren). TerraTech 2, S. 47-49.
- Flores-Tavizón, E., M. T. Alarcón-Herrera, S. González-Elizondo (2002) : Identification of Arsenic Accumulating in Mining Sites of the Semi-Arid Region of Northern Mexico. In: Gobran, G. R. & Lepp, N. (eds.) (2003): 7th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements - Uppsala, Sweden, June 15-19 - p. 142-143. (Gobran_Lepp_2003.pdf)
- FNR – Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe - (2005): Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Aktualisierung der Ausgabe 2000.(FNR_2005.pdf).
- FNR (2006): Jahresbericht 2005/2006 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Gülzow.
- FNR (Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe) (2007):
www.fnr-server.de/cms35/Statistik.64.0.html - 11.01.2007
- FORDAQ (2007): Sturm Kyrill – Blaues Auge für die Forstwirtschaft, lokal starke Schäden. www.fordaq.com/fordaq/news/Sturm_Kyrill_25E2%2580%2593_Blaues_Auge_14330.html.
- Frede, H.-G., S. Dabbert (Hrsg.) (1999): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Ecomed-Verlag, Landsberg/Lech. 2. Auflage.
- Friedrich, E. (1999): Anbautechnische Untersuchungen in forstlichen Schnellwuchsplantagen und Demonstration des Leistungsvermögens schnellwachsender Baumarten. In: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn, Modellvorhaben „Schnellwachsende Baumarten“. Landwirtschaftsverlag Münster, S. - 150.
- Fritsche, U.R. et al. (2006): Sustainable Standards for Bioenergy. Hrsg. v. WWF (World Wide Fund for Nature), Frankfurt/ Main. 80 S.
- Garten jr., C.T. (2002): Soil carbon storage beneath recently established tree plantations in Tennessee and South Carolina, USA. Biomass and Bioenergy 23, 93-102.
- Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (2006): Nachwachsende Rohstoffe im Pflanzenbau. 49. Jahrestagung in Rostock – Kurzfassungen der Vorträge und Poster, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Bd. 18, Kiel. (GFP_2006.pdf)
- Gödeke, K., A. Nehring, A. Vetter (2007): Nicht Monotonie, sondern Vielfalt – Energiepflanzen. joule 1/2007, S. 36-41.
- Gömann, H. et al. (2006): Nutzungskonkurrenzen durch die Förderung von Biogas und anderen Energieträgern. Vortrag der DAF-Tagung Energie aus Biomasse, Braunschweig, 25./26. Oktober 2006 (download). (Goemann_2006.pdf).
- Greger, M. & Landberg, T. (2003): Improving Removal of Metals from Soil by Salix. In: Gobran, G. R. & Lepp, N. (eds.) (2003): 7th International Conference on the Bio-

- geochemistry of Trace Elements - Uppsala, Sweden, June 15-19 - p. 146-147. (Gobran_Lepp_2003.pdf)
- Guiz, P. A., S. K. Gupta, R. Schulin (2002): P-Enhanced Phytoextraction of Arsenic from Contaminated Soil Using Sunflower. In: Gobran, G. R. & Lepp, N. (eds.) (2003): 7th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements - Uppsala, Sweden, June 15-19 - p. 148-149. (Gobran_Lepp_2003.pdf)
- Hartmann et al. (2004): Voraussetzungen zur Standardisierung biogener Festbrennstoffe. Teil 1: Brennstoffeigenschaften, Auswirkungen und Einflussnahmemöglichkeiten. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Bd. 23. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Hartmann, H. (2001): Ernte und Aufbereitung. In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, Berlin, 155-196.
- Hartmann, H., Kaltschmitt, M. (Hrsg.) (2002): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse im Kontext der übrigen erneuerbaren Energien. - Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 3, Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Heinz, A. (2006): Energiepolitische Ziele der EU, Fokus Bioenergie. - Wissenschaftliche Tagung des Dachverbands Agrarforschung (DAF) e.V. am 25./26.10.2006 in Braunschweig, (Heinz_2006.pdf). www.daf.zadi.de/download/daf_tagung06.pdf
- Heißenhuber, A. & Berenz, S. (2006): Energieproduktion in landwirtschaftlichen Unternehmen. In: Dornhofer, I. et al. (Hrsg.): Alternative Strategien für die Landwirtschaft. Wien: Facultas, S. 135 – 144.
- Heißenhuber, A. & Berenz, S. (2005): Biomasseanbau – lohnendes Geschäft für die Landwirtschaft oder unternehmerische Sackgasse? (Download: www.dlg.org/de/Landwirtschaft/fachgremien/naturschutz/tagungen.html)
- Henke, J. M. (2006): Volkswirtschaftliche Einordnung der Energieerzeugung aus Biomasse. - Wissenschaftliche Tagung des Dachverbands Agrarforschung (DAF) e.V. am 25./26.10.2006 in Braunschweig, (Henke_2006.pdf). www.daf.zadi.de/download/daf_tagung06.pdf
- Herzog, F., C. Dupraz (2006): Integrierte ökologische und ökonomische Bewertung von Agroforstsystemen in Europa. (Herzog_Dupraz_2006.pdf). <http://www.agroforst.de/HERZOG%20Dresden%202006.pdf>
- Herzog, F., C. Dupraz, P. Burgess, G. Lawson, F. Liagre, M. Mayus, G. Moreno, D. Pilsbein, W. van der Werf (2006): Integrierte ökologische und ökonomische Bewertung von Agroforstsystemen in Europa. Vortrag auf der Fachtagung „Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen“ am 6. November 2006 in Tharandt. (01_Herzog_Bewertung.pdf)
- Hirschberger, P. (2006): Potenziale der Biomassenutzung aus dem österreichischen Wald unter Berücksichtigung der Biodiversität – Endbericht: Studie des WWF in Zu-

- sammenarbeit mit den Österreichischen Bundesforste. 60S. (Hirschberger_2006.pdf)
- Hoffmann, D., M. Weih (2005): Limitations and improvement of the potential utilisation of woody biomass for energy derived from short rotation woody crops in Sweden and Germany. *Biomass and Bioenergy* 28, p. 267-279.
- Hofmann, M. (1998): Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen im Kurzumtrieb. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten, Hann. Münden, Merkblatt Nr. 11. (Hofmann_1998.pdf).
- Hofmann, M. (2002): Anbau von Pappeln auf landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen zur Erzeugung von Holzstoff für die Papierherstellung. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten, Hann. Münden, Merkblatt Nr. 12. (Hofmann_2002.pdf).
- Hofmann, M. (2004): Ergebnisse und Erfahrungen mit schnellwachsenden Baumarten. In: Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 35, S. 33-40. (ATB_2004.pdf).
- Hofmann, M. (2007): Anbau schnellwachsender Baumarten. Vortrag auf dem Workshop „Energiepflanzen“ im Rahmen der Internationalen Grünen Woche in Berlin, Januar 2007. (Hofmann_2007.pdf). <http://www.fnr.de/igw-energiepflanzen/>, 07. Februar 2007
- Holm-Müller, K. & Breuer, T. (2006): Potentialkonzepte für Energiepflanzen. Informationen zur Raumentwicklung H1/2.2006, S. 15 - 21.
- Hornbeck, J.W., M.B. Adams, E.S. Corbett, E.S. Verry, J.A. Lynch (1993): Long-term impacts of forest treatments on water yield: a summary for northeastern USA. *Journal of Hydrology* 150, 323-344.
- Huber, S., Maier, K. (1998): Energetische Nutzung von Biogas aus der Landwirtschaft - Untersuchung der Biogaszusammensetzung bei Anlagen aus der Landwirtschaft. LfU Bayern. (Huber_Maier_1998.pdf).
- Institut für Energetik und Umwelt (2006): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchung im Auftrag des BGW und DVGW. – Band 2: Biomassepotenziale in Deutschland, Nutzungstechniken und ökonomisch-ökologische Bewertung ausgewählter Nutzungspfade.
- Institut für Energetik und Umwelt (IFEU), Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (2006): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 3. Aufl., 232 S.
- Institut für Energetik und Umwelt, Universität Hohenheim, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Öko-Institut e.V. u.a. (2005): Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext. Leipzig. (IFEU_etal_2005.pdf).
- Institut für Umweltplanung Hannover, Vorhaben von 2005 bis 2009: Ökologische Optimierung der Produktion und energetischen Nutzung von Biomasse – Natur- und raumverträglicher Ausbau energetischer Biomassepfade (SUNREG II)

- Isermeyer, F. & Zimmer, Y. (2006): Thesen zur Bioenergie-Politik in Deutschland. Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie 02/2006, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig, 28 S.
- Jäkel, Dipl.-Ing. agr., Dipl.-Ing. agr. Gramm, Dr. ALbert, Dipl.-Ing. Weigert, Dr. Wanka, Dr. Steinhöfel, Dr. Dittrich (1999): Umweltwirkung von Biogasgülle – Abschlußbericht zum Forschungsprojekt. Sächsische Landesanstalt für landwirtschaft, 56 S. (Jäkel_et_al_1999.pdf).
- Jørgensen, U., T. Dalgaard, E. Steen Kristensen (2005): Biomass energy in organic farming – the potential role of short rotation coppice. Biomass and Bioenergy 28, p. 237-248.
- Jug, A., F. Makeschin, K.E. Rehfuess, C. Hofmann-Schielle (1999): Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. III. Soil ecological effects. Forest Ecology and Management 121, p. 85-99.
- Kahle, P. & Hildebrand, E. (2006): Schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen: Bodeneigenschaften nach mehrjähriger Nutzung. In: Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Bd. 18, S. 236-237. (GFP_2006.pdf)
- Kaltschmitt, Dr. M., Dr. D. Merten, N. Fröhlich, M. Nill (2003): Energiegewinnung aus Biomasse. – Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003 „Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit“. Materialien des WBGU, Institut für Energetik und Umwelt. – Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 148 S, (Kaltschmitt_et_al_2003.pdf; veröffentlicht als Volltext unter: www.wbgu.de/wbgu_jg2003_ex04.pdf)
- Kaltschmitt, M & Thrän, D. (2003): Biomasse für Strom, Wärme und Kraftstoffe. Was kann die Land- und Forstwirtschaft bereitstellen? In: UFOP-Jahresbericht 2003, Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V., Berlin.
- Kaltschmitt, M. & Hartmann, H. [Hrsg.] (2001): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. – Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 770 S.
- Kaltschmitt, M. et al. (2003): Energiegewinnung aus Biomasse. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003. (Kaltschmitt_et_al_2003.pdf). (veröffentlicht als Volltext unter: www.wbgu.de/wbgu_jg2003_ex04.pdf)
- Karpenstein-Machan, M. (2005): Energiepflanzenanbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG-Verlag, Frankfurt a.M.
- Kenneweg, H. (2004): Nachwachsende Biomasse und Landschaftsplanung. In: Rosenberg, W. & C. Noak: Entwicklungsfaktor Biomasse. Energetische Nutzung von Biomasse als Chance für den ländlichen Raum. Dokumentation eines Workshops vom 16. Juni 2004 der Kooperationsstelle Wissenschaft / Arbeitswelt der TU Berlin in Zusammenarbeit mit der Zukunftsagentur Brandenburg. S. 35-43. (Rosenberg_Noak_2004.pdf)

- Keoleian, G.A., T.A. Volk (2005): Renewable energy from willow biomass crops: life cycle energy, environmental and economic performance. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24, 385-406.
- Kimmins, J.P. (1977): Evaluation of the consequences for future tree productivity of the loss of nutrients in whole-tree harvesting. *Forest-Ecology and Management* 1, 169-183.
- Kobus, K. (2000): Vergleichende Untersuchungen zur Ertragsbildung von Energiepflanzen. Diplomarbeit, Universität Potsdam und ATB Potsdam.
- Kölling, C. (2000): Luftverunreinigungen und Auswirkungen in den Wäldern Bayerns. – In: LWF (Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft): LWF-Bericht 22, Freising.
- Konnert, M. (2004): Gegenwärtiger Stand der Gentechnik im Forst. In: LWF-aktuell „Energetische Nutzung von Holz“ 48/2004. Hrsg. von Bayerischer Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising, S. 32-35. (lwf_2004-aktuell_48.pdf)
- Köppel, J. et al. (2004): Integration naturschutzfachlicher Ziele in Szenarien und Modelle zur energetischen Nutzung von Biomasse. Kurzgutachten zum Umfang der Flächenrestriktionen der energetischen Biomassennutzung durch Naturschutz. Berlin. (Köppel_etal_2004.pdf).
- Kornmann, M., W. Schmidt, O. Nitzsche (2006): Mulchsaatverfahren für den Anbau von Mais. Infodienst 03/06 für Beratung und Schule der Sächsischen Agrarverwaltung. S. 34-41. Hrsg. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- KTBL (2006): Energiepflanzen – KTBL-Datensammlung mit Internetangebot. Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt. ISBN: 3-939371-21-1.
- Kuzovkina, Y. A., M. F. Quigley (2005): Willows Beyond Wetlands: Uses of *Salix* L. Species For Environmental Projects. In: *Water, Air and Soil Pollution* 162, p. 183-204. (Kuzovkina_2005.pdf)
- Labrecque, M., T.I. Teodorescu (2005): Field performance and biomass production of 12 willow and poplar clones in short-rotation coppice in southern Quebec (Canada). *Biomass and Bioenergy* 29, p 1-9.
- Lahl, U. & Steven, W. (2005): Feinstaub – eine gesundheitspolitische Herausforderung. – *Pneumologie* 2005, **59**: S. 704-714. (Lahl_Steven_2005.pdf)
- Landesbauernverband Sachsen-Anhalt (2006): Auftaktveranstaltung zum Landesenergiekonzept. Info-Heft Dezember 2006 (Download: www.lbv-sachsenanhalt.de/index2.htm?/html/Infoheft/heft.htm)
- Langbehn, L. (2007): Wer zahlt die Zeche? DLG-Mitteilungen 2/2007, S. 16-17.
- Lauer, K. & Röhnert, P. (2005): Planerische Steuerung von Biomasseanlagen durch regional- und Bauleitplanung. Unveröff. Präsentation i.R. des 482. Kurses des Instituts für Städtebau, Berlin, am 15.03.2005.

- LfL (2006): Landwirtschaftliche Biomasse. Potenziale an Biomasse aus der Landwirtschaft des Freistaates Sachsen zur stofflich-energetischen Nutzung. Dresden.
- LfL (2005a): Nachwachsende Rohstoffe. Energetische und stoffliche Verwertung, Forschungsprojekte in Sachsen, Stand 2005. Dresden. 87 S. (LfL_2005a.pdf).
- LfL (2005b): Veränderte Landnutzungssysteme in hochwassergefährdeten Gebieten. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 12, 10. Jahrgang 2005. (LfL_2005b.pdf).
- LfL (2004): Landwirtschaftlicher Bodenschutz. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 10, 9. Jahrgang 2004.
- LfL (2003): Landwirtschaftliche Biomasse. Potenziale an Biomasse aus der Landwirtschaft des Freistaates Sachsen zur stofflich-energetischen Nutzung. Dresden. 22 S.
- LfL (2002a): Acker- und pflanzenbauliche Untersuchungen zum Anbau ein- und mehrjähriger Energiepflanzen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 4, 7. Jahrgang. (LfL_2002.pdf).
- LfL (2002b): Schnellwachsende Hölzer – Anbauempfehlungen auf Kurzumtriebsplantagen.
- LfUG (2001): Umweltqualitätsziele auf die Füße stellen. Umweltverträgliche Land- und Flächennutzung. Band III: Land- und Forstwirtschaft. Dresden.
- LfUG/EEZ (Landesamt für Umwelt und Geologie/Energieeffizienz-Zentrum) (2006): www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/documents/EE_Ergebnisdaten_2005.pdf
- Licht, L. A. & Isebrands, J. G. (2005): Linking phytoremediated pollutant removal to biomass economic opportunities. *Biomass and Bioenergy* 28, p. 203-218.
- Liesebach, M. (2006): Aspekte der biologischen Vielfalt in Kurzumtriebsplantagen. Vortrag auf der Fachtagung „Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen“ am 6. November 2006 in Tharandt. (Liesebach_2006.pdf)
- Loll, U. (2001): Biogaspotenziale im Klärschlamm und anderen biogenen Abfällen. *KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall*; 48 Jhg., Nr. 10, S. 1424 – 1429.
- Londo, M., M. Roose, J. Dekker, H. de Graaf (2004): Willow short rotation coppice in multiple land-use systems: evaluation of four combination options in the Dutch context. *Biomass and Bioenergy* 27, p. 205-221.
- LUBW (Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg) (2001): Holzhackschnitzel-Heizanlagen, 78 S. (LUBW_2001.pdf).
- Maier, J & Vetter, R. (2004): Erträge und Zusammensetzung von Kurzumtriebs-Gehölzen (Weide, Pappel, Blauglockenbaum). In: *Energieholzproduktion in der Landwirtschaft – Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie*. Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 35. (ATB_2004.pdf).

