

Michael Rode, Carsten Schneider, Gerd Ketelhake, Dagmar Reißhauer

# Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung



# Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung

Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 80283040  
des Bundesamtes für Naturschutz

Michael Rode  
Carsten Schneider  
Gerd Ketelhake  
Dagmar Reißhauer

**Titelbild:**

oben links: Weizenfeld; Am Schiefberg, Albaxen, Stadt Höxter, Landkreis Höxter (NRW), 17.07.1996 (Foto: M. Rode)

oben rechts: Weideschnitt aus der Versuchsfläche einer Kurzumtriebsplantage, Methau (S), 2003 (Foto: K. Winde)

Mitte: Totholz-Buche auf der Insel Vilm, LK Rügen (M.-V.), März 2004 (Foto: K. Winde)

unten links: Entbuschung eines Halbtrockenrasens von *Prunus spinosa*, Sollberg am Ith, Wallensen, Gemeinde Salzhemmendorf, Landkreis Hameln-Pyrmont (Nds.), 02.12.1995 (Foto: M. Rode)

unten rechts: konventionell angebauter Mais, Schlaitz, LK Bitterfeld (S.-A.), 09/2004 (Foto: K. Winde)

**Adresse der Autoren:**

Dr. Michael Rode (ILN)

Dipl.-Ing. Carsten Schneider (ILN)

ILN: Universität Hannover, Institut für Landschaftspflege und Naturschutz

Herrenhäuser Straße 2, 30419 Hannover

Tel.: +049 (0)511-762-3618

Fax.: +049 (0)511-762-3791

E-Mail: rode@land.uni-hannover.de

Internet: www.laum.uni-hannover.de/iln

target GmbH:

An der Markuskirche 1, 30163 Hannover

Tel.: +049 (0)511-90968830

Fax.: +049 (0)511-90968840

E-Mail: office@targetgmbh.de

Internet: www.targetgmbh.de

Dipl.-Ing. Gerd Ketelhake

Dipl.-Ing. Dagmar Reißhauer

Kathrin Ammermann / Katrin Winde

FG II 3.3

KEN (Kompetenzzentrum Erneuerbare Energien und Naturschutz)

Fachbetreuung im BfN:

Die Beiträge der Skripten werden aufgenommen in die Literaturdatenbank „*DNL-online*“ ([www.dnl-online.de](http://www.dnl-online.de)).

Die BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich.

Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz  
Konstantinstr. 110  
53179 Bonn  
Telefon: 0228/8491-0  
Fax: 0228/8491-200  
URL: [www.bfn.de](http://www.bfn.de)

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Nachdruck, auch in Auszügen, nur mit Genehmigung des BfN.

Druck: BMU-Druckerei

Gedruckt auf 100% Altpapier

Bonn – Bad Godesberg 2005

# Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	4
Abkürzungsverzeichnis.....	5
Vorwort.....	7
<b>1 Einführung.....</b>	<b>8</b>
1.1 Problemstellung und Zielsetzung.....	8
1.2 Vorgehensweise .....	11
<b>2 Darstellung der zur Energiegewinnung relevanten Biomassefraktionen. 14</b>	
2.1 Biomasse Begriffsbestimmung .....	14
2.2 Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung .....	15
2.2.1 Nutzung von Biomasse zur Stromerzeugung.....	16
2.3 Technologien und Nutzungsverfahren von Biomasse zur Stromerzeugung.....	18
2.4 Biomassefraktionen, die zur Stromerzeugung genutzt werden.....	20
2.4.1 Nutzung von Reststoffen.....	22
2.4.2 Nutzung von Energiepflanzen.....	26
2.5 Fazit.....	29
<b>3 Darstellung der am Markt verfügbaren Techniken zur Biogasproduktion.....</b>	<b>30</b>
3.1 Biogasverwendung.....	30
3.2 Betriebsstrukturen von Biogasanlagen.....	31
3.3 Verfahrenstechniken.....	33
3.3.1 Nassvergärung.....	35
3.3.2 Trockenfermentation .....	36
3.4 Inputmaterial .....	37
3.5 Berechnung theoretischer Gasausbeuten von Pflanzen.....	40
3.6 Versuchsergebnisse zur Gewinnung von Biogas durch nachwachsende Rohstoffe .....	45
3.7 Energieverwertung von Biogas .....	47
3.8 Fazit.....	51
<b>4 Darstellung der am Markt verfügbaren Techniken zum Einsatz von Biomassefraktionen bei Dampfkraftprozessen .....</b>	<b>53</b>
4.1 Anlagenkonzepte zur Verstromung fester Biomasse.....	53
4.2 Dampfkraftprozess .....	53
4.2.1 Brennstoffzuführung und Feuerungstechniken für die Biomasseverbrennung....	54
4.2.2 Wärmetauscher / Kessel.....	57
4.2.3 Emissionsminderung .....	58
4.2.4 Betriebsweisen bei Dampfkraftprozessen .....	59
4.2.5 Arbeitsmaschinen .....	60

4.2.6	Technische Anlagenkonzepte für kleine Biomassekraftwerke .....	61
4.3	Mitverbrennung von Biomasse in Kohlekraftwerken .....	62
4.4	Beispielanlagen .....	62
4.5	Anforderungen an Biomassefraktionen zur energetischen Verwertung durch Dampfkraftprozesse .....	66
4.5.1	Aufbereitung der Brennstoffe zur energetischen Nutzung .....	66
4.5.2	Heiz- und Brennwerte der Energiepflanzen .....	67
4.5.3	Weitere Eigenschaften von Holz- und halmartigen Brennstoffen .....	69
4.5.4	Kriterien für die energetische Nutzung halmgutartiger und holzartiger Brennstoffe .....	71
4.6	Fazit .....	72
<b>5</b>	<b>Fördermaßnahmen und politische Rahmenbedingungen sowie ihre Auswirkungen auf Anbau und Nutzung von Biomasse hinsichtlich naturschutzrelevanter Gesichtspunkte .....</b>	<b>74</b>
5.1	Politische internationale Ausbauziele für Erneuerbare Energien .....	74
5.2	Programme und Gesetze auf Bundesebene .....	75
5.3	Förderprogramme des Bundes und der Länder .....	79
5.4	Agrarpolitische Regelungen .....	82
5.5	Weitere Fördermaßnahmen .....	84
5.6	Genehmigungsrechtliche Bestimmungen für die Errichtung von Feuerungsanlagen...	85
5.6.1	Bundes-Immissionsschutzgesetz .....	85
5.6.2	TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) .....	86
5.6.3	Altholzverordnung .....	86
5.6.4	Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) .....	88
5.6.5	Düngemittelverordnung (DüMV) und Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) .....	88
5.7	Genehmigungsrechtliche Bestimmungen für Biogasanlagen .....	88
5.8	Fazit .....	89
<b>6</b>	<b>Einschätzungen zum Biomassepotenzial in Deutschland .....</b>	<b>92</b>
6.1	Definition des Potenzialbegriffes .....	92
6.2	Potenziale holzartiger Biomasse in Deutschland .....	93
6.3	Landwirtschaftliche Biomassepotenziale in Deutschland .....	96
6.4	Zusammenfassende Betrachtung der Energiepotenziale von Biomasse .....	99
<b>7</b>	<b>Energieholznutzung und Naturschutz in der Forstwirtschaft .....</b>	<b>101</b>
7.1	Integrativer Naturschutz im Wirtschaftswald .....	101
7.1.1	Altholzbestände .....	102
7.1.2	Totholz, Nist und Höhlenbäume .....	103
7.1.3	Pflege von Waldrändern .....	104
7.2	Nährstoffkreisläufe und Holzentnahme .....	105
7.2.1	Handlungsbedarf zum Erhalt stabiler Nährstoffverhältnisse .....	107
7.2.2	Gute fachliche Praxis – Kriterium „Düngung des Waldes“ .....	107
7.3	Bodenschutz und Walderschließung .....	108
7.4	Hinweise zu Erstaufforstung, Bestandsbegründung und Waldumbau .....	111
7.5	Hinweise zum segregativen Naturschutz .....	112
<b>8</b>	<b>Energetische Nutzung halmgutartiger Biomasse und Naturschutz in der Landwirtschaft .....</b>	<b>113</b>