- Maier, J. & Vetter, R. (2004): Biomass yield and fuel characteristics of short-rotation coppice (willow, poplar, empress tree). Institute for Land Management Compatible to Environmental Requirements, Müllheim (Germany). (Maier_vetter_2004.pdf).
- Maxted, A. P., S. D. Young, C. R. Black, H. M. West, S. P. McGrath (2002): Comparison of Chemically-Enhanced Phytoextraction by Arable Crops and Short Rotation Coppice with Hyperaccumulator Plants. In: Gobran, G. R. & Lepp, N. (eds.) (2003): 7th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements - Uppsala, Sweden, June 15-19 - p. 104-105. (Gobran_Lepp_2003.pdf)
- Meó Consulting Team et al. (2006): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe. Im Auftrag des BMELV.
- Merz, T. (2007): Biokraftstoffe: Moorleichen im Tank – Die Zerstörung von tropischen Wäldern und Mooren für Bioenergie läuft Klimaschutzbestrebungen zuwider. punkt.um 2/2007.
- Minor, M., R. Norton, T.A. Volk, L.P. Abrahamson, E.H. White (2002): Impact of willow biomass crops on abundance and diversity of soil microarthropods. Final Report prepared for the United States Department of Energy, December 2002. (Minor_etal_2002.pdf).
<http://www.esf.edu/willow/PDF/reports/2002%20arthropods.pdf>.
- Mirck, J., J. G. Isebrands, t. Verwijst, S. Ledin (2005): Development of short-rotation willow coppice systems for environmental purposes in Sweden. Biomass and Bioenergy 28, p. 219-228.
- MUNLV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW) (2001): Co-Fermentation von biogenen Abfällen in Faulbehältern von Kläranlagen. Berichte zur Umwelt – Bereich Abwasser, Bd. 22.
- Müschen, K. (2007): Klimaänderungen erfordern Weichenstellungen in der Klimapolitik. Vortrag im Rahmen des Workshops - Künftige Klimaänderungen in Deutschland am 25. April 2006. (Download:
www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/veranstaltungen/07mueschen.pdf)
- MUNLV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW) (2001): Co-Fermentation von biogenen Abfällen in Faulbehältern von Kläranlagen. Berichte zur Umwelt – Bereich Abwasser, Bd. 22. (MUNLV_2001.pdf).
- NABU (Naturschutzbund deutschland) (2007): Biomassennutzung aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes. NABU Position 01/2007 (Download: www.NABU.de).
- Neumeister, C. (2006): Anbau und Nutzung schnellwachsender Baumarten – Praxiserfahrungen aus Schweden, Übertragbarkeit auf Deutschland? Vortrag auf der LfL-Tagung „Anbau und Nutzung schnellwachsender Baumarten“ des Facharbeitskreises Biomasse am 8. Juni 2006 in Freiberg/Sachsen. (Neumeister_2006.pdf)

- Nord-Larsen, T. (2002): Stand and site productivity response following whole-tree harvesting in early thinnings of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karts.). *Biomass and Bioenergy* 23, 1-12.
- Nordman, E.E., D.J. Robinson, L.P. Abrahamson, T. A. Volk (2005): Relative resistance of willow and poplar biomass production clones across a continuum of herbivorous insect specialization: Univariate and multivariate approaches. *Forest Ecology and Management* 217, 307-318.
- Obernberger, I. (1997): Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens aschebildender Elemente. Habilitation am Institut für Verfahrenstechnik, Technische Universität Graz. Schriftenreihe Thermische Biomassennutzung. Band 1 dbv-Verlag, Graz. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2005): Leitfaden Bioenergie – Datensammlung, Tab. 3.6.9. (FNR_2005_Datensammlung.pdf).
- Obernberger, I. (2001): Direkte Thermische Umwandlung (Verbrennung): Aschen und deren Verwertung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2005): Leitfaden Bioenergie – Datensammlung, Tab. 3.6.5. (FNR_2005.pdf)
- Ohlhoff, J. (2005): Förderung der energetischen Verwertung von Biomasse. Erfahrungen des Bundesministers für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. Vortrag in der Katholischen Akademie Berlin am 31.05.2005
- Öko-Institut e.V. (Inst. f. angewandte Ökologie), IUSE (Inst. f. Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik), IFEU (Inst. f. Energetik und Umwelt), IZES, Inst. f. Geoökologie, TU München-Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus (2004): F&E-Vorhaben Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse – Endbericht. Verbundprojekt gefördert vom BMU im Rahmen des ZIP, Projektträger: FZ Jülich. (Ökoinstitut_et_al_2004.pdf).
- Pallast, G. et al. (2006): Schnellwachsende Baumarten – Chance für zusätzliches Einkommen im ländlichen Raum? Institute for Agricultural Policy, Market Research and Economic Sociology, University of Bonn. Discussion Paper 2005:3. Dokument: Pallast_2005.pdf.
- Peter, M., N. Feldwisch, U. Schultheiß, M. Reschke, H. Döhler, P. Jäger (2005): Landwirtschaft und Gewässerschutz. AID-Heft 1494/2005. Agrarinformationsdienst, Bonn.
- Petzold, R., K.-H. Feger, B. Siemer (2006): Standortliche Potenziale für den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Ackerflächen. *AFZ-DerWald* 16, 855-857.
- Plöchl, M. & Schulz, M.: Ökologische Bewertung der Biogaserzeugung und -nutzung. Biogas in der Landwirtschaft – Leitfaden Biogas (2003). Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg. (Leitfaden_Biogas_2003.pdf).
- Prochnow, A., M. Heiermann, A. Drenckhan, H. Schelle (2007): Biomethanisierung von Landschaftspflegeaufwuchs. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 39 (1), S. 19-24.

- Proe, M. F., J. H. Griffiths, J. Craig (2002): Effects of spacing, species and coppicing on leaf area, light interception and photosynthesis in short rotation forestry. *Biomass and Bioenergy* 23, p. 315-326.
- Pulford, I. D., D. Riddell-Black, C. Stewart (2002): Heavy Metal Uptake by Willow Clones from Sewage Sludge-Treated Soil: The Potential for Phytoremediation. *Int. J. of Phytoremediation* 4, 1, p. 59-72.
- Puschenreiter, M. (2002): Phytosanierung von kontaminierten Böden. In: Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft: Angewandte Altlastenforschung. Veranstaltung der Universität für Bodenkultur Wien am 27. November 2002, S.11. (BOKU_2002.pdf)
- Püttsepp, Ü. (2004): Effects of Sustainable Management Practices on Fine-root Systems in Willow (*Salix viminalis*, *S. dasyclados*) Grey Alder (*Alnus incana*) and Norway Spruce (*Picea abies*) Stands. Swedish University of Agricultural Sciences - Department Of Ecology and Environmental Research, doctoral thesis, Uppsala (Sweden).
- Ragwitz, M. et al. (2006): Monitoring und Bewertung der Förderinstrumente für erneuerbare Energien in EU Mitgliedstaaten, Kurzfassung. Hrsg. v. Umweltbundesamt. Reihe Climate Change 08/06, Dessau.
- Reinhardt, Dr. G. & Scheurlen, K (2004): F+E-Vorhaben: Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien. FKZ 801 02 160. IFEU [Hrsg.], IUS (Potsdam), 128 S. (Reinhardt_Scheurlen_2004.pdf)
- Reinhold, G. (2005): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Biogas bei Einsatz von Ko-Substraten. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. (Reinhold_2005.pdf).
- Robinson, B. H., T. M. Mills, D. Petit, L. E. Fung, S. R. Green & B. E. Clothier (2000): Natural and induced cadmium-accumulation in poplar and willow: implications for phytoremediation. *Plant and Soil* 227, p. 301-306.
- Rode, M. & Kanning, H. (2006): Beiträge der räumlichen Planungen zur Förderung eines natur- und raumverträglichen Ausbaus des energetischen Biomassepfades. Informationen zur Raumentwicklung H1/2.2006, S. 103 – 109.
- Rode, M., C. Schneider, G. Ketelhake, D. Reißauer (2006): Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung – Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 80283040 des Bundesamtes für Naturschutz. BfN-Skripten, **136**, Bonn, 183 S. (Rode_etal_2006.pdf)
- Röhnert, P. (2006): Biomasseanlagen im Spannungsfeld zwischen baurechtlicher Privilegierung und Bauleitplanung. - Informationen zur Raumentwicklung H1/2.2006, S. 67-80.
- Röhrich, Ch. & K. Ruscher (2004): Einsatz nachwachsender Rohstoffpflanzen als landwirtschaftsgestaltendes Element – Feldstreifenanbau auf großen Ackerschlägen. In: Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 35, S. 113-126. (ATB_2004.pdf).

- Röhrich, Ch. (2005): Bereitstellung und energetische Verwertung biogener Festbrennstoffe in landwirtschaftlichen Unternehmen. In: LfUG Sachsen (2005): Erneuerbare Energien – Potenziale für den Umwelt- und Klimaschutz und für den ländlichen Raum. 7. Fachsymposium „Umwelt und Raumnutzung“ am 03. November 2005, Brauhaus Freiberg. (LfUG_2005.pdf).
- Roschke, M. (2003): Verwertung der Gärrückstände. Biogas in der Landwirtschaft - Leitfaden Biogas (2003). In: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg.
- Roth, A.M., D.W. Sample, C.A. Ribic, L. Paine, D.J. Undersander, G.A. Bartelt (2005): Grassland bird response to harvesting switchgrass as a biomass energy crop. Biomass and Bioenergy 28, 490-498.
- Sage, R. B. (1998): Short Rotation Coppice For Energy: Towards Ecological Guidelines. Biomass and Bioenergy 15, p. 39-47.
- Schäffer, J. (2002) : Meliorationswirkung und ökosystemare Risiken von Holzascheausbringung auf Waldböden Südwestdeutschlands. In: Holzasche-Ausbringung im Wald, ein Kreislaufkonzept. FVA-Kolloquium, Freiburg vom 5. bis 6. März 2002, Berichte, Freiburger Forstliche Forschung Heft, 43, S. 39-52. (Schäffer_2002.pdf)
- Schiess, H. (2006): Holzenergienutzung – was heisst das für die Artenvielfalt ?. In: Wenn der Holzofen das Waldbild bestimmt – Die Nutzung von Energieholz und ihr Einfluss auf den Wald. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft für den Wald AFW, Bitsch, 16 S. URL: www.afw-ctf.ch
- Schirmer, R. (1996): Aspekte der Pflanzenzüchtung schnellwachsender Baumarten für Energiewälder. In: Burger, F., N. Remler, R. Schirmer, H.-U. Sinner (1996): Schnellwachsende Baumarten, ihr Anbau und ihre Verwertung (Beiträge eines Fachgespräches). Berichte aus der LWF, Heft Nr. 8. Hrsg. von Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising. S. 7-17. (lwf_1996.pdf)
- Schlegel, H.-J. (2006): Entwicklungen bei der Nutzung Erneuerbarer Energien in Sachsen. ALK-Vortrag im Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie am 7. November 2006.
- Schlegel, H.-J. (2005): Stand der energetischen Biomassenutzung und Förderprogramme für Erneuerbare Energien in Sachsen. - Vortrag: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft [Hrsg.], Facharbeitskreis Biomasse, LVG Köllitsch – 18.01.2005, (Schlegel_2005.pdf)
http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/download/Vortrag_Schlegel.pdf
- Schlegel, H.-J. & Wowtscherk, E. (2006): Entwicklung von Beschäftigung und Umsatz bei der Nutzung Erneuerbarer Energien in Sachsen im Zeitraum 2002 –2006. Vortrag im Rahmen des Workshops zur Beschäftigungsstudie im Bereich der Erneuerbaren Energien 06.07.2006 (Download).
- Schmelz, K.-G. (2001): Erfahrungen bei der Faulgaserzeugung aus Klärschlamm und anderen organischen Abfällen. VDI (Hrsg.): Biogas als regenerative Energie – Stand

- und Perspektive, VDI-Berichte 1620, 207 S. Schmidt, W. (1998a): Statusbericht zur Erosion im Freistaat Sachsen 1996/97. Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden-Pillnitz. (Schmelz_2001.pdf).
- Schmidt, W. (1998b): Schutzmaßnahmen gegen Wassererosion in Sachsen im Sinne guter fachlicher Praxis. Mittlg. Deutsche Bodenkdl. Gesellsch. 88, S. 503-506.
- Schmidt, W., H. Stahl, J. Eikenbusch (1996): Bodenerosion durch Wasser – Ein Maßnahmenkatalog. Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- Schmidt, W., H. Stahl, O. Nitzsche, B. Zimmerling, S. Krück, M. Zimmermann, W. Richter (2001): Konservierende Bodenbearbeitung – die zentrale Maßnahme eines vorbeugenden und nachhaltigen Bodenschutzes. Mittlg. Deutsche Bodenkdl. Gesellsch. 96 (2), S. 771-772.
- Schneider, B.U., H. Grünewald, R. F. Hüttl (2004): Produktion von Holz auf Neulandstandorten. In: Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 35, S. 41-52. (ATB_2004.pdf).
- Scholz V., H. J. Hellebrand, A. Höhn (2004): Energetische und ökologische Aspekte der Feldholzproduktion. In: Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 35, S. 15-31. (ATB_2004.pdf).
- Schulze, D. (2003): Nachbehandlungsverfahren für Holzaschen. Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Universität Stuttgart (Hrsg.): 4. Stuttgarter Holzfeuerungs-Kolloquium vom 08.04.2003: Planung und Betrieb von Holzfeuerungen - Von der Brennstoffaufbereitung bis zur Ascheverwertung.
- Schumann, W., A. Gurgel, B. Boelcke, K. Pellnitz, P. Krüger, H. Stein (2006): (Bio-)Energie land M-V – Von der Vision zur Realität. Hrsg. vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin.
- Schütz, H. & Bringezu, S. (2006): Flächenkonkurrenz bei der weltweiten Bioenergieproduktion. Hrsg. v. Forum Umwelt und Entwicklung, Bonn.
- Schwarze, H., Ch. Röhrich (2006): Anbauversuch zum Pappel- und Weidenanbau im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen. Hrsg. von der sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Scott, D. A. & T. J. Dean (2006): Energy trade-offs between intensive biomass utilization, site productivity loss, and ameliorative treatments in loblolly pine plantations. Biomass and Bioenergy 30, p. 1001-1010.
- Skärbäck, E., P. Becht (2005): Landscape perspective on energy forests. Biomass and Bioenergy 28, 151-159.
- Smart, L.B., T.A.Volk, J. Lin, R.F. Kopp, I.S. Phillips, K.D. Cameron, E.H. White, L.P. Abrahamson (2005): Genetic improvement of shrub willow (*Salix* spp.) crops for bioenergy and environmental applications in the United States. Unasylva 211, Vol. 56, 51-55.

- SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft) (2006): Sachsens Ökonomie stärken – Erneuerbare Energien ausbauen. Positionspapier zur energetischen Nutzung regenerativer Energiepotenziale. Januar 2006. Internes Papier.
- SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft) (2006b): Checkliste Cross Compliance zu GQS_{SN} Gesamtbetriebliche Qualitäts-Sicherung für landwirtschaftliche Unternehmen in Sachsen. Dresden.
(www.smul.sachsen.de/de/wu/landwirtschaft/gap/downloads/SN-Checkliste_CC_2006.pdf)
- SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft) (2005): Klimaschutzbericht 2005. Dresden. (www.smul.sachsen.de/Klimaschutzbericht_2005_011105.doc), (SMUL 2005.pdf).
- SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft) (2003): Bio-Energie für Sachsen. Konzept zum Ausbau der energetischen Nutzung von Biomasse (Biomassekonzept Sachsen). Dresden. 20 S. (unveröffentl. Manuskript)
- SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft) (2001): Klimaschutzprogramm des Freistaates Sachsen. Dresden.
- SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft) (o.J.):
www.smul.sachsen.de/de/wu/klimaschutz/downloads/integrierter_klimaschutz.pdf
vom 16.01.2007
- SMWA (Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit) (Hrsg.) (2004): Energieprogramm Sachsen 2004. Leitlinien und Handlungsschwerpunkte. Dresden. 19 S. (Download: smwa.sachsen.de)
- Spinelli, R. & P.A. Kofmann (1996): A review of short-rotation forestry harvesting in Europe. Paper presented at the first conference of the Short Rotation Woody Crops Operations Workgroup. Paducah KY, 1996 September. p. 23-25.
<http://www.woodycrops.org/paducah/spinelli.html>.
- Splechtna, B. & G. Glatzel (2005): Optionen der Bereitstellung von Biomasse aus Wäldern und Energieholzplantagen für die energetische Nutzung – Szenarien, ökologische Auswirkungen, Forschungsbedarf. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Materialien Nr. 1, Januar 2005.
- Spliethoff, H. (2000): Verbrennung fester Brennstoffe zur Strom- und Wärmeerzeugung. Fortschritt-Bericht VDI, Reihe 6, Nr.443.
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2005): Sondergutachten Umwelt und Verkehr. (www.umweltrat.de/gutachten/sondergutachten)
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2004): Umweltgutachten 2004 des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen). Umweltpolitische handlungsfähigkeit sichern. Hrsg. v. Deutschen Bundestag Drs. 15/3600 vom 02.07.2004
- Stolte, H. (2007): Energiepflanzenanbau – Entwicklung und aktuelle Maßnahmen Vortrag zum Workshop Energiepflanzen im Rahmen der Internationalen Grünen Woche in Berlin 22.01.2007 (Download: www.fnr.de)

- Strohm-Lömpcke, Dr. R. (ALE Agentur für LandEntwicklung und LandErlebnis) (2006): Recherche zu Forschungs-, Entwicklungs- und Modellvorhaben mit Beiträgen zur innovativen Nutzung und Erhaltung von Agrarbiodiversität. Studie im Auftrag des BMELV.
- Tangermann, S., von Lampe, M. (2007): Wo sind die Grenzen? – DLG-Mitteilungen H. 2/2007, S. 13-15.
- Tangermann, S., von Lampe, M. (2006): Globaltrend Bioenergie. Eine Herausforderung für Landwirtschaft, Ernährungsindustrie und Politik. In: Das 21. Jahrhundert: Ära der Bioenergie, S. 127-143.
- Telenius, B. F. (1999): Stand growth of dedicious pioneer tree species on fertile agricultural land in southern Sweden. Biomass and Bioenergy 16, p. 13-23.
- Thrän, D., M. Kaltschmitt (2001): Stroh als biogener Festbrennstoff in Europa. In: FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse – Stand der Technik und Perspektiven für den ländlichen Raum. Gülzower Fachgespräche: Band 17. S. 85-102. (FNR_2001.pdf).
http://www.fnr-server.de/pdf/literatur/pdf_33gfg17stroh.pdf
- Tonn, B., U. Thumm & W. Claupein (2006): Bioenergiepotenziale von Landschaftspflegeholz. In: Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (2006): Nachwachsende Rohstoffe im Pflanzenbau. 49. Jahrestagung in Rostock – Kurzfassungen der Vorträge und Poster, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Bd. 18, S. 230-231. (GFP_2006.pdf)
- Traupmann, P., R. Kleinhappl, H.J. Wippermann, W. Holzer (2004): Anleitung zur Anlage von Kurzumtriebsflächen. Studie im Auftrag der von FPP – Forst-Platte-Papier. (Traupmann_etal_2004.pdf)
- Trinter, L. (2005): Planerische Steuerung von Biomasseanlagen durch Regional- und Bauleitplanung. Unveröff. Vortragsmanuskript des 482. Kurs des Instituts für Städtebau, Berlin, am 15.03.2005.
- Twistel, G & Röhricht, Dr. Chr. (2000): Erfassung des Potentials an land- und forstwirtschaftlicher Biomasse zur stofflich/energetischen Nutzung für unterschiedliche Verwaltungseinheiten des Freistaates Sachsen. In: Schriftenreihe der Sächsischen LfL, 5. Jg. 2. Heft 2000. (Twistel_Röhricht_2000.pdf).
- UBA (2001): Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzten Böden. UBA-Texte 59/2001, Berlin.
- Uckert, G. B. (2004): Versuche zur landbaulichen Verwertung von Holzaschen unter besonderer Berücksichtigung der Knickholzpotenziale Schleswig – Holsteins. Dissertation, Univ. Kiel – Inst. f. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 238 S. (Uckert_2004.pdf)

- Unsel, R. (1999): Kurzumtriebsbewirtschaftung auf landwirtschaftlichen Grenzertragsböden – Biomasseproduktion und bodenökologische Auswirkungen unterschiedlicher Baumarten. Diss. Univ. Freiburg. Shaker Verlag, Deutschland, 193 Seiten.
- Unterbrunner, R. (2002): Bioavailable contaminant stripping – Ein neues Konzept zur Sanierung von Altlasten. In: Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft: Angewandte Altlastenforschung. Veranstaltung der Universität für Bodenkultur Wien am 27. November 2002, S. 13. (BOKU_2002.pdf)
- Vassilev, A., J. Vangronsveld, I. Yordanov (2002): Cadmium Phytoextraction: Present State, Biological Backgrounds And Research Needs. Bulg. J. Plant. Physiol. 28 (3-4), p. 68-95. (Vassilev_2002.pdf)
- Vetter, A. (2006): Standortgerechte und umweltverträgliche Produktion von Energiepflanzen.- Wissenschaftliche Tagung des Dachverbands Agrarforschung (DAF) e.V. am 25./26.10.2006 in Braunschweig, (Vetter_2006.pdf).
www.daf.zadi.de/download/daf_tagung06.pdf
- Vetter, A. (2001): Qualitätsanforderungen an halmgutartige Bioenergieträger hinsichtlich der energetischen Verwertung. In: FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse – Stand der Technik und Perspektiven für den ländlichen Raum. Gülzower Fachgespräche: Band 17. S. 36-49. (FNR_2001.pdf),
http://www.fnr-server.de/pdf/literatur/pdf_33gfg17stroh.pdf
- Vetter, A., A. Werner, Th. Hering (2006): Energieholz vom Acker – Möglichkeiten und Grenzen. Vortrag auf dem 3. Mitteldeutschen Energietag „Festbrennstoffe in und aus der Landwirtschaft“ am 25. September 2006 in Bernburg, Sachsen-Anhalt. (Vetter_Werner_Hering_2006.pdf)
- Volk, T.A., T. Verwijst, P.J. Tharakan, L.P. Abrahamson, E.H. White (2004): Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crops. Front Ecol Environ 2 (8), 411-418.
- von Buttlar, C. (1996): Erhaltung genetischer Ressourcen über den Weg der energetischen Nutzung von Granzpflanzen. Dissertation Universität Kassel, Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Weatherall, A., M. F. Proe, J. Craig, A. D. Cameron, H. M. McKay, A. J. Midwood (2006): Tracing N, K, Mg and Ca released from decomposing biomass to new tree growth. - **a**: A model system simulating harvest residue decomposition on conventionally harvested clearfell sites. - **b**: A model system simulating root decomposition on clearfell sites. In: Biomass and Bioenergy 30, Part I: p. 1053-1059., Part II: p. 1060-1066.
- Weichler, J. (2005): Aspekte der Standortwahl für die Windenergienutzung in der ländlich geprägten Region Oberlausitz-Niederschlesien – Eine regionalplanerische Für- und Wider-Betrachtung. – Vortrag 7. Fachsymposium „Umwelt und Raumnutzung“ am 3. November 2005 in Freiberg. Hrsg. vom Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.

- Weih, M., N.-E. Nordh (2002): Characterising willows for biomass and phytoremediation: growth, nitrogen and water use of 14 willow clones under different irrigation and fertilisation regimes. *Biomass & Bioenergy* 23, 397-413.
- Wiegmann, K. & Fritsche, U. R. (2006): Nachhaltigkeitskriterien und Zertifizierung von Biomasse-Importen im globalen Kontext. Vortrag i. R. der BBE/UFOP-Tagung „Kraftstoffe der Zukunft 2006“ am 27.-28. November 2006 in Berlin (Download: www.bioenergie.de/BKR/2006/presentations/wiegmann.pdf)
- Winkel, G., K. R. Volz (2003): Naturschutz und Forstwirtschaft – Kriterienkatalog zur guten fachlichen Praxis. BfN: Angewandte Landschaftsökologie, Band 52.
- Wolf, H., B. Böhnisch (2004): Anbau schnellwachsender Gehölze auf stillgelegten landwirtschaftlichen Flächen zur Holzstoffproduktion. In: Tagungsband zum IBV-Symposium „Produktvielfalt durch Ressourcenvielfalt – Potenziale genetischer Ressourcen“ vom 23.-24. September 2003 in Bonn. (Wolf_Böhnisch_2004.pdf). <http://www.genres.de/IGRREIHE/%20IGRREIHE/DDD/23-15.pdf>, 22/11/06
- Wolters (1999): Bioenergie aus ökologischem Anbau. Wuppertal Papers Nr. 91. Wuppertal.
- Wühlich, G. von (2006): Praxisnahe Prüfung von Aspensorten für die Erzeugung von Holz auf landwirtschaftlichen Flächen. In: BFH-Nachrichten 2/2006, S. 7-8. (BFH_2006.pdf).
- Wuppertal Institut (2006): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchung im Auftrag des BGW und DVGW. Band 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen. Endbericht. Wuppertal u. a.
- Zeddies, G. (2006): Gesamtwirtschaftliche Effekte der Förderung regenerativer Energien, insbesondere der Biomasse – eine kritische Beurteilung vor dem Hintergrund modelltheoretischer Konzeptionen. – Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht H.2
- Zeddies, J. (2006): Rohstoffverfügbarkeit für die Produktion von Biokraftstoffen in Deutschland und der EU-25. Universität Hohenheim. 41 S.
- Zimmer, Y. (2007): Verfahrensvergleich der Bio-Energie Erzeugung: Aktuelle Lage und wo geht die Reise hin? Vortrag DLG-Wintertagung 9. – 11. Januar 2007 (Download: www.dlg.org)
- Zimmermann, S., D. Hallenbarter, W. Landolt, M. Genenger, I. Brunner (2002): Holz- asche: Zurück in den Wald? – Wirkung von Holzasche auf Waldboden, Baumwurzeln und Baumphysiologie. In: Wald und Holz 11/02, S. 41-44. (Zimmermann_etal_2002.pdf)

Programme

- Aktionsplan für Biomasse – Mitteilung der Kommission vom 7. Dezember, KOM(2005)628 endg. – Amtsblatt C 49 vom 28.02.2006

- Eine EU-Strategie für Biokraftstoffe – Mitteilung der Kommission vom 8. Februar 2006, KOM(2006)34endg. – Amtsblatt C67 vom 18.03.2006
- Weißbuch für erneuerbare Energien (1997)
- SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft) (2001): Klimaschutzprogramm des Freistaates Sachsen. Dresden. 124 S.

Gesetze und Verordnungen

Europäische Union

- Verordnung (EG) Nr. 1698/2005 des Rates vom 20. September 2005 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER)
- Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt (RL 2001/77/EG) (ABl. L283 vom 27.10.2001)
- Richtlinie zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor (2003/30/EG) (ABl. L 123 vom 17.5.2003).
- Richtlinie zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischen Strom (2003/96/EG)
- Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG vom 2. April 1979)
- FFH-Richtlinie (92/43/EWG vom 21. Mai 1992)
- Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG vom 23. Oktober 2000)

Bund

- Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG) – Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften vom 18. Dezember 2006 (BGBl I 2006, Nr. 62, S. 3180)
- Energiesteuergesetz (EnergieStG) - Gesetz zur Neuregelung der Besteuerung von Energieerzeugnissen und zur Änderung des Stromsteuergesetzes vom 15. Juli 2006 (BGBl I 2006, Nr. 33, S.1534)
- Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) - Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung vom 19. März 2002 (BGBl I 2002, 1092)
- Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung – BiomasseV) vom 21. Juni 2001 (BGBl. I 2001, Nr. 29, S. 1234) zuletzt geändert durch die 1. Verordnung zur Änderung der Biomasseverordnung vom 9. August 2005 (BGBl. I Nr. 49 vom 17. August 2005 Seite 2419)
- Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 12. Juni 2006 (BAnz. S. 4566), zuletzt geändert am 11. Juli 2006 (BAnz. S. 5109)

- Entwurf eines Gesetzes zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften (Biokraftstoffquotengesetz – BioKraftQuG
- Rahmenplan der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ für den Zeitraum 2006 bis 2009, BT-Drucksache 16/2522 vom 04.09.2006

Sachsen

- Sächsisches Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Sächsisches Naturschutzgesetz – SächsNatSchG) Rechtsbereinigt mit Stand vom 23. Mai 2004
- Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über die Gewährung von Fördermitteln für Vorhaben des Immissions- und Klimaschutzes einschließlich der Nutzung erneuerbarer Energien im Freistaat Sachsen vom 16. Februar 2006
- Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zur Förderung der Land- und Ernährungswirtschaft im Rahmen des Entwicklungsprogramms für den ländlichen Raum in Sachsen (Förderrichtlinie Land- und Ernährungswirtschaft – LuE/2007) vom (Stand vom 12.12.2006)
- Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft für die Gewährung von Ausgleichszulagen in benachteiligten Gebieten (Förderrichtlinie Ausgleichszulage – AZL/2007) Vom ... (Stand vom 12.12.2006)
- Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zur Förderung der naturnahen Waldbewirtschaftung und der Forstwirtschaft RL-Nr.: 52/2004 vom 13. Oktober 2004
- Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zur Förderung der ökologischen Waldmehrung in Sachsen RL-Nr.: 93/2003 vom 11. März 2003

10 Anhang

Tab. 10–1: Übersicht über relevante Rechtsgrundlagen und Programme zur Förderung des Anbaus und der energetischen Verwendung von Biomasse auf der Ebene der EU, des Bundes und des Freistaates Sachsen

Erneuerbare Energie (alle Energiequellen und -formen)
<p><u>EU-Ebene:</u></p> <p>Weißbuch für erneuerbare Energien (1997): Ziele der Europäischen Kommission: Verdopplung des Anteils erneuerbarer Energien am gesamten Bruttoinlandsverbrauch (Primärenergieverbrauch) bis 2010 auf dann 12 % Ziele für die verschiedenen erneuerbaren Energieträger; das Ziel für Biomasse für das Jahr 2010 liegt bei 135 Mtoe/a (5 628 PJ/a), eine weitere Differenzierung für biogene Festbrennstoffe, Biogas und Biotreibstoffe liegt nicht vor Die Ziele des Weißbuchs bilden die wesentliche Grundlage für die verschiedenen Maßnahmen zur Erhöhung des Anteils der Biomassennutzung, die nachfolgend beschrieben sind“ (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2005).</p> <p>Campaign Sustainable Energy Europe (2005 - 2008) Zur Erreichung der Ziele der europäischen Energiepolitik wurde als Folgeaktivität der Campaign for take-off die Campaign Sustainable Energy Europe 2005 für weitere vier Jahre gestartet. Um den Erfolg der Kampagne messen zu können, wurden für ausgewählte Sektoren indikative Ziele formuliert. Im Biomassebereich sollen bis 2008 auf EU-Ebene folgende Vorgaben erreicht werden: 6 000 neue Biogasanlagen, 450 neue Biomasse-KWK-Anlagen, 13 000 neu installierte mit Biomasse betriebene Zentralheizungsanlagen, Steigerung der Bioethanolproduktion um das 5-fache und Steigerung der Biodieselproduktion um das 3-fache.</p> <p>geplant in 2007: Grünbuch über eine kohärente europäische Energiepolitik</p>
Erzeugung und Verwendung von Biomasse (alle Energieformen)
<p><u>EU-Ebene:</u></p> <p>Aktionsplan für Biomasse (KOM(2005)628 endg.):</p> <ol style="list-style-type: none">1. Biomasse zur Wärmeerzeugung (Rechtsvorschriften prüfen und konsistent ergänzen)2. Strom aus Biomasse (Zielvorgaben für die Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energien sind ohne eine schnellere Zunahme Nutzung der Biomasse nicht zu erreichen)3. Biokraftstoffe(siehe Biokraftstoffrichtlinie)4. Querschnittsthemen <p>Biomasseversorgung erhöhen:</p> <ul style="list-style-type: none">GAP: Entkopplung, Energiepflanzenförderung, Anbau auf still gelegten FlächenForstwirtschaft: ForstaktionsplanAbfälleTierische NebenprodukteNormen für feste BiomassebrennstoffeVerbesserung der Lieferkette für Pellets und Späne

Einzelstaatliche Aktionspläne für Biomasse
Regionalförderung im Rahmen der Struktur- und Kohäsionsfonds: nationale Programme zur Diversifizierung der Wirtschaft im ländlichen Raum
Staatliche Beihilfen
5. Forschung

Anbau von Biomasse (alle Verwendungszwecke)

EU-Ebene:

- im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP):

1. Säule - Direktzahlungen und Marktordnungsausgaben aus dem Europäischen Garantiefonds für die Landwirtschaft (EGFL):

Förderung des Anbaus von Energiepflanzen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen als neue Fördermaßnahme (Energiepflanzenprämie)

Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen. Gemäß den Beschlüssen zur Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik ist es auch künftig möglich, auf obligatorisch stillgelegten Flächen nachwachsende Rohstoffe anzubauen.