8.1	Probleme der energetischen Nutzung.....	113
8.2	Perspektiven für die Verbrennung halmgutartiger Biomasse .....	114
8.3	Auswirkung der Strohnutzung auf den Humusgehalt des Bodens.....	115
8.4	Anbau von Energiegetreide als Festbrennstoff .....	115
8.5	Auswirkungen auf den Naturschutz .....	116
<b>9</b>	<b>Anbau von Energiepflanzen zur Fermentation in Biogasanlagen und Naturschutz in der Landwirtschaft .....</b>	<b>117</b>
9.1	Aktuell zur Fermentation genutzte Kulturen.....	118
9.2	Aktuelle Anbauvarianten für Energiepflanzen.....	120
9.3	Ökologische Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus .....	120
9.4	Energiepflanzen im konventionellen Anbau am Beispiel von Silomais.....	122
9.5	Energiepflanzenanbau auf produktiven Standorten .....	123
9.5.1	Maisanbau .....	123
9.5.2	Energiepflanzenanbau in Mehrkulturnutzung.....	124
9.6	Energiepflanzenanbau auf ertragsarmen Standorten.....	127
9.7	Naturschutzfachliche Einschätzungen zum Energiepflanzenanbau in der Landwirtschaft.....	129
<b>10</b>	<b>Gentechnisch veränderte oder neu gezüchtete Pflanzen zur Biomasseproduktion sowie die Verwendung eingeführter, nicht einheimischer Pflanzen .....</b>	<b>131</b>
10.1	Konventionelle Züchtung und gentechnisch veränderte Organismen (GVO) .....	132
10.1.1	Ziele der Energiepflanzenzüchtung.....	132
10.1.2	Anbau gentechnisch veränderter Energiepflanzen.....	134
10.1.3	Zulassung gentechnisch veränderter Pflanzen .....	134
10.2	Auswirkungen durch eingeführte, nicht einheimische Pflanzen.....	135
<b>11</b>	<b>Kurzumtriebsplantagen zur Energieproduktion .....</b>	<b>137</b>
<b>12</b>	<b>Auswirkungen der Biomasseproduktion auf das Landschaftsbild .....</b>	<b>139</b>
<b>13</b>	<b>Synergieansätze zwischen Naturschutz und Biomassenutzung .....</b>	<b>142</b>
13.1	Grünlandpflege durch energetische Nutzung des Schnittgutes.....	142
13.1.1	Die Vergärung von Gras in Biogasanlagen.....	142
13.1.2	Die Bedeutung der Qualität von Grünlandaufwüchsen.....	143
13.1.3	Die Wirtschaftlichkeit der Grasvergärung .....	145
13.2	Energetische Holznutzung – neue Impulse für den Erhalt von Nieder- und Mittelwäldern? .....	147
13.3	Der Anbau von Schilf auf degradierten Niedermoorstandorten.....	151
13.4	Energiegewinnung durch die Pflege von Knicks in Schleswig-Holstein.....	153
<b>14</b>	<b>Gesamteinschätzung und Handlungsbedarf.....</b>	<b>156</b>
<b>15</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>165</b>
<b>16</b>	<b>GESAMTQUELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>169</b>

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Minimale und maximale Komponenten der Biogaszusammensetzung.....	39
Tab. 2: Gasausbeute und CH <sub>4</sub> -Gehalt von Wiesen gras 1. Schnitt, Ende der Blüte.....	41
Tab. 3: Gasausbeute und CH <sub>4</sub> -Gehalt von Maissilage in der Teigreife mit einem TS-Gehalt von 30 %.....	41
Tab. 4: Düngerwertberechnung von Silomais .....	42
Tab. 5: Kenndaten für ausgewählte nachwachsende Rohstoffen.....	44
Tab. 6: Eigenschaften von Biogas .....	48
Tab. 7: Motortypen und wesentliche Merkmale.....	50
Tab. 8: Feuerungsarten und deren Charakteristika; Brennstoffeignung, Leistungsbereich .....	55
Tab. 9: Technisch grundlegende Daten der drei Kraftwerke .....	63
Tab. 10: Liste der von den Energie-AGs geplanten Biomassekraftwerke (Stand 2003) .....	64
Tab. 11: Durchschnittliche, für die Lagerung von Energieträgern relevante Werte .....	67
Tab. 12: Typische (erntbare) Massen- und Energieerträge in der Land- und Forstwirtschaft.....	69
Tab. 13: Zur Wärmeerzeugung und Versuchszwecke eingesetzte Fruchtarten in den Strohheizwerken Schkölen und Jena-Zwätzen 1994-2001 .....	72
Tab. 14: Mindestvergütungssätze für Biomasseanlagen bis 2003 nach dem EEG 2000 .....	76
Tab. 15: Mindestvergütungssätze für Biomasseanlagen ab 2004 nach dem EEG 2004 .....	77
Tab. 16: Abschätzung der für eine außerlandwirtschaftliche Nutzung verfügbaren Strohmenge in Deutschland .....	97
Tab. 17: Vergleich der Kosten und Erträge zwischen einem Mittelwald mit ca. 20-jährigen Umtrieb und einem durchgewachsenen Mittelwald .....	149

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse.....	15
Abb. 2: Entwicklung der Netzeinspeisung aus Biomasse (ohne Eigenverbrauch) und Struktur für 1999 .....	16
Abb. 3: Anlagenbestand (2001) und Prognosen zur Entwicklung .....	17
Abb. 4: Entwicklungsstand der Techniken zur Stromerzeugung .....	18
Abb. 5: Unterteilung biogener Festbrennstoffe.....	20
Abb. 6: Biogausbeute unterschiedlicher Substrate .....	22
Abb. 7: Unterschiedliche Holzanteile eines Baumes .....	23
Abb. 8: Sägerestholzanfall bei der Holzbearbeitung.....	24
Abb. 9: Verwendungsmöglichkeiten von Biogas.....	31
Abb. 10: Schematische Darstellung einer Vorschubrostfeuerung.....	55
Abb. 11: Schematische Darstellung eines Zigarrenbrenners.....	56
Abb. 12: Schematische Darstellung einer stationären Wirbelschicht.....	57
Abb. 13: Schematische Darstellung eines Umlaufkessels .....	58
Abb. 14: Wasser-Dampf-Kreislauf eines Dampfturbinen-Heizkraftwerkes kleiner und mittlerer Leistung (bis etwa 20 MW Feuerungswärmeleistung) bei ausschließlicher Gegendruckbetrieb .....	60
Abb. 15: Biomasse HKW-Landesbergen.....	65
Abb. 16: Leistungsbereiche für unterschiedliche Aufbereitungsformen von Holzbrennstoffen .....	66
Abb. 17: Abhängigkeit zwischen Wassergehalt bzw. Brennstoff-Feuchte und Heizwert am Beispiel eines Holzbrennstoffs.....	68
Abb. 18: Gesamtenergiegehalt siliierter Aufwüchse verschiedener Nutzungsformen.....	144
Abb. 19: Methanerträge siliierter Aufwüchse verschiedener Nutzungsformen, Labor-Durchflussversuche, mesophile Vergärung bei 25 Tagen Verweildauer.....	145