2. Säule - Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER):

Modernisierung landwirtschaftlicher Betriebe - Investitionsförderung (Art. 26 ELER)

Ausgleichszulage (Art. 37 ELER)

etc.

Bundesebene:

Nationale Rahmenregelung zur Entwicklung ländlicher Räume"/ GAK (BMELV)

Auf der Grundlage von Maßnahmen der Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes" (GAK) wurde die "Nationale Rahmenregelung zur Entwicklung ländlicher Räume" nach der ELER-Verordnung erstellt und von der Europäischen Kommission Anfang Oktober 2006 notifiziert. Sie enthält gemeinsame Bestandteile der regionalen Programme der deutschen Bundesländer und stellt damit die Verbindung zwischen dem "Nationalen Strategieplan" und den Länderprogrammen her.

Rahmenplan der GAK 2002 bis 2009 (Bund/Länder):

Direkte oder indirekte Förderung von Nachwachsenden Rohstoffen einschl. Biomasse:

1. Säule der GAP: Direktzahlungen und Marktordnungsausgaben aus Mitteln des Europäischer Garantiefonds für die Landwirtschaft (EGFL)

Gekoppelte/produktspezifische *Direktzahlungen für Energiepflanzen/* Beihilfe für Energiepflanzen: Seit der Ernte 2004 können Landwirte für den Anbau von Energiepflanzen auf nicht stillgelegten Flächen und auf Dauergrünland eine Beihilfe beantragen. Landwirte erhalten die Beihilfe nur dann, wenn sie einen Anbau- und Abnahmevertrag mit einem Erstverarbeiter (zum Beispiel Ölmühle) schließen. Mit Ausnahme von Zuckerrüben können alle Pflanzen angebaut werden, vorausgesetzt sie werden zur Herstellung von Energieprodukten (Biokraftstoffen, Biomasse zur Gewinnung elektrischer und thermischer Energie) verwendet. Im Fall des Anbaus von Hanf dürfen nur zugelassene Sorten angebaut werden (BMELV 2005).

Flächenstilllegung: Landwirte können auf obligatorisch stillgelegten Flächen oder Teilen davon nachwachsende Rohstoffe anbauen. Voraussetzung ist jedoch grundsätzlich der Abschluss eines Anbau- und Abnahmevertrags mit einem Aufkäufer (zum Beispiel Landhändler) oder Erstverarbeiter (zum Beispiel Ölmühle). Grundsätzlich dürfen alle landwirtschaftlichen Ausgangserzeugnisse angebaut werden. Entscheidend ist, dass ihr hauptsächlichere Verwendungszweck die Herstellung eines der in Anlage 7 aufgeführten Energie- oder Industrieprodukte ist. Sie dürfen nicht der Herstellung von Nahrungs- oder Futtermitteln dienen.

Außerdem gibt es in Anlage 8 eine Liste „Reine Nichtnahrungs- beziehungsweise Nichtfuttermittelkulturen, die ohne Anbauvertrag als nachwachsende Rohstoffe auf Stilllegungsflächen angebaut

werden dürfen“ (BMELV 2005)

2. Säule der GAP: Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums aus Mitteln des Europäischen ELER

Ausgleichszulage in benachteiligten Gebieten: Wenn nachwachsende Rohstoffe angebaut werden, wird Ausgleichszulage auch auf Flächen gewährt, die nach der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 stillgelegt sind (RAHMENPLAN DER GAK 2002 BIS 2009).

Modernisierung landwirtschaftlicher Betriebe (ehemals Agrarinvestitionsförderungsprogramm): Generell Förderung von Investitionen in langlebige Wirtschaftsgüter zur Verbesserung der produktions- und Arbeitsbedingungen. Förderung von Maschinen und Geräten für eine besonders umweltgerechte Ausrichtung der Produktion und für nachwachsende Rohstoffe.

Hier: Spezialmaschinen und -geräte für nachwachsende Rohstoffe im Non-food Bereich, soweit die Praxistauglichkeit und Wirtschaftlichkeit nachgewiesen wird (RAHMENPLAN DER GAK 2002 BIS 2009). Maßnahmen der Energieeinsparung und -umstellung auf alternative Energiequellen (u. a. Biogas- und Biomasseanlagen, Biomasseverfeuerungen (Übersicht über Fördermaßnahmen auf www.fnr.de)

Laufzeit: bis 2009

Zuständigkeit: BMELV/Länder

Verwendung und Veredlung von Nachwachsenden Rohstoffen (incl. Biomasse)

Bundesebene:

Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“:

Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben sowie Markteinführung und Öffentlichkeitsarbeit im Bereich der stofflichen und energetischen Nutzung von Nachwachsenden Rohstoffen

Schwerpunkte (ab 2005 110 neue Projekte zu 28 Mio.€, STOLTE 2007):

- Effizienz Biogasproduktion
- Verfahren der Kraftstoffproduktion, insbesondere BtL-Herstellung
- Öffentlichkeitsarbeit
- Anbau und Züchtung von Energiepflanzen
(hier aktuell ca. 30 Projekte mit > 10 Mio. €; STOLTE 2007)

Laufzeit: unbegrenzt

Zuständigkeit: BMELV/FNR

Richtlinie „Demonstrationsvorhaben Bioenergie“:

Förderung von Demonstrationsvorhaben im Bereich der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Laufzeit: bis 31.12.2010

Zuständigkeit: BMELV/FNR

Sonderkreditprogramm Umweltschutz und Nachhaltigkeit:

Zinsgünstige Kredite für Investitionen in erneuerbare Energien und nachwachsende Rohstoffe, z. B. Biogasanlagen, dezentrale Ölmühlen und Biodieselanlagen, sowie in agrarbezogenen Umweltschutz und ökologischen Landbau

Laufzeit: unbefristet

Zuständigkeit: Landwirtschaftliche Rentenbank

Förderung der Innovationen aus Zweckvermögen der landwirtschaftlichen Rentenbank:

Zinsgünstige Kredite für innovative Vorhaben, die Modellcharakter haben bzw. geeignet sind, Erfahrungen hinsichtlich der Zweckmäßigkeit bestimmter umweltfreundlicher, tierschutzgerechter o-

der produktionstechnischer Verfahren bzw. bestimmter betriebswirtschaftlicher oder finanzierungs-
technischer Verhältnisse zu sammeln

Laufzeit: unbefristet

Zuständigkeit: Landwirtschaftliche Rentenbank

Regenerative Wärme- und Stromgewinnung

EU-Ebene:

Richtlinie über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt 2004/8/EC:

fordert eine Vereinheitlichung der Bestimmungsmethoden von KWK-Strom, eine Vereinfachung des Netzzugangs und eine regelmäßige nationale und europäische Berichterstattung den speziellen nationalen Rahmenbedingungen ist Rechnung zu tragen
Ziele und Maßnahmen für den verstärkten Einsatz von Biomasse zur KWK sind nicht definiert.

Bundesebene:

Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)- Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung 2002

Bis zum Jahr 2005 soll im Vergleich zum Basisjahr 1998 durch die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung eine Minderung der jährlichen Kohlendioxid-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland in einer Größenordnung von 10 Millionen T und bis zum Jahr 2010 von insgesamt bis zu 23 Millionen T, mindestens aber 20 Millionen T, erzielt werden.

Zu dem Ziel einen Beitrag leisten durch den befristeten Schutz und die Modernisierung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) sowie den Ausbau der Stromerzeugung in kleinen KWK-Anlagen und die Markteinführung der Brennstoffzelle

regelt die Abnahme und die Vergütung von Kraft-Wärme-Kopplungsstrom (KWK-Strom) aus Kraftwerken mit KWK-Anlagen auf Basis von Steinkohle, Braunkohle, Abfall, Biomasse, gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen, die im Geltungsbereich dieses Gesetzes gelegen sind. KWK-Strom, der nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz vergütet wird, fällt nicht in den Anwendungsbereich dieses Gesetzes.

Marktanreizprogramm zur Förderung von erneuerbaren Energien (neue Förderrichtlinien ab 2007)

Mit dem Programm werden durch Zuschüsse und zinsgünstige Darlehen sowie Teilschulderlässe Investitionen in innovative Technologien für Biomassekessel (Pelletskessel, Hackschnitzelanlagen, Scheitholzvergaserkessel) zur Wärme- und Stromgewinnung über das Bundesamt für Wirtschaft (BAFA) und Biomasseheizkraftwerke Rahmen des KfW-Programms erneuerbare Energien unterstützt. Erhöhte Förderung für Innovationen („Innovationsbonus“, z. B. für Emissionsminderung bei Biomasseanlagen.

Laufzeit:

Zuständigkeit:

Gesamtprogramm: BMU

fachlich zuständig für Biomasse: BMELV

Abwicklung über: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) und KfW-Förderbank

Geplant:

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEW) analog zum EEG

Regenerativer Strom

EU-Ebene:

EE-Richtlinie - Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt (2001/77/EG) – betrifft alle Bioenergieträger

Um die Ziele des Weißbuchs für Erneuerbare Energien zu erreichen:

der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromproduktion der gesamten EU soll von knapp 14 % im Jahr 1997 auf rund 22 % im Jahr 2010 steigen

Unter den verschiedenen europäischen Maßnahmen zur Verringerung der klimarelevanten Emissionen nimmt die EE-Richtlinie in Hinblick auf die erreichbaren Emissionsminderungen eine Schlüsselrolle ein und soll Einsparungen von 100 bis 125 Mio. mg CO₂-Äquivalent erreichen

In der Richtlinie wurden für alle Mitgliedstaaten indikative (nicht verbindliche) Richtziele festgelegt, wobei es ihnen freigestellt ist, welche Instrumente sie zur Erreichung verwenden.

Umsetzung in Deutschland durch:

ErneuerbareEnergienGesetz (EEG) – Gesetz über den Vorrang Erneuerbarer Energien (2004)
– betrifft alle Bioenergieträger:

Die Kernelemente des EEG sind:

- Mindestvergütungen für erneuerbare Energien in €/kWh Strom
- der vorrangige Anschluss von Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und an die Netze für die allgemeine Elektrizitätsversorgung,
- die vorrangige Abnahme und Übertragung dieses erneuerbar hergestellten Stroms sowie
- eine für in Betrieb genommene Anlagen in der Regel für 20 Jahre konstante Vergütung dieses Stroms durch die Netzbetreiber, die an den Kosten orientiert ist
- der bundesweite Ausgleich des abgenommenen Stroms und der entsprechenden Vergütungen.

Die Höhe der Vergütung für den Strom hängt von der Energiequelle und der Größe der Anlage ab. Die Höhe der Vergütung hängt zudem vom Zeitpunkt der Installation der Anlage ab; je später eine Anlage in Betrieb genommen wird, desto geringer ist der Tarif (Degression).

Zur Vergütung im Detail:

Grundvergütung: Um den wirtschaftlichen Betrieb kleiner Bioenergieanlagen zu ermöglichen, wurde eine zusätzliche Vergütungsstufe für Anlagen bis 150 kW elektrische Leistung eingeführt. Die Förderung für Althölzer wurde eingeschränkt.

- Technologiebonus: Mit diesem Zuschlag von 2 ct/kWh soll ein besonderer Anreiz geschaffen werden, innovative und besonders energieeffiziente Stromerzeugungstechnologien, die grundsätzlich als Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen ausgeführt sein müssen, einzusetzen. Der Technologiebonus wird nur bis zu einer Leistungsgröße von 5 MWel gewährt.

- KWK-Bonus: Bei der gleichzeitigen Produktion von Strom und Wärme gewährt der Gesetzgeber einen Zuschlag von 2 ct/kWh. Dieser Zuschlag wird nur für den Anteil des Stroms gewährt, der auch tatsächlich und nachweislich im KWK-Betrieb erzeugt wird. Hier gelten dann die entsprechenden Regelungen des KWK-Gesetzes. Der KWK-Bonus wird für alle Leistungsgrößen des EEG unabhängig von der eingesetzten Stromerzeugungstechnologie gewährt.

- Brennstoffbonus: Die Verwendung naturbelassener Biomasse aus der Land- und Forstwirtschaft sowie aus der Landschaftspflege wird besonders vergütet. Andere Energieträger dürfen nicht eingesetzt werden, wenn dieser Bonus in Anspruch genommen wird, es gilt das Ausschließlichkeitsprinzip

Ab 2007 alle 4 Jahre Erfahrungsbericht und ggf. Anpassung der Vergütungs- und Degressionssätze.

Das EEG sorgt für den Ausbau der umweltschonenden erneuerbaren Energien nicht durch Subventionen, sondern durch eine Umlage. Die Netzbetreiber und Energieversorgungsunternehmen können die Differenzkosten für Strom aus Erneuerbaren Energien an die Endverbraucher weitergeben.

Laufzeit: unbefristet

Zuständigkeit: BMU

Biomasseverordnung (BiomasseV) – Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse, zuletzt geändert 2005:

Diese Verordnung regelt für den Anwendungsbereich des Erneuerbare-Energien-Gesetzes,

- welche Stoffe als Biomasse gelten (§ 2) und welche nicht (§ 3),
- welche technischen Verfahren zur Stromerzeugung aus Biomasse in den Anwendungsbereich des Gesetzes fallen (§ 4) und
- welche Umweltauflagen bei der Erzeugung von Strom aus Biomasse einzuhalten sind (§ 5)

Grundsätzlich sind alle Energieträger aus Phyto- und Zoomasse sowie daraus resultierende Folge- und Nebenprodukte als Biomasse anerkannt. Für bestimmte Stoffgruppen werden jedoch Einschränkungen formuliert. Differenzierte Regelungen werden für schadstoffbelastetes Alt- und Gebrauchtholz getroffen. Bei der Verstromung dieser Materialien sind die Bestimmungen des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) einzuhalten.