## Abkürzungsverzeichnis

AltholzV	Altholz-Verordnung
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung
BauGB	Baugesetzbuch
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BHKW	Blockheizkraftwerke
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnungen zum Bundesimmissionsschutzgesetz
BiomasseV	Biomasseverordnung
CSB	chemischen Sauerstoffbedarf
DüMV	Düngemittelverordnung
EE	Erneuerbare Energien
EE-Richtlinie	Richtlinie für erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EG	Europäische Gemeinschaft
el	elektrisch
ERP	European Recovery Programme
EU	Europäische Union
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
fm	Festmeter
F + E	Forschung und Entwicklung
GAK	Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes
GenTG	Gentechnikgesetz
GVO	Gentechnisch Veränderter Organismus
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
oTS	organische Trockensubstanz
PCB	polychlorierte Biphenylen
PCT	polychlorierte Terphenylen
PKW	Personenkraftwagen
rm	Raummeter
RME	Rapsölmethylester
Srm	Schüttraummeter
StrEG	Stromeinspeisegesetz
TA Luft	Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TS	Trockensubstanz
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VO	Verdingungsordnung

## **Institutionen**

AFP	Agrarinvestitionsförderungsprogramm
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BBA	Biologische Bundesanstalt
BFAV	Bundesanstalt für Viruskrankheiten der Tiere
BLE	Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung
BLT	Bayerische Landesanstalt für Tierzucht
BMVEL	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
DtA	Deutschen Ausgleichsbank
DVWK	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
IER	Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung
IKTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.
ISAAA	International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWA	Kraftwärmeanlagen GmbH
UBA	Umweltbundesamt
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
ZIFO	Zielwert-Futteroptimierung der bayrischen Landesanstalt für Tierzucht

## **Chemische Symbole und Verbindungsformeln**

C	Kohlenstoff
CH <sub>4</sub>	Methan
Cl	Chlor
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
H	Wasserstoff
HCl	Chlorwasserstoff, Salzsäure
N	Stickstoff
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
O	Sauerstoff
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid

## **Größen und Einheiten**

GJ/t	Gigajoule/tonne
ha	Hektar
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
MJ/kg	Megajoule/Kilogramm
MW	Megawatt

## **Vorwort**

Die Ziele der Bundesregierung zur Reduzierung der Klimagase sowie zum schonenden Umgang mit den endlichen Ressourcen werden durch das Bundesamt für Naturschutz unterstützt, da sich die Ziele des Naturschutzes langfristig nicht ohne wirksamen Klimaschutz umsetzen lassen.

Diese Klimaschutzziele können neben der Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen und einer Erhöhung der Energieeffizienz maßgeblich auch durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien erreicht werden. In diesem Kontext kommt der zukünftigen Biomassenutzung eine wesentliche Rolle zu, da ihre Potenziale vielfältig zur Erzeugung von Energie nutzbar sind. Die Relevanz der Entwicklung der Biomassenutzung wurden durch das Erneuerbare Energiengesetz vom 21. Juli 2004 (EEG) und die Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung – BiomasseV) vom 21. Juni 2001 sowie die Änderungen des Baugesetzbuches vom 24. Juni 2004 untermauert. Zusätzlich forciert werden kann der Ausbau der Biomassenutzung zur Energiegewinnung auch durch strukturelle Veränderungen in der Land- und Forstwirtschaft durch die EU-Kommission.

Gleichzeitig hat sich die Bundesregierung jedoch auch zur Umsetzung der Ziele des Übereinkommens über die biologische Vielfalt verpflichtet. Nicht immer sind die Zielsetzungen des Klima- und Naturschutzes ohne Konflikte zu erreichen. Eine wichtige strategische Weichenstellung muss daher sein, den Ausbau des Bioenergiemarktes dauerhaft nachhaltig anzulegen. Chancen und Risiken sind dabei frühzeitig zu benennen, um sie sorgfältig abwägen zu können, denn die Erzeugung und Nutzung von „energetischer“ Biomasse wird nicht grenzenlos und konfliktfrei umsetzbar sein.

In dem abgeschlossenen Forschungsvorhaben wurden daher vom Institut für Landschaftspflege und Naturschutz der Universität Hannover die verschiedenen derzeit technisch nutzbaren Biomassefraktionen untersucht und im Zusammenhang mit den Naturschutzaspekten betrachtet. Neben den Chancen für den Naturschutz, wie positive Auswirkungen auf Flora und Fauna, etwa durch bessere Pflege vorhandener, nutzungsabhängiger Biotoptypen (Feldgehölze, Raine, Hecken, Extensivgrünland etc.) und auf das Landschaftsbild durch Aufwertung des Naturraums in ausgeräumten Bereichen, etwa über eine stärkere Strukturierung der Landschaft sowie die Nutzung anfallender, bisher ungenutzter Bestandteile land- und forstwirtschaftlicher Produktion und aus der Landschaftspflege, kann es aber auch zu negativen Auswirkungen kommen. Ein rasch wachsender Bedarf an land- und forstwirtschaftlichen Produkten für die energetische Nutzung wird zudem eine starke Konkurrenz um verfügbare Flächen (quantitativ) und um die Intensität sowie die Art der Nutzung (qualitativ) erzeugen. Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war es daher auch, natürliche Nutzungsgrenzen und Konfliktpotenziale im Zusammenhang mit der energetischen Biomassenutzung in land- und forstwirtschaftlichen Ökosystemen zu ermitteln.

Bundesamt für Naturschutz

# 1 Einführung

## 1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Zur Zeit stammt der größte Teil der zur Energieversorgung eingesetzten Energieträger nicht aus erneuerbaren Quellen, sondern aus fossilen Brennstoffen sowie Kernbrennstoffen (BMWi 2000a: 6). Ausgelöst durch die starke Zunahme von Umweltproblemen im Zusammenhang mit der bisherigen Nutzung fossiler Brennstoffe zur Energiegewinnung und hierbei besonders der weltweiten klimatischen Konsequenzen wurde auf der internationalen Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro (UN Conference on Environment and Development UNCED "Earth Summit") in der Agenda 21 der Schutz der Erdatmosphäre verankert. In Kyoto 1997 verpflichteten sich die Industrieländer, ihre Treibhausgasemissionen im Zeitraum von 2008 bis 2012 um mindestens 5 % unter das Niveau von 1990 zu senken. Diese Verpflichtung wurde allerdings zur Ratifizierung auf der Bonner Klimakonferenz im Juli 2001 auf 2 % reduziert. In diesem Zusammenhang strebt die Bundesrepublik Deutschland eine deutlich höhere Reduzierung der Treibhausgase an. So hat die Bundesregierung bereits im Jahr 2000 im nationalen Klimaschutzprogramm eine Reduzierung der Kohlendioxid-Emissionen bis 2005 um 25 % im Vergleich zu 1990 festgelegt.

Die Nutzung von erneuerbaren Energien steht dabei im Zentrum alternativer Entwicklungsmöglichkeiten der Energiegewinnung. Bekräftigt wird dieses im Klimaschutzprogramm der Bundesregierung durch das Ziel der Verdoppelung der Nutzung erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2010, das im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 29. März 2000 festgeschrieben ist. Mit diesem Ziel entspricht die Bundesrepublik Deutschland auch der Zielvorgabe der EU-Richtlinie „Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt“, die für Deutschland eine Steigerung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf mindestens 12,5 % im Jahr 2010 vorsieht. Mittel- und langfristig hält die Bundesregierung ein Wachstum des Anteils der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung um 10 % pro Dekade für notwendig und realisierbar. Bis 2050 soll der Anteil auf mindestens 50 % ansteigen.