Laufzeit: unbefristet

Zuständigkeit: BMU

Biokraftstoffe

EU-Ebene:

EU-Strategie für Biokraftstoffe (KOM(2006)34endg.):

Ziele:

Verstärkte Förderung von Biokraftstoffen in der EU und in den Entwicklungsländern

Vorbereitung auf einen breiten Einsatz von Biokraftstoffen

Förderung der Zusammenarbeit mit den Entwicklungsländern auf dem Gebiet der nachhaltigen Erzeugung von Biokraftstoffen

Maßnahmenswerpunkte:

Förderung der Nachfrage nach Biokraftstoffen (RL Biokraftstoffe 2003/30/EG, RL Energiebesteuerung aus 2003, RL für die Förderung sauberer Fahrzeuge im Straßenverkehr 2005)

Nutzung der Umweltvorteile

Förderung der Erzeugung und des Vertriebs von Biokraftstoffen

Ausweitung der Rohstoffversorgung (Beihilfe für die Erzeugung von Zucker für die Herstellung von Bioethanol, Verarbeitung von Getreide aus Interventionsbeständen zu Biokraftstoffen, Informationskampagne, Forstaktionsplan, Verwendung von Nebenerzeugnissen tierischer Herkunft und Abfälle als Energieressourcen)

Stärkung der Möglichkeiten für die Vermarktung (gesonderte Zollcodes für Biokraftstoffe, Konzept für die Einfuhr, Änderung der Norm für Biodiesel)

Unterstützung der Entwicklungsländer (u. a. Begleitmaßnahmen, Beihilfeprogramm)

Förderung von Forschung und Innovation (integrierte Verwendung von Biomasse und Biokraftstoffen)

fen der 2. Generation (Verarbeitung von Lignozellulose, wie Stroh und Abfälle aus der Waldbewirtschaftung, als Rohstoffe)

Biokraftstoffrichtlinie - RL zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor (2003/30/EG):

bis zum Jahr 2005 soll in den EU-Mitgliedstaaten der Biokraftstoff-Anteil auf 2 % ansteigen, bis 2010 auf 5,75 %

der Kommission sind jährlich Förderungsmaßnahmen und Biokraftstoffabsatz zu melden; werden die Ziele verfehlt, so kann die EU einzelstaatliche Ziele verbindlich vorschreiben

EU-Energiesteuer-Richtlinie - Richtlinie zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischen Strom (2003/96/EG):

den Mitgliedstaaten ist eine Mineralölsteuerermäßigung bis hin zur totalen Befreiung für reine Biotreibstoffe bzw. den biogenen Anteil im Treibstoff gestattet

Umsetzung in Deutschland durch:

bisher:

Änderung des Mineralsteuergesetz 2004

Steuerbefreiung für biogene Kraftstoffe mit dem Ziel, den Unterschied zwischen den Kosten für den Biokraftstoff und dem Preis für den entsprechenden fossilen Kraftstoff auszugleichen

Laufzeit: bis 31.12.2009

seit 1. August 2006:

Energiesteuergesetz (EnergieStG) - Gesetz zur Neuregelung der Besteuerung von Energieerzeugnissen und zur Änderung des Stromsteuergesetzes 2006,

u. a.:

Teilbesteuerung von Biokraftstoffen (Biodiesel und Pflanzenöle), um die festgestellte EU-rechtswidrige Überkompensation abzubauen und damit die steuerliche Subvention der Biokraftstoffe auf ein in der EU zulässiges Maß zu beschränken und Mitnahmeeffekte zu vermeiden.

Statt der bisher faktischen Steuerbefreiung stufenweise Erhöhung der Steuerbelastung für Biodiesel und ab Januar 2008 auch für reinen Pflanzenölkraftstoff:

Biodiesel als Reinkraftstoff wird zunächst (bis Ende 2007) mit 9 Ct/l besteuert. Pflanzenöle können zunächst weiterhin steuerfrei als Kraftstoffe verwendet werden. Ab Januar 2008 sind linear steigende Steuersätze bis Ende 2011 vorgesehen. Biokraftstoffe der zweiten Generation, Biomethan und Bioethanol werden bis Ende 2015 steuerlich begünstigt.

Die Steuerbegünstigung für die Beimischung entfällt zum 1. Januar 2007 und wird durch eine Beimischungspflicht gemäß Biokraftstoffquotengesetz ersetzt.

seit 18. Dezember 2006

Biokraftstoffquotengesetz – BioKraftQuG - Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften:

Quotenregelung für Biokraftstoffe, die den Anteil von Biokraftstoffen in den kommenden Jahren schrittweise auf das Maß der Biokraftstoffrichtlinie der EU von 5,75 % erhöht.

Mit dem Biokraftstoffquotengesetz wird die Mineralölwirtschaft ab 1. Januar 2007 ordnungsrechtlich verpflichtet, einen Mindestanteil an Biokraftstoff in Verkehr zu bringen. Der Mindestanteil, bezogen auf den gesamten jährlichen Absatz eines Unternehmens an Otto- und Diesekraftstoff einschl.

Biokraftstoff, beträgt - auf den Energiegehalt bezogen - bei Diesel 4,4 Prozent und bei Benzin 1,2 Prozent (ab 2009 2,8 Prozent, ab 2010 3,6 Prozent). Außerdem wird eine Gesamtquote festgelegt, die 2009 mindestens 6,25 Prozent und ab 2010 mindestens 6,75 Prozent beträgt. Für die Jahre

2011 bis 2015 gibt es eine linear auf acht Prozent ansteigende Gesamtquotenpflicht.

Zuständigkeit: BMF

Markteinführungsprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ (MEP) mit den Richtlinien

Die Ziele des Markteinführungsprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ sind es, einen Beitrag für eine nachhaltige Rohstoff- und Energiebereitstellung zu leisten, die Umwelt durch Ressourcenschutz, besonders umweltverträgliche Produkte und CO₂-Emissionsverminderung zu entlasten sowie die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Land- und Forstwirtschaft sowie der vor- und nachgelagerten Bereiche zu stärken.

Handlungsfelder / Förderschwerpunkte, u. a.:

Prozessoptimierung bei der Biogaserzeugung im Bereich Prozessregelung und Mikrobiologie

Die Fördermittel können verwendet werden für:

den Aufbau von Produktlinien von der Erzeugung bis zur Verwendung nachwachsender Rohstoffe, die Durchführung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben zur Erschließung weiterer Verwendungsmöglichkeiten im Nichtnahrungsmittelsektor, Informationsvermittlung und Beratung, vor allem für Produzenten, Verarbeiter und Anwender nachwachsender Rohstoffe, das Marketing und die Öffentlichkeitsarbeit.

Den Fördermaßnahmen liegen Richtlinien zugrunde, die sich auf verschiedene Anwendungsbereiche beziehen. Die Richtlinien beschreiben die grundsätzlichen Voraussetzungen für eine Zuwendung.

Biokraftstoffe werden zurzeit über folgende Maßnahmen gefördert:

Errichtung und Umrüstung von mobilen und stationären **Eigenverbrauchstankstellen** für die Lagerung von Biodiesel und Pflanzenöl:

- Richtlinie für Land- und Forstwirtschaft
- Richtlinie für die Kommunal- und Bauwirtschaft in umweltsensiblen Bereichen

Umrüstung der Antriebe land- und forstwirtschaftlicher Maschinen auf Biodiesel:

- Richtlinie zur Umrüstung auf Biodiesel

Laufzeit: unbegrenzt

Zuständigkeit: BMELV/FNR

Förderung im Freistaat Sachsen – alle Energieformen

Förderprogramm Immissions- und Klimaschutz einschließlich der Nutzung erneuerbarer Energie

Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien (Programmteil B)

Gefördert werden u. a.:

- die Errichtung von Anlagen zur energetischen Nutzung *fester Biomasse*, ausgenommen Einzelfeuerstätten (wie zum Beispiel Heizungsherde, Kachelöfen, offene Kamine) einzeln und in Kombination mit der Errichtung einer Sonnenkollektoranlage
- die Umrüstung von Feuerungsanlagen für Heizöl EL auf die energetische Nutzung von *Pflanzenölen* in Trinkwasserschutzgebieten, ausgenommen Einzelfeuerstätten;
- die Errichtung von Anlagen zur energetischen Nutzung von *Biogas* einschließlich der Anlagen zur Gewinnung von Biogas, ausgenommen Deponiegasanlagen.

Laufzeit: bis 31.12.2008

Zuständigkeit: LfUG

Im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP):

Landesebene:

1. Säule der GAP: Direktzahlungen und Marktordnungsausgaben aus Mitteln des Europäischer Garantiefonds für die Landwirtschaft (EGFL)

Direktzahlungen für Energiepflanzen

Beihilfe für den Anbau von Energiepflanzen entsprechend der nationalen Umsetzung der Vorgaben des EGFL

Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf still gelegten Flächen
entsprechend der nationalen Umsetzung der Vorgaben des EGFL

2. Säule der GAP: Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums aus Mitteln des Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER)

Ausgleichszulage in benachteiligten Gebieten:

Förderrichtlinie Ausgleichszulage – AZL/2007)

Für Flächen, die nach der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 stillgelegt sind, mit Ausnahme der Flächen,

- auf denen ökologischer Landbau betrieben wird oder
 - nachwachsende Rohstoffe angebaut werden oder
 - aus der landwirtschaftlichen Produktion genommen wurden,
- wird *keine* Ausgleichszulage gewährt.

Laufzeit: im Rahmen der ELER-VO bis 2013; im RL-Entwurf unbegrenzt

Zuständigkeit: Ämter für Landwirtschaft

ehemals Agrarinvestitionsprogramm:

Entwicklungsprogramm für den ländlichen Raum im Freistaat Sachsen 2007 – 2013 (Entwurf vom 10.11.2006):

Modernisierung landwirtschaftlicher Betriebe (Entwurf Förderrichtlinie Land- und Ernährungswirtschaft – LuE/2007) (Maßnahmebereich A9 im Entwicklungsprogramm bzw. 2.9 des Richtlinienentwurfs):

Investitionen zur Erzeugung und Nutzung regenerativer Energien sowie die Umstellung auf regenerative Energien (ausgenommen Wind-, Wasserkraft- und Photovoltaikanlagen), soweit die Energieträger überwiegend im eigenen Unternehmen erzeugt werden oder die erzeugte Energie überwiegend im eigenen Unternehmen genutzt wird.

Ziel: Betriebe sollen in ihrer Umstellung auf die Weltagarmärkte bzw. die regionalen Energiemärkte forcierend unterstützt werden.

15 % Zuschuss ohne Gebietsdifferenzierung bei Biogasanlagen in Futterbau-, Veredlungs- und Verbundbetrieben,

30% Zuschuss ohne Gebietsdifferenzierung für alle Investitionen mit Ausnahme bei Biogasanlagen,

40 % Zuschuss im nicht benachteiligten Gebiet und 50 % im benachteiligten Gebiet bei allen Anlagen zur regenerativen Energienutzung mit Modell- und Demonstrationscharakter.

Laufzeit: im Rahmen der ELER-VO bis 2013; im RL-Entwurf unbegrenzt

Zuständigkeit: LfL

Tab. 10–2: Kontaktpersonen relevanter Institutionen

Institution	Ansprechpartner/ zuständige Person:	Informationen
Bundesebene		
BMELV	Johannes Ponath	Hinweis auf laufendes Verbundvorhaben: „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ <i>Tel. Kontakt: 11.2007</i>
Umweltbundesamt UBA PF 14 06 06813 Dessau	Dr. Klaus Müschen FB I Klimaschutz, Umwelt und Energie T. 0340 – 2103-2081	Interne AG aus Vertretern von 16 Fachgebieten erarbeitet einen 'Leitfaden zur Biomassenutzung' mit den Themen Potentiale, Bewertungskriterien, Nutzungsoptionen. Hausinterne Abstimmung läuft. Veröffentlichung nicht vor Sommer 2007. (Stichworte: mittel- und langfristige Optionen für Kraftstoffe und stationäre Anlagen. Zertifizierung von Holz und Rohstoffen für Kraftstoffe.) <i>Kontakt: 13.12.2006</i>
Umweltbundesamt UBA PF 14 06 06813 Dessau	Frank Repmann Kommission Bodenschutz T. 0340 – 2103-2313	Veranstaltung „Bodenschutz und nachwachsende Rohstoffe“ 05.12.2006 – Vorträge und Zusammenfassung; Positionspapier der Kommission in Bearbeitung (Beitrag zum 'Leitfaden Biomassenutzung') <i>Tel. Kontakt: 15.12.2006</i>
	Gertrude Penn-Bressel FG I 2.3 Umweltprüfungen und Raumbezogene Umweltplanung	F+E-Vorhaben „Flächenkonkurrenz“
Bundesamt für Naturschutz Karl-Liebknecht-Str. 143 04277 Leipzig	Kathrin Ammermann, Kathrin Winde Erneuerbare Energien, Berg- und Bodenabbau T.: 0341/30977-20 PBox-BfN-Leipzig@BfN.de	gepl. Veröffentlichungen Januar 2007: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Strategiepapier des BfN zum 'Leitfaden Biomassenutzung' ▪ Workshop Szenarien zur Biomasse unter Naturschutzgesichtspunkten 18.10.-20.10.2006 (Vilm) ▪ F+E-Vorhaben „Naturschutzrelevanz raumbedeutsamer Auswirkungen der Energiewende“ (1.11.2006 bis 31.08.2008) Ansatzpunkte für die Länder: u. a. Standards für Anbausysteme <i>Tel. Kontakt: 14.12.2006</i>
Deutscher Rat für Landespflege - Geschäftsstelle - Konstantinstr. 110 53179 Bonn	Angelika Wurzel stellv. Geschäftsführerin Tel. 0228/33 10 97 DLR-Bonn@t-online.de	Die Veröffentlichung der Dokumentation des Symposiums „Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft“ 2005 ist geplant für Januar 2007. <i>Tel. Kontakt: 13.12.2006</i>

Tab. 10–3: Auswahl an laufenden und abgeschlossenen Projekte auf dem Sektor Bioenergie

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
Laufende Vorhaben	
Holzrohstoffbilanz Deutschland – Bestandsaufnahme 2004 (Wood resource balance Germany 2004) Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg (verbunden mit der BFH)	Die Holzrohstoffbilanz sollte die methodischen Grundlagen schaffen, Rohholzaufkommen und -verwendung kontinuierlich zu dokumentieren, damit die Wirtschaft die notwendigen Datengrundlagen für Investitionsentscheidungen zur Verfügung hat und die Politik ihren Mitteleinsatz auf eine fundierte Basis von Fakten stellen kann.
DENDROM (Verbundprojekt) Träger: Forschungszentrum Jülich (Gefördert durch das BMBF) Verbundpartner: FH Eberswalde IÖW BTU Cottbus TFHW LFE IIVH NRW ATB	Ziel des Verbundprojektes ist die systemische Analyse und Entwicklung von Leitbildern und Szenarien einer nachhaltigen energetischen und stofflichen Verwendung von Dendromasse aus dem Wald und von Feldgehölzen auf landwirtschaftlichen Flächen. Es werden ganzheitliche Strategien und Handlungskonzepte zur nachhaltigen Bereitstellung von Holz für die indirekte und direkte energetische Nutzung entwickelt. 1) Wachstumsentwicklungen aufgrund steigender Biomassenachfrage sowie deren Bedarfsdeckung durch Aktivierung von Holzreserven aus dem Wald und durch den Anbau schnell wachsender Gehölze auf dem Feld. 2) Einfluss der verschiedenen Bedingungen, Formen und Auswirkungen der verschiedenen Waldbewirtschaftungen sollen qualitativ als auch mit Hilfe empirischer Untersuchungen für einzelne Modellregionen im Bundesland Brandenburg erfolgen. 3) Untersuchung der energetischen Wertschöpfungskette der Holz-basierten Produktion von Biokraftstoffen und deren Auswirkung auf die Forst- und Agrar-Holzkette sowie die Bedingungen für deren nachhaltige Gestaltung. Schlagworte: Energieholz; Kurzumtrieb; Logistische Optimierung; Ertragsmodellierung
NOVALIS – Zur naturverträglichen Produktion von Energieholz in der Landwirtschaft Forschungszentrum Waldökosysteme Göttingen FZW (gefördert durch die DBU)	Ziel des Vorhabens ist, die verschiedenen Altersphasen der Bewirtschaftung von Energieholzanzpflanzungen zu erfassen und hinsichtlich ihrer Natur- und Umweltschutzverträglichkeit zu bewerten: Standort, Wuchsdynamik, Bewirtschaftungstechnik, Biodiversität (Artenpool, Artenstruktur), Stoffhaushalt, Habitatqualität, räumliche Einbindung, landschaftsökologische Effekte, Kontrollgrößen Bewirtschaftung, Indikatoren für naturverträglichen Anbau. Projektübergreifende Vernetzungen und Kooperationen sind zu den BMBF-Forschungsverbänden DENDROM, AGROWOOD sowie zum DBU-