Aufgrund der nationalen geographischen und klimatischen Bedingungen in Deutschland lassen sich die solare Strahlung, Windenergie, Wasserkraft, Erdwärme und Biomasse zur Energieerzeugung nutzen (BREITSCHUH et al. 1999). Insbesondere der zukünftige Ausbau der Biomassenutzung zur Energieerzeugung wird als bedeutendes Potenzial für die Energieversorgung angesehen (Fritsche et al. 2004). Sie deckt heute erst ca. 2 % des Primärenergiebedarfs, weist aber bereits eine bedeutende Zuwachsquote auf. Angesichts der sich verbessernden technischen Möglichkeiten und der Veränderung der rechtlichen Rahmenbedingungen - deutliche Anhebung und Differenzierung der Vergütungssätze je nach Anlagentyp und die Anpassung der Obergrenzen von Anlagengrößen im neuen EEG (2004) – ist mit einer erheblichen Steigerung der Energieproduktion aus erneuerbaren Energien zu rechnen. Zusätzlich forciert wird der Ausbau der Biomassenutzung zur Energiegewinnung durch strukturelle Veränderungen in der Land- und Forstwirtschaft, wobei ergänzende Einnahmequellen wachsende Defizite in Bereichen der Holz-, Lebens- und Futtermittelproduktion ausgleichen könnten. In der Halbzeitbewertung der Gemeinsamen Agrarpolitik schlägt die EU-Kommission die Einführung eines so genannten CO<sub>2</sub>-Kredits und die Förderung des Anbaus von Energiepflanzen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen konkret als neue Fördermaßnahme vor.

Vor diesem Hintergrund wird dem Ausbau der Biomassenutzung in den kommenden Jahren in Deutschland eine mindestens vergleichbar hohe Dynamik prognostiziert, wie der Entwicklung der Windkraftnut-

zung in den vergangenen Jahren. Demnach wird der Anbau von Energiepflanzen ebenso drastisch ausgeweitet werden, wie die Nutzung von Ernterückständen wie Stroh und Waldrestholz (DEIMLING & KALTSCHMITT 2001). Darüber hinaus bilden Pflegeabfälle von Naturschutz- und (städtischen) Grünflächen ein weiteres Potenzial zur Energienutzung (KREIKENBOHM 2001).

Aus naturschutzfachlicher Sicht ist diese Entwicklung grundsätzlich zu begrüßen, da sich die Ziele des Naturschutzes langfristig nicht ohne wirksamen Klimaschutz umsetzen lassen. Werden die in der Verwertung von Biomasse zur Energiegewinnung steckenden Potenziale nachhaltig und in Abstimmung mit den Belangen des Naturschutzes und des Landschaftsbildes genutzt, können sich sogar neue Chancen für den Naturschutz ergeben, die über die direkte positive Wirkung auf den Klimahaushalt der Erdatmosphäre hinausgehen. Denkbar sind in diesem Zusammenhang u.a. positive Auswirkungen auf Flora und Fauna, etwa durch eine bessere Pflege vorhandener, nutzungsabhängiger Biototypen (Feldgehölze, Raine, Hecken, Extensivgrünland etc.), und auf das Landschaftsbild durch Aufwertung des Naturraumes in ausgeräumten Bereichen, etwa über eine stärkere Strukturierung der Landschaft. Zusätzliche positive Potenziale einer Biomasse-Energienutzung könnten sich aus der Verwertung ohnehin anfallender, bisher ungenutzter Bestandteile land- und forstwirtschaftlicher Produktion oder der Landschaftspflege ergeben, die bisher entsorgt werden mussten.