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
	Vorhaben SUNREG II geplant.
AGROWOOD (Verbundprojekt gefördert durch das BMBF) 08.2005-03.2009 Auftragnehmer: TU Dresden Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (Inst. für Agrarökonomie und Agrarraumgestaltung) Landesforstpräsidium Sachsen FIB e.V. Ostdeutsche Gesellschaft für Forstplanung mbH Universität Hamburg - Zentrum für Holzwirtschaft	Die Zielsetzung des Projektes besteht in der Anlage von Plantagen im Kurzumtrieb. Erstmals soll auf einer Fläche von 200 -400 ha in den Regionen Freiberg (Sachsen) und Schradenland (Brandenburg) Kurzumtriebsplantagen mit den schnell wachsenden Baumarten Pappel und Weide angelegt, geerntet und die produzierte Dendromasse in den Regionen energetisch genutzt bzw. zu innovativen Produkten verarbeitet werden. Bereiche: Standort und Landschaft, Naturschutz, Klima und Regionalentwicklung, Agrarpolitik und Sozioökonomie, Technologie und Betriebswirtschaft.
agroforst (Verbundprojekt gefördert durch das BMBF) Projektträger: Forschungszentrum Jülich, Auftragnehmer: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (IWW, Inst. für Landespflege) LAP Forchheim	Im Rahmen des Verbundprojektes sollen kombinierte agroforstliche Bewirtschaftungskonzepte als Alternative zu den bislang räumlich streng getrennten land- bzw. forstwirtschaftlichen Nutzungen untersucht werden. Schwerpunkte: Wertholzproduktion, Naturschutz und Landschaftsbild, Landwirtschaftliche Aspekte von Agroforstsystemen, Biomasseproduktion, Visualisierung.
Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus (Teilprojekt) 05.2005-10.2008 BMVEL (FNR)	Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus auf abiotische und biotische Komponenten des Naturhaushalts. Naturräume, Regionalisierung, Anbauszenarien.
Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus (Teilprojekt I: Biotik) 04.2005 -10.2008 Projektträger: BMVEL Auftragnehmer: ZALF (Institute: Bodenlandschaftsforschung, Landnutzungssysteme / Landschaftsökologie, Landschaftssystemanalyse) Uni Gießen LVL Brandenburg LWK Weser-Ems LfL Sachsen TLL Jena TFZ für Nachwachsende Rohstoffe	Ökologische Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus - Folgewirkungen auf abiotische und biotische Komponenten des Naturhaushalts: Naturräume, Regionalisierung, Anbauszenarien. (Stichworte: biotisches „Lebensraummodell“, Habitatnutzung von Ackerfrüchten, Organismengruppen: Beikräuter, Laufkäfer, Spinnen, Blütenbesucher, Vögel) Bem.: Teilprojekt des Verbundvorhabens „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“, FNR)
Einfluss von Zusatzbewässerung auf den Biogas-ertrag von Energiepflanzen in Reinbestand, Mischung und Anbausystemen (Teilprojekt Abiotik)	Projektziel: Energieaustrag ausgewählter Ein- und Zweikultur-Nutzungssysteme bei unterschiedlicher Bewässerung unter den Standortbedingungen von

Projekttitel Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
08.2005-12.2007 Projektträger: BMELV Auftragnehmer: ZALF (Institute: FSL, Bodenland- schaftsforschung, Landnutzungssyst. / Land- schaftsökologie, Sozioökonomie)	Müncheberg. Bem.: Teilprojekt des Verbundvorhabens „Entwick- lung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energie- pflanzen unter den verschiedenen Standortbedin- gungen Deutschlands“, FNR)
Entwicklung von Metamodellen zur landnutzungs- abhängigen Abschätzung von Biomasse und öko- nomisch verwertbarem Ertrag auf Acker- und Grünlandstandorten 01.2004-12.2007 Projektträger: ZALF (NME 2020: Forschungsverbund Nachhaltige Landschaftsentwicklung NordMittelEuropa - 2020, TP II, TP IV, TP V, TP VII)	
Gräser für Flussauen und Bodenschutz, Feuchtge- bietserhaltung und ihre Nutzung für industrielle und energetische Zwecke 01.2003-12.2007 Projektträger: BMVEL (Bestandteil der Auslands- kooperation der BMVEL-Forschung mit China) Auftragnehmer: ZALF (Institute: FSL, Bodenlandschaftsforschung)	Untersuchung von Gräsern, die in Flussauen Über- flutungen standhalten und die für industrielle und / oder energetische Zwecke nutzbar sind.
Ökologische Optimierung der Produktion und e- nergetischen Nutzung von Biomasse - Natur- und raumverträglicher Ausbau energetischer Biomasse- pfade (SUNREG II) 03.2006-03.2009 Träger: DBU, VW AG, Land Niedersachsen AN: Universität Hannover - Institut für Umweltpla- nung (IUP), Leibniz-Institut für Agrartechnik Pots- dam-Bornim e.V. (ATB)	03.2006-03.2009: natur- und raumverträglicher Aus- bau energetischer Biomassepfade, Landnutzungs- systeme, Biomasseströme, Landschafts- und Raumplanung, Regionalplanung, Konflikte und Syn- ergien mit den Interessen des Naturschutzes, Hand- lungs- und Planungstools.
NEWAL-NET 07.2005-01.2009 Projektträger: Forschungszentrum Jülich, Auftraggeber: BMBF- Forschungsschwerpunkt "Nachhaltige Waldwirtschaft"	In diesem Projekt werden die an repräsentativen Waldstandorten in der Mecklenburgischen Klein- seenplatte erarbeiteten ökologischen Erkenntnisse über die Struktur- und Habitatnutzung der Wirbeltier- fauna (Vögel und Säugetiere, s. hastra) unter Ein- beziehung von Kenntnissen über die Phytodiversität und Selbstorganisation des Waldes auf die Land- schaftsebene der Modellregion im Biosphärenreser- vat Schorfheide-Chorin übertragen. Darüber hinaus

Projekttitel Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
Auftragnehmer: ZALF Müncheberg (Koordinator) Humboldt Universität Berlin Büro für Landschaftskommunikation Waldkunde Institut Eberswalde Forschungszentrum Karlsruhe Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin Universität Hamburg	wird die Reaktion von Habitatmodellen ausgewählter Vogel- und Säugetierarten auf die komplexen Auswirkungen verschiedener Landnutzungs- und Umweltszenarien hin analysiert. Ziel ist es, nicht nur die unmittelbaren, sondern insbesondere auch die über räumliche Wechselwirkungen vermittelten Wirkungen von Wäldern in der Landschaft zu quantifizieren und Vorschläge für eine Optimierung zu liefern.
Analyse von zeitlicher und räumlicher Variabilität ertragsrelevanter Komponenten von pflanzenbaulichen Anbauverfahren und deren Verallgemeinerung in Form von Algorithmen 2005-2009 Projektträger: ZALF LSE Institute: Landschaftssystemanalyse, Landnutzungssysteme / Landschaftsökologie, Sozioökonomie, Bodenlandschaftsforschung Institutionen: Deutsches Luft- und Raumfahrtinstitut Neustrelitz Humboldt-Universität Berlin DIAS (Dänemark)	Funktionsweisen von Anbau- und Produktionssystemen, standortspezifische Gestaltung, modellhafte Abbildung von Anbauverfahren bzw. -systemen zukünftiger Ackernutzungssysteme.
Naturschutzrelevanz raumbedeutsamer Auswirkungen der Energiewende (F+E – Vorhaben) 2006-2008 Auftraggeber: Bundesamt für Naturschutz Auftragnehmer: TU München – Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung	Hintergrund: Flächen- und Nutzungskonkurrenzen beim Ausbau von Biomasse im Hinblick auf den Natur- und Umweltschutz. Zielsetzung: Herleitung von bundesweit anwendbaren, praxisrelevanten Empfehlungen zur Anwendung und Weiterentwicklung von Instrumenten zur naturverträglichen, nachhaltigen Steuerung der zukünftigen Raumentwicklung an Land vor dem Hintergrund raumrelevanter Auswirkungen der Energiewende.
Auswahl an laufenden Vorhaben die durch das BMELV gefördert werden	
Prozessanalyse und Ökobilanzierung der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln in Kooperation mit Waldbesitzern, Einschlags- und Transportunternehmen sowie Biomasseheiz(-kraft-)werken 11.2006 - 10.2008 Projektbearbeitung: Technische Universität München - Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik	Analyse und Verbesserung der derzeitigen Prozesse der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln in Kooperation mit den Waldbesitzern, den tätigen Einschlags- und Transportunternehmen sowie den Biomasseheiz(kraft)werken. Parallel wird eine ökologische Analyse und Bewertung des Produktes Waldhackschnitzel durch eine Ökoinventarisierung angestrebt. Mit Hilfe einer Prozessanalyse bestehend aus IST-Analyse, Schwachstellen-Analyse, SOLL-Konzept und Implementation wird die Situation der Rohstoffbereitstellung untersucht und mit den Beteiligten verbessert. Die Ergebnisse werden anhand von Experteninterviews, Dokumentationen und Workshops erfasst. Zur Erstellung der Ökobilanzierung werden verfahrensbedingte Module entwickelt.

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
	<p>Die Module beziehen sich u.a. auf Materialprofile, Emissionswerte und dem Energieträgerbedarf der einzelnen Verfahren. Anhand von Zeitstudien und Softwareauswertungen werden innovative Verfahrenstechniken und deren Praxisreife untersucht. Innerhalb der Implementationsphase der Prozessanalyse werden Verbesserungsvorschläge umgesetzt und deren Erfolg geprüft. Es erfolgen Publikationen in einschlägigen Fachmagazinen sowie Präsentationen auf diversen Veranstaltungen.</p>
<p>Coaching in forstwirtschaftlichen Zusammenschlüssen für ein verbessertes Holzmobilisierungsmanagement im Privatwald</p> <p>09.2006 - 07.2008</p> <p>Projektbearbeitung: UNIQUE forestry consultants GmbH</p>	<p>Das Hauptziel des Vorhabens ist die Erarbeitung eines replizierbaren Coachingkonzepts zur Verbesserung der Holzmobilisierung aus dem Privatwald durch forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse. Die breite Anwendung des Konzepts wird mittelfristig die Rohstoffbereitstellung für die energetische und stoffliche Holzverwertung und die Wettbewerbssituation deutscher Kleinprivatwaldbesitzer verbessern. Das Vorhaben trägt somit unmittelbar zur Erreichung der Zielsetzungen der "Charta für Holz" bei und kann die nachhaltige Entwicklung des ländlichen Raumes in Deutschland unterstützen. Für die Begründung eines Coachingkonzepts als Beratungsmethode für forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse werden in einem ersten Schritt Zusammenschlüsse mit einem erfolgreichem Holzmobilisierungsmanagement hinsichtlich der von ihnen gewählten Managementoptionen analysiert. Diese Erfahrungen dienen als Grundlage zur Ausarbeitung transferierbarer Inhalte eines Coachingkonzepts, welches in einer Serie von Workshops exemplarisch zur Anwendung kommt. Zur weiteren Umsetzung der Ergebnisse werden Schulungsunterlagen erstellt, die es ermöglichen sollen interessierten Einrichtungen eine Weiterbildung durchzuführen.</p>
<p>Sichere und bodenschonende Holzernte in steilen Lagen - Entwicklung eines Grenzneigungs-Modells für selbstfahrende Arbeitsmaschinen in der Forstwirtschaft -</p> <p>05.2006 - 04.2009</p> <p>Projektbearbeitung: Georg-August-Universität Göttingen - Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie - Institut für Forstliche Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnologie</p>	<p>Im Rahmen des Projekts sollen terramechanische Auswirkungen eines sorgfältig geplanten Maschineneinsatzes mit selbstfahrenden Arbeitsmaschinen in Hanglagen gesichert untersucht werden. Anhand der Ergebnisse lassen sich für die bemessenen Fahrwerksvarianten spezifische Grenzneigungen definieren, die das existierende Potenzial von Spezialmaschinen sicherer, ökonomischer und sogleich bodenschonender gestalten. Die Versuchsplanung sieht vor, mit dem am Institut zur Verfügung stehenden mobilen Messequipment sowie einer zu konzipierenden Verzögerungstechnik, eine Forstmaschine mit verschiedenen Fahrwerkskonfigurationen im Rahmen von Fahr- (Abbrems-) Versuchen unter variierenden Bodenverhältnissen in nahezu ebenen Lagen bzgl. ihres Zugkraft- und Schlupfverhaltens zu untersuchen und daraus Prognosen für eine technische und ökologische Grenzneigung zu</p>

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
	bestimmen. Die hochmechanisierte Holzernte dürfte inzwischen zu ca. 95 % von Klein- und Mittelständischen Unternehmen (KMU) durchgeführt werden. Für diese Gruppe weit überwiegend kapitalschwacher Betriebe verspricht das Projekt erweiterte Einsatzbereiche und vor allem zunehmende Arbeitssicherheit in steilen Regionen.
Anlage einer Modellpflanzung mit Pappel-Sortenschau auf dem landwirtschaftlichen Versuchsgut Eichhof zur Sicherung der Sortenbasis und zur Sortenpflege 04.2006 - 04.2008 Projektbearbeitung: Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HeRo) e. V.	In den 90er Jahren wurden im Rahmen des Förderprogramms Nachwachsende Rohstoffe diverse, zum Teil sehr umfangreiche Projekte zu Anbau und Verwertung von schnellwachsenden Baumarten (Pappel, Weide u.a.) gefördert. Eine Konkurrenzfähigkeit zu Waldholz war damals jedoch meist nicht gegeben. Im Zuge steigender Preise für fossile Rohstoffe und der wachsenden Bedeutung der Biomassenutzung steigt der Holzbedarf in einigen Regionen Deutschlands aktuell derart stark an, dass sich die Holzpreise in eine Richtung entwickeln, die künftig eine ökonomische Relevanz von Feldgehölzen erwarten lässt. Durch Überführung auf Flächen des "Landesbetriebes Landwirtschaft Hessen" sollen im Rahmen des Projekts Mutterquartiere und Sortensammlungen des zwischenzeitlich aufgelösten Forschungsinstitutes für schnellwachsende Baumarten dauerhaft gesichert werden. Kontinuierlich sollen neue, leistungsstarke Klone gesammelt und hinsichtlich Anbaueignung am Landwirtschaftszentrum Eichhof getestet werden. Auf früheren Arbeiten aufbauend sollen neue Sorten geprüft und in Kooperation mit der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg - Vorpommern nach den Bestimmungen des Forstvermehrungsgesetzes zur Zulassung angemeldet werden. Erst die Zulassung von standortangepassten Sorten ermöglicht eine Praxiseinführung mit erhöhter Ertrags- und Rechtssicherheit. Arbeitsplanung: Flächenanlage am Landwirtschaftszentrum Eichhof (Frühjahr 2006); wissenschaftliche Betreuung über 2 Jahre, Datenerhebung Boniturmaßnahmen, Auswertung; Schulung einer Fachkraft, die dauerhaft am Landwirtschaftszentrum Eichhof eingesetzt wird (2006-2008); Sortenzulassung in Zusammenarbeit mit der Landesanstalt Mecklenburg - Vorpommern (2006;2007). Ergebnisverwertung: Wirtschaftliche Verwertungsmöglichkeiten über die Steckholzabgabe; vorrangig jedoch Versorgungsfunktion landwirtschaftlicher Betriebe mit herkunftsgesichertem und kostengünstigem Vermehrungsgut; Verbreiterung der Sortenbasis durch Neuzulassung.
Nutzung von Biomasseaschen für die Phosphor-Versorgung im Pflanzenbau 01.2007 - 06.2009	Mit dem Projekt soll die pflanzenbauliche Nutzung von Biomasse-Aschen mit dem Ziel untersucht werden, die in den Aschen enthaltenen Nährstoffe möglichst vollständig wieder in die landwirtschaftlichen

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
<p>Projektbearbeitung: Universität Rostock - Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät - Institut für Landnutzung (ILN) - Fachbereich Agrobiotechnologie</p>	<p>Nährstoff-Kreisläufe einzugliedern, ohne das Agroökosystem mit schädlichen Substanzen zu belasten. Im Fokus der Untersuchungen steht eine hohe Ausnutzung des in Biomasse-Aschen enthaltenen Phosphors. Es werden parallel Feld- und Gefäßversuche angelegt, in denen 3 verschiedene Biomasseaschen ausgebracht werden. Die Versuche beziehen sich auf das fruchtartenspezifische Potential zur P-Ausnutzung aus Aschen auf verschiedenen Böden sowie auf den Einfluss der Aschen auf die P-Fraktionen des Bodens und auf weitere Bodenparameter. Das Projekt soll einen Beitrag dazu leisten, die Aschen, die bei der Monoverbrennung unbelasteten pflanzlichen Ausgangsmaterials entstehen, in der Landwirtschaft zu verwerten und die Akzeptanz dieses „Düngemittels“ im Sinne einer nachhaltigen Erzeugung von Biomasse zu erhöhen. Aus den Ergebnissen sollen grundsätzliche Prinzipien zur Erhöhung der P-Ausnutzung aus Aschen abgeleitet werden.</p>
<p>Verbundprojekt: Saubere Biomasseverbrennung in Zentralheizungsanlagen: Bestimmung der Partikelgrößen, Probennahme und physikochemisch-toxikologische Charakterisierung (ERA-NET BIOENERGY, Projekt "BioMass-PM")</p> <p>01.2007 - 03.2008</p> <p>Projektbearbeitung: Technologie- und Förderzentrum (TFZ)</p>	<p>Es soll eine Bewertung des vorliegenden internationalen wissenschaftlichen Datenbestandes über Partikelemissionen aus Biomasse-Kleinfeuerungen hinsichtlich ihrer physikalischen Charakteristika (z.B. Korngrößenverteilung, Feinstaubanteil) sowie die Identifikation und Bewertung geeigneter Bestimmungsmethoden für Feinstaubfraktionen aus Biomasse-Kleinfeuerungen vorgenommen werden. Darauf aufbauend erfolgt eine europäische Harmonisierung der entsprechenden Bestimmungsmethoden und Bewertungsansätze. Die vorhandenen Daten zur Feinstaub-Klassifizierung (Korngrößenverteilungen) aus Biomassefeuerungen werden gesichtet und zusammengestellt. In Deutschland relevante Bestimmungsmethoden und Richtlinien werden beschrieben und bewertet. Hierzu wird ein nationaler Country Report erarbeitet. Die Ergebnisse werden in mehreren internationalen Workshops vorgestellt und beurteilt. Gemeinsam mit den europäischen Partnern dieses ERA-NET Bioenergy Projektes wird ein Leitfaden für die Bestimmung und interdisziplinäre Bewertung von Feinstaubemissionsdaten erarbeitet und veröffentlicht.</p>
<p>Verbundprojekt: Entwicklung von Testmethoden für nicht holzartige Biomassefeuerungsanlagen kleiner Leistung</p> <p>01. 2007 - 03.2008</p> <p>Projektbearbeitung: Institut für Energetik und Umwelt GmbH</p>	<p>Ziel des Gesamtvorhabens ist die Entwicklung von Testmethoden für nicht holzartige Biomassefeuerungsanlagen kleiner Leistung. Das Institut für Energetik und Umwelt gGmbH ist verantwortlich für die Ermittlung von Treibern und Hemmnissen für den verstärkten Einsatz von nichtholzartigen Biomassen zur thermischen Nutzung (AP 2). Dazu sollen folgende Teilarbeitspakete behandelt werden: Überblick über die für kleine Feuerungsanlagen nutzbaren nicht holzartigen Biomassen-</p>

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
	Verbrennungseigenschaften - Politische Einflussgrößen und Akzeptanz-Potentiale und Produktionskosten- Vergleich der Biomassen und wahrscheinliche Entwicklungen. Außerdem unterstützt und arbeitet das IE in den anderen Arbeitspaketen zu - insbesondere bei der Durchführung von Messungen. Die Ergebnisse des AP 2 fließen in das Gesamtprojekt mit dem Ziel ein, EU-weit einheitliche Testmethoden für nicht holzartige Biomassefeuerungsanlagen kleiner Leistung zu etablieren.
Verhalten von Aschen aus der Biomassevergasung 12.2006 - 11.2009 Projektbearbeitung: Technische Universität Bergakademie Freiberg - Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik - Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC)	Ziel des Vorhabens ist die experimentelle Ermittlung des Eluierverhaltens von Biomasseaschen in Abhängigkeit der Prozessparameter bei der stofflichen und energetischen Nutzung sowie die Bewertung der Aschen im Hinblick auf die Verwertung als Düngemittel in Land- und Forstwirtschaft. Im ersten Projektabschnitt werden repräsentative Biomassen beschafft, charakterisiert und verascht sowie eine Versuchsanlage zur thermischen Aschebehandlung geplant und errichtet. Der zweite Projektabschnitt umfasst die Abarbeitung des erstellten Versuchsplanes zur thermischen Aschebehandlung (Variation von Temperatur, Druck, Gasatmosphäre; Zugabe von Zuschlagstoffen, Mischen von Aschen) und der sich anschließenden Eluierversuche sowie deren analytische Begleitung. Im dritten Projektabschnitt werden die ermittelten Daten in thermodynamische Modelle eingebunden, Simulationsrechnungen durchgeführt und eine Datenbank erstellt. Mit Hilfe der gewonnenen Basisdaten lassen sich genaue Betriebsparameter hinsichtlich eines optimalen Eluierverhaltens definieren, die als Grundlage für Auslegung und Betrieb großtechnischer Vergasungsanlagen dienen. Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit der TLL bearbeitet.
Minimierung der Feinstaub, CO-, und NOx - Emissionen einer mit problematischen Biomassebrennstoffen befeuerten Kleinf Feuerungsanlage 11.2006 - 03.2008 Projektbearbeitung: ATZ Entwicklungszentrum	Im geplanten Projekt wird eine Versuchsfeuerungsanlage für halmgutartige Brennstoffe und Getreide aufgebaut und mit der erforderlichen Messtechnik ausgerüstet. Damit sollen die Einflüsse bekannter und neuartiger Primär- und Sekundärmaßnahmen auf die Emissionen von Feinstaub, CO und NOx unter definierten Bedingungen untersucht und innovative Emissionsminderungsmaßnahmen erarbeitet, installiert und im Versuch erprobt werden. Folgende Arbeitsschwerpunkte sind vorgesehen: • Untersuchung des Emissionsverhaltens bei Einsatz verschiedener Brennstoffe. • Optimierung der Luftstufung zur NOx und CO Minimierung. • Optimierung eines Heißgasfilters durch Einstellung einer optimalen Arbeitstemperatur. • Untersuchung und Bewertung der Feinstaubabscheidung durch Kristallisation Die Versuchsanlage mit dem Filterelement wird im Frühjahr 2007 am ATZ Entwicklungszentrum instal-

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
<p>Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen für Getreide- und Stroh brennstoffe - Einflüsse und Minderungsmöglichkeiten - (B 06-22)</p> <p>11.2006 - 01.2008</p> <p>Projektbearbeitung: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH</p>	<p>liert und in Betrieb genommen. Die in der Vorhabensbeschreibung beschriebenen Verbrennungsversuche und die daraus resultierenden Ergebnisse sollen in erster Linie dazu dienen die schädlichen Emissionen, speziell Feinstaubemissionen von Biomassekleinfeuerungen, zu minimieren.</p> <p>Ziel des Vorhabens ist die Ermittlung der Feinstaubemission aus Kleinfeuerungsanlagen für Getreide- und Stroh brennstoffe. Dazu soll die TLL geeignete Brennstoffe bereitstellen. Diese werden in einem Standard-Holz kessel und zwei für Getreide geeigneten Kesseln am TFZ verbrannt und der Verbrennungsprozess messtechnisch dokumentiert. Die erfassten Feinstaubproben werden an der TUHH analysiert. Das IE koordiniert den Projekt ablauf, gibt die Brennstoffe vor und wertet die Messergebnisse aus. Dabei wird insbesondere auf die Ausgangsbrennstoffe eingegangen und aus vergleichenden Betrachtungen zu dem Feinstaubverhalten von Holzbrennstoffen werden Schlüsse zu weiteren Einflussgrößen und möglichen Minderungsmaßnahmen abgeleitet. Es soll versucht werden, die Möglichkeiten einer Feinstaubminderung durch Koagulations- und Agglomerationsverfahren theoretisch und praktisch zu untersuchen. Die Ergebnisse stehen dem Auftraggeber zur Verfügung und können auf Wunsch in einem Workshop präsentiert werden.</p>
<p>Abgeschlossene Projekte</p>	
<p>Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse (Verbundprojekt, gefördert durch das BMU)</p> <p>Okt. 2001 – März 2004</p> <p>Projektträger: FZ Jülich</p> <p>Auftragnehmer: Öko-Institut e.V.</p> <p>Kooperationspartner: IUUSE (Inst. f. Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik) IFEU (Inst. f. Energetik und Umwelt) IZES (Inst. f. Zukunftssysteme) Inst. f. Geoökologie TU München-Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus</p> <p>Endbericht s. Literaturliste: ÖKOINSTITUT et al. 2004</p>	<p>Systematische Erfassung der Stoffströme und damit verbundener Umwelt-, Kosten-, und Beschäftigungswirkungen für energetisch genutzte Biomasse in Deutschland; Erstellung Technologiedatenbasis; Lebenswegvergleiche hinsichtlich Ökologie/Ökonomie; Potenziale unter Berücksichtigung von Umwelt- und Naturschutz; Szenarienerstellung mittels dynamischem Stoffstrommodell; Handlungsempfehlungen für die Politik.</p>
<p>Modellvorhaben STORA - Pappelanbau für die Papierherstellung: Teilvorhaben 1</p>	<p>Verarbeitung von speziellen Pappel- und Aspensorten aus Kurzumtriebsplantagen zu Hochausbeute-Faserstoffen (Hessen, Sachsen, Niedersachsen):</p>

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
07.1997-08.2000 Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig (FAL) - Institut für ländliche Räume	Pflanzenbau, Pflanzenverbände, Produktionstechnik, Optimierung der Anbau- und Erntetechnik, ökologische und ökonomische Untersuchungen.
Verbundvorhaben: Pappelanbau für die Papierherstellung: Teilvorhaben 1: Entwicklung eines umweltverträglichen Produktionsverfahrens mit hoher Betriebssicherheit durch standortgerechte Kulturführung 10.2000-12.2003 Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten, Hann. Münden	Einfluss und Auswirkungen unterschiedlicher Anlagekonzepte für Pappelanbauten auf ertragskundliche, ökologische und ökonomische Kenngrößen: Entwicklung von Produktionsverfahren zur Erzeugung von Pappelindustrieholz auf landwirtschaftlichen Flächen, Wiederbestockung nach Vorbestand, schlecht wasserversorgte Standorte, Minimierung biotischer Risiken (Wildverbiß, Schermausfraß, verdämmender Begleitvegetation).
Verbundvorhaben: Pappelanbau für die Papierherstellung: Teilvorhaben 2: Monitoring von Pappelanbauten auf landwirtschaftlichen Stillungsflächen unter besonderer Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte 10.2000-12.2003 Staatsbetrieb Sachsenforst – Abteilung Ressourcenmanagement – Referat Forstgenetik / Forstpflanzenzüchtung	Einfluss und Auswirkungen unterschiedlicher Anlagekonzepte für Pappelanbauten auf ertragskundliche, ökologische und ökonomische Kenngrößen: Landnutzungsform in der Land- und Forstwirtschaft, Bewirtschaftung und Pflege, ökologische Begleituntersuchungen, Ertragsfunktionen, standortsspezifische Anbaumethoden, Vermarktung, Züchtung.
Mittelfristige Wirkung von Holzascheausbringung im Wald - technische und ökologische Rahmenbedingungen für ein Biomasse-Holzasche-Kreislaufkonzept 04.2000-03.2002 Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg - Abt. Bodenkunde	Zulassung der Holzasche nach dem Düngemittelgesetz: Zusammenhang Verbrennungsmaterial - Verbrennungstechnik - verfahrensbedingte An-, Abreicherung - Elementgehalte, Meliorationswirkungen, Holzasche-Kreislaufkonzept: Empfehlungen für Ascheausbringung in Wäldern.
Modellierung des Kohlenstoffumsatzes und C-Sequestierungspotentials von Kurzumtriebsplantagen schnell wachsender Baumarten Projektträger: BMBF Auftragnehmer: ZALF (Institut für Landschaftssystemanalyse) FH Eberswalde BTU Cottbus	
Wasserverbrauch ausgewählter Energiepflanzen im Lysimeter 03.2005-12.2006	Miscanthus, Sudangras, Mais, Zuckerhirse, Steinklee, Sonnenblumen, Triarena.

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
Auftragnehmer: ZALF (Institute: FSL, Bodenlandschaftsforschung, Landnutzungssyst. / Landschaftsökologie)	
Nutzung einheimischer nachwachsender Rohstoffe zur Pilzproduktion bei Kreislaufwirtschaft der Stoffe 01.2004-12.2006 Projektträger: Bundesagentur für Arbeit Auftragnehmer: ZALF (Forschungsstation Landwirtschaft, FSL)	Alternative Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen aus Grünlandgebieten zur Pilzproduktion.
Nachwachsende Rohstoffe in Baden-Württemberg: Identifizierung vorteilhafter Produktlinien zur stofflichen Nutzung unter besonderer Berücksichtigung umweltgerechter Anbauverfahren (Januar 2003). Forschungsbericht FZKA-BWPLUS (gefördert am Forschungszentrum Karlsruhe mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg im Rahmen des Förderprojektes „Lebensgrundlage Umwelt und Ihre Sicherung“)	Ziel: Erstellung einer belastbaren Entscheidungsgrundlage für die weitere Förderung bei Nawaros, um diese mit den Erfordernissen nach ökologischer, ökonomischer und sozialer Nachhaltigkeit in Einklang zu bringen. Systematische Analyse ausgewählter Produktlinien; Untersuchung auf Anbaueignung, Produktionsverfahren und technische Verarbeitungs- und Anwendungsmöglichkeiten; Umweltverträglichkeitsanalysen entlang der Lebenswege; ökonomische Aspekte.
Auswirkungen des Anbaus schnell wachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf ausgewählte Bodeneigenschaften. 2003-2005 Auftragnehmer: Universität Rostock, Institut für Landnutzung Finanzierung: Land Mecklenburg-Vorpommern	Kurzumtriebsplantagen an ehemals landwirtschaftlich genutzten Standorten: Auswirkungen des Nutzungswechsels auf physikalisch-chemische Bodeneigenschaften, sorten- und klonspezifische Entwicklung der Blattflächenindizes als Indikatoren für den Wasserhaushalt.
Bewertung der Umweltwirkung von <i>Miscanthus sinensis</i> als nachwachsender Rohstoff. 1994-1998 Auftragnehmer: Universität Rostock, Institut für Landnutzung Kooperationspartner: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei M-V / Gülzow Finanzierung: Deutsche Bundesstiftung Umwelt	Ökologische Auswirkungen des Miscanthusanbaus: Untersuchungen zur Akkumulation von Bodensubstanz und Veränderbarkeit physikalisch-chemischer Bodeneigenschaften aufgrund der Besonderheiten des Miscanthusanbaus (Dauerkultur, hoher Biomasseaufwuchs, günstige stoffliche Eigenschaften des Ernteguts, Effizienz der Nährstoffverwertung)
Bodenschutz und nachwachsende Rohstoffe 2005	Gutachten zur Ermittlung der Auswirkungen eines verstärkten Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf die Bodenqualität; Anforderungen des vorsorgenden Bodenschutzes; Pestizide, Flächennutzungskonkur-

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
Auftraggeber: Umweltbundesamt Auftragnehmer: Ecologic – Institute for International and European Environmental Policy	renzen; Verwertbarkeit von Reststoffen aus Bioenergieanlagen.
BIODEM – Biomasse-Demonstrationsflächen 2006 Fachhochschule Eberswalde	Anbauversuche schnell wachsender Baumarten im Kurzumtrieb: ertragskundliche, ökologische und ökonomische Fragestellungen.
Entwicklung von gesundheitsverträglichen und umweltfreundlichen Dämmstoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe 01.2001-06.2002 Dämmstatt W.E.R.F. GmbH Dämmstoff-Wertstoff-Erfassungs-Recycling und Fertigungsgesellschaft mbH	Entwicklung von gesundheitsverträglichen einblasbaren Dämmstoffen aus Zellulosefasern als Trägermaterial und Zusatzstoffen wie Bindemitteln und Hydrophobierungsmitteln auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen: Verringerung der bei der Produktion und Verarbeitung auftretenden Staubemissionen, Optimierung Zusatzstoffbedarf
Biogas	
Wege zur naturschutzgerechten Erzeugung von Energiepflanzen für Biogasanlagen: Verfahren, Betriebe, Rahmenbedingungen (DBU AZ 23559-33/0) 03.2006-09.2007 Projektträger: DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt Auftragnehmer: ZALF (Institute: Landnutzungssyst. / Landschaftsökologie, Sozioökonomie), Projektkooperation mit drei Brandenburger Landwirtschaftsbetrieben	Möglichkeiten einer umwelt- und naturschutzgerechten Energiepflanzenerzeugung.
Einsatz und Optimierung von kontinuierlich arbeitenden Verfahren zur Trockenvergärung von Energiepflanzen (Teilvorhaben 1 und 2) (gefördert durch das BMELV) 11.2006 - 10.2008 Projektbearbeitung: Fachhochschule Gießen-Friedberg - Institut für Siedlungswasserwirtschaft und anaerobe Verfahrenstechnik	Kontinuierliche Trockenvergärungsverfahren (TrVV) werden derzeit nur für die Behandlung von Bioabfällen und der organischen Fraktion von Restabfällen eingesetzt. Es sollen bisher noch nicht untersuchte offene Fragestellungen zur Trockenvergärung von Energiepflanzen untersucht werden. Übergeordnetes Ziel ist daher die Entwicklung einer Verfahrenskombination mit großtechnischer Umsetzung zur Optimierung der Biogasausbeute (Wirtschaftlichkeit) von TrVV. Basis für diese Entwicklung sind die aus der Bioabfallbehandlung bekannten kontinuierlichen TrVV. Recherche zu TrVV (Literatur, Patente, Evaluierung geeigneter Input-Materialien); Anpassung der aus der Verwertung von Bio- und Restabfall bekannten kontinuierlichen TrVV für den Einsatz in land-

Projekttitel Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
	wirtschaftlichen Biogasanlagen, besonders im thermophilen Milieu; labortechnische Untersuchungen (Batch-Versuche); Untersuchungen von thermischen Aufschlussverfahren zur Verbesserung der Verfügbarkeit von strukturreichen Substraten; Untersuchungen zur Wirkung und Nutzbarmachung von Gärresten auf Boden und Pflanzen. Darstellung der Erfolgsaussichten im Falle positiver Ergebnisse im Hinblick auf potentielle Märkte (Produkte/System), Nutzung für Planung/Umsetzung der Ergebnisse bei Erfolgsaussichten zur Etablierung der TrVV zu energetischen Nutzung von Energiepflanzen
Verbundvorhaben: Evaluierung, Züchtung und Einsatz von Feldgras (Welsches und Einjähriges Weidelgras) als pflanzlicher Energierohstoff für die Biogasnutzung. (gefördert durch das BMELV) 11.2006 - 10.2009 Teilvorhaben 1: Züchtung von Energiegras (EGB) Euro Grass Breeding GmbH & Co. KG) Teilvorhaben 2: Züchtung von Energiegras Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG Teilvorhaben 3: Erweiterte Anbau- und Fruchtfolgesysteme für Energiepflanzen durch Gräser und Futterleguminosen Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig (FAL) - Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft	Ziel des Verbundprojektes ist es, alternative bzw. ergänzende Energiepflanzen zu Mais in der Fruchtfolge zu integrieren, die über eine ertragreiche, immergrüne Fruchtfolge eine bessere Auslastung und Beschickung der Biogasanlage ermöglichen. Dazu soll in Leistungsprüfungen die bei einheimischen Gräsern, insbesondere den kurzlebigen Arten Welsches und Einjähriges Weidelgräsern, für die Nutzung als Energiegras vorhandene Variabilität evaluiert und beschrieben sowie Optionen einer züchterischen Weiterentwicklung untersucht werden. Dies beinhaltet umfangreiche Ertragsmessungen sowie die Ermittlung von Qualitätsparametern. Die Qualitätserfassung sowie Weiterentwicklung der zugehörigen Methoden erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner FAL. Zudem sollen Experimentalhybriden produziert und geprüft werden, die eine nachhaltige Steigerung der Ertragsfähigkeit durch vollständige Ausnutzung der Heterosis ermöglichen. Die Ergebnisse finden Eingang in die Empfehlungen und Beratungen für Biogaswirte in Richtung maximierter Jahresbiomasseerträge durch optimierte Sortenwahl und Fruchtfolgegestaltung sowie in die Züchtungspraxis (zur Entwicklung für die Biogasnutzung verbesserter Sorten). TP 3: ...Empfehlungen an Biogaswirte für alternative Fruchtfolgesysteme zu Mais, mit einer Maximierung des Jahresbiomasseertrages und der Einsatz von züchterisch bearbeitetem Energiegras.
Verbundvorhaben: Intensivierung des anaeroben Biomasseabbaus zur Methanproduktion aus NawaRo. (gefördert durch das BMELV) 10.2006 - 09.2009 Teilvorhaben 1: Verfahrenstechnik, Prozessautomatisierung und Mikrobiologie (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) - Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik) Teilvorhaben 2: Effizienzsteigerung der NawaRo-Vergärung durch Übertragung von Optimierungsstrategien in den Technikum- und Praxismaßstab (Schmack Biogas AG) Teilvorhaben 3: Optimierte hydrolytische Bakteri-	Teilprojekt 2: Ziel des Teilprojektes ist die Optimierung der Vergärung nachwachsender Rohstoffe. Im Rahmen des Verbundprojektes IBMN werden von den Projektpartnern zum einen im Labormaßstab Inokula mit hydrolysierenden LCB-abbauenden Bakterien entwickelt zum anderen durch Modellierung und verfahrenstechnische Untersuchungen Optimierungsstrategien für den Betrieb von Biogasanlagen erarbeitet. Aufgabe der Schmack Biogas AG im Rahmen des Verbundes ist es, die im Labormaßstab gezüchteten Inokula in den Technikumsmaßstab zu überführen, die Wirkung der Inokula zu validieren, ausreichende Inokulationsmengen für Praxisanlagen anzuzüchten und Praxisanlagen zu inokulieren, die im Labor- und Versuchsmaßstab erarbeiteten Strategien im Technikums- und Praxismaßstab zu verifizieren und erfolgreiche Optimierungsmaßnahmen direkt in die Praxis zu übertragen. Um optimale Upscalingstufen für die Inokula zu gewährleisten, werden zwei Technikumsanlagen in den Größen 1m ³ und 25m ³ errichtet. Inokulation und verfahrenstechni-

Projekttitle Laufzeit Projektnehmer	Kurzcharakterisierung
en-Kulturen für den Faserabbau in LCB-reichen NawaRo (Technische Universität München - Wissenschaftszentrum Weihenstephan - Fachgebiet) Teilvorhaben 4: Erfassung funktioneller hydrolytischer Netzwerke in Biogasanlagen mittels Microarraytechnologie (Technische Universität München - Lehrstuhl für Bodenökologie) Teilvorhaben 5: Modellierung und Prozesssteuerung, Anlagenbetrieb und mikrobiologische Analytik (Technische Universität München - Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft)	sche Strategien werden auf Praxisanlagen übertragen. Die Ergebnisse werden auf bestehende und neue Biogasanlagen übertragen.
Biokraftstoffe	
Ökobilanzen zu BTL: Eine ökologische Einschätzung 05.2006 Projektbearbeitung: FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.	
Nachhaltige Erzeugung und Qualitätssicherung des Rohstoffes Roggen 2006-2009 Projektbearbeitung: FH Eberswalde	Verarbeitung von Roggen zu Bioethanol. Teilprojekt 1: Nachhaltige Bioenergiepotentiale des Roggen in Brandenburg (regional) Teilprojekt 2: Qualitätsmanagement zur nachhaltigen Optimierung der Ethanolausbeute; Beratung; Praxis
Zertifizierung von Biokraftstoffen (gefördert durch das BMELV) 11.2006 - 12.2007 Projektbearbeitung: Dr. Norbert Schmitz-meó Consulting Team	Zielsetzung des Vorhabens ist die Erstellung eines implementierungsfähigen Zertifizierungskonzeptes, das dazu beitragen soll, dass Biokraftstoffe entlang der Wertschöpfungskette auch wirklich nachhaltig gewonnen werden. Der konzeptionelle Vorschlag soll gemeinsam mit Vertretern der relevanten Ministerien und Institutionen, den verschiedenen Industrien, Handels- und sonstigen Unternehmen sowie Vertretern von NGOs entwickelt werden. Durch die Einbindung dieser Partner soll die spätere Umsetzung erleichtert werden. Der Vorschlag soll zunächst im Pilot und national, später auch international umgesetzt werden. Das Gesamtvorhaben soll in vier, aufeinander aufbauenden Phasen abgewickelt werden: (1) Erstellung Gesamtkonzept, (2) Internationalisierung, (3) Ausgestaltung System, (4) Implementierung. Als konkretes Ergebnis des Projektes wird ein Masterplan für die Einführung eines Zertifizierungssystems für Biokraftstoffe erwartet. Dieses Zertifizierungssystem soll zunächst in Pilotanwendungen und national, später international zum Einsatz gebracht werden.

Tab. 10–4: Tagungen / Vorträge zum Thema Bioenergie

Tagung / Vorträge	Veranstalter	Kurzcharakterisierung
Abbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen 06.-07.11.2006	Agrowood-Agroforst-Dendrom	Ökologie, Ertragsmessung und Potentialermittlung, Produktion.
Energie aus Biomasse – weltwirtschaftliche, ressourcenökonomische und produktionstechnische Perspektiven	Wissenschaftliche Tagung des Dachverband Agrarforschung (DAF) e.V., 25./26. Oktober 2006, FAL Braunschweig	
3. Mitteldeutscher Bioenergietag - "Festbrennstoffe in und aus der Landwirtschaft" (25. Sept. 2006, Bernburg)	LfL Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen	In drei Vortragsblöcken widmet sich die Tagung dem aktuellen Themenkreis, in dem die rechtlichen Rahmenbedingungen bei der thermischen Verwertung von Biomasse, alternative Energiepflanzen und der Stand der Getreide- und Strohverbrennung behandelt werden.
Expertenworkshop „Szenarien zur Biomasse unter Naturschutzgesichtspunkten“	Bundesamt für Naturschutz (BfN)	
Nachwachsende Rohstoffe – Workshop zu Strategien und Perspektiven eines naturverträglichen Biomasseanbaus	Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU) Deutscher Verband für Landschaftspflege (DVL) Arbeitsgemeinschaft bäuerliche Landwirtschaft (AbL)	Workshop im Rahmen des vom UBA geförderten Gemeinschaftsprojektes, bei dem die Chancen und Risiken des Energiepflanzenanbaus für den Umwelt- und Naturschutz aufbereitet und Lösungsvorschläge kommuniziert werden sollen Workshop - Themen: Ökologische Auswirkungen des Biomasseanbaus, Handlungsempfehlungen aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes.
Bodenschutz und nachwachsende Rohstoffe (17.11.2006 in Dessau)	Kommission Bodenschutz (KBU) des Umweltbundesamtes (UBA)	Vorstellung des Positionspapiers der KBU zu Bodenschutz und nachwachsenden Rohstoffen / Diskussion. Themen: Ressourcenverfügbarkeit, Ressourceneffizienz, Nachhaltigkeitsstrategien, nationale und europäische Ressourcenstrategie.
Workshop: Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie (09.2005-08.2006)	Georg-August-Universität Göttingen - Institut für Holzbiologie und Holztechnologie	Umweltschutzes in der Holzwerkstoffindustrie, Emissionen von Formaldehyd und VOC, Umweltverträglichkeit - Alternativen zu konventionellen synthetischen Bindemitteln, Ressourcenschonung beim Einsatz von Holz
Seminar: Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie (08.2001-05.2002)	Georg-August-Universität Göttingen - Institut für Holzbiologie und Holztechnologie	Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie: (1) natürliche Bindemittel; (2) Recycling in der Papier- und Holzwerkstoffindustrie; (3) Emissionen von Holz und Holzwerkstoffen, Chancen und Grenzen der Verwendung nachwachsender Rohstoffe im Segment Bindemittelsysteme.
Sachsen		
Stand der energetischen Biomassenutzung und Förderprogramme für Erneuerbare Energien in Sachsen (Vortrag: Facharbeitskreis Biomasse LVG Köllitsch 18.01.2005)	LfL Sachsen (Autor: Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Schlegel, Referent Klimaschutz)	Klimaschutzprogramm; Stand der Nutzung und Zielstellung Erneuerbarer Energien; Energieerträge Biomasse / Biogas; Potenzial an landwirtschaftlicher Biomasse zur energetischen Nutzung im Freistaat Sachsen; Förderrichtlinie Immisions- und Klimaschutz;

Tagung / Vorträge	Veranstalter	Kurzcharakterisierung
Erfahrungen und Ergebnisse im Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb im Freistaat Sachsen (Vortrag)	LfL Sachsen (Autor: Dr. habil. C. Röhricht), 2005	Anbauverfahren; ökologische / ökonomische Bewertung
Festbrennstoffe aus der Landwirtschaft (Vortrag)	LLFG, KoNaRo	Wärme aus EE; Systematik der biogenen Festbrennstoffe; Potenziale bei unterschiedlichen Nutzungsrichtungen; Anbauumfang Energiepflanzen; Nutzung als Festbrennstoff (Kriterien: pflanzenbaulich, Verbrennungseignung, Ökologie, Ökonomie, rechtlich); Nutzungskonkurrenz;
Miscanthus - eine alternative Energiepflanze aus Anbauversuchen (Vortrag: 3. Mitteldeutscher Bioenergetag, Bernburg 25. September 2006)	LfL Sachsen (Autor: Dr. habil. C. Röhricht)	Charakteristik der Anbauggebiete in Sachsen, Ertragsleistung - Standort, Ertragswirkung steigender N-Gaben, Nährstoffentzug durch Erntegut, Kostenkalkulation, Rahmenbedingungen
Energieholz vom Acker - Möglichkeiten und Grenzen (Vortrag)	TLL Thüringen (Autoren: A. Vetter, A. Werner, Th. Hering)	
Untersuchungen zum Pappel- und Weidenanbau im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen	Dr. C Röhricht & Dr. C. Schwarze (LfL Sachsen), Fachtagung Nov. 2006	Ergebnisse aus Projekten der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft zum Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb. (KW: Feldstreifenanbau, Nährstoffgehalt, Schwermetalle)
2. Mitteldeutscher Bioenergetag - Tagungsband 29.04.2005	LfL Sachsen	landwirtschaftliche Biogasanlagen, Gaserträge, Wirtschaftlichkeit, EEG, Biodiesel, Raps, Anbauverfahren Getreide, Schlempe
Erneuerbare Energien - Potenziale für den Umwelt- und Klimaschutz und für den ländlichen Raum; 7. Fachsymposium „Umwelt und Raumnutzung“, Freiberg, 03. Nov. 2005	LfUG Sachsen	Integrierte ländliche Entwicklung in Sachsen; Erneuerbare Energien im ländlichen Raum;
Untersuchungen zum Einsatz land- und forstwirtschaftlicher Biomasse als Energieträger im Freistaat Sachsen (Abschlussbericht 12/2000 zum Forschungsbericht)	LfL Sachsen	Emissionsmessungen Holz hackschnitzel und Miscanthus; Aufbereitung Topinambur als Festbrennstoff; Getreideganzpflanzen ernte; Aufbereitung, Pelletierung und Düngewirkung von Bioaschen;
Nachwachsende Rohstoffe in Sachsen - Fachmaterial Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft	LfL Sachsen	Faserpflanzen; Energetische Verwertung von Biomasse; Biogas; Ölpflanzen
Schnellwachsende Baumarten - Anbau von Pappel und Weide auf Kurzumtriebsplantagen (Informationsschrift Mai 2006)	LfL Sachsen	Pappel, Weide, Standortansprüche, Pflanzmaterial, Anbauhinweise, Pflege, Düngung, Ernte, Kosten, Verwertung, Wirtschaftlichkeit, Ökologische Auswirkungen, Rahmenbedingungen.