Werden Energiepflanzen unter extensiven Bedingungen angebaut, könnte sich der Aufwand an Pflanzenschutzmitteln im Vergleich zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion aufgrund geringerer Ansprüche an die äußere Produktqualität reduzieren (z. B. Tolerierung von leichtem Krankheitsbefall oder von Wildkrautbesatz). So sind beim Anbau von Energiepflanzen pflanzenbauliche Möglichkeiten zu prüfen (Gemengeanbau, Untersaaten, „Agroforestry“), die insbesondere im Bereich der landwirtschaftlichen Produktion bisher kaum oder gar nicht umsetzbar sind und mit einer Verringerung des Düngereinsatzes (z.B. durch die Ausweitung des Leguminosenanbaus) oder von Pflanzenschutzmitteln einhergehen könnten (KARPENSTEIN-MACHAN 1997). Ein weiterer Vorteil könnte sich ergeben, wenn es gelingt, durch extensiven Anbau von Energiepflanzen Acker- und Grünlandstandorte mit extremeren Standortbedingungen in Nutzung zu halten, die ansonsten durch Nutzungsaufgabe brach fallen bzw. verbuschen würden.

Neben den Chancen birgt der rasche Ausbau der Biomasseenergienutzung aber auch zahlreiche Gefahren für den Naturschutz, die zum einen den Naturschutz direkt betreffen und sich zum anderen indirekt aus unterschiedlichen Veränderungen der quantitativen und qualitativen Landnutzung ergeben. Neben dem Potenzial, das die Verwertung von Landschaftspflegeabfällen und Grünschnitten unterschiedlichster Art bietet, wird der weitaus größte Teil an Bio-Energieträgern von der Land- und Forstwirtschaft aktiv produziert werden. Beide sind derzeit unter Einhaltung der „Guten fachlichen Praxis“ bzw. der bundes- und länderspezifischen Vorgaben für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung (vgl. BNatSchG § 5 (3) und (4)) auf die Produktion von Lebensmitteln, Futtermitteln, Möbel- und Bauholz, Holz zur Papierproduktion etc. ausgerichtet. Nur in geringem Umfang wurde in der Vergangenheit z.B. Holz an Selbstwerber abgegeben, das in Einzelöfen verbrannt wird, Grünschnitt in Biogasanlagen genutzt oder bei der Getreideproduktion anfallendes Stroh über Pellet-Produktion in Verbrennungsanlagen verfeuert. In den letzten ein bis zwei Jahren ist darüber hinaus eine langsam steigende Nachfrage nach Mais zur Nutzung in Biogasanlagen festzustellen.

Ein rasch wachsender Bedarf land- und forstwirtschaftlicher Produkte für die energetische Nutzung wird eine starke Konkurrenz zur bisherigen Verwendung darstellen, wenn die Erlöse für Biobrennstoffe denen herkömmlicher Nahrungs- und Futtermittel sowie Rohstoffe mindestens entsprechen. Das betrifft insbesondere die Konkurrenz um Flächen (quantitativ) als auch um die Intensität und Art der Nutzung (qualitativ).

Die bisherige Praxis bei der Förderung der so genannten „nachwachsenden Rohstoffe“ hat am Beispiel der mehrjährigen Stilllegungsflächen gezeigt, dass ökonomische und ökologische Ziele zu einer Konkurrenz um die verfügbaren Flächen führen, bei denen die ökologischen Ziele i.d.R. unterliegen. U.a. aufgrund des aktuell sehr geringen Nutzens für ökologische Ziele, schlägt die EU-Kommission in ihrer Halbzeitbewertung zur Gemeinsamen Agrarpolitik vor, eine neu ausgerichtete „ökologische Stilllegung“ einzuführen.

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass mit einer ungesteuerten, auf optimale Nutzung angelegten und nicht die Belange des Naturschutzes mit einbeziehenden Ausweitung des Anbaus von Bioenergiepflanzen resp. der Ausweitung der Nutzung pflanzlicher Biomasse allgemein die Gefahr besteht, bereits bestehende Konflikte zwischen dem Naturschutz einerseits und der Land- bzw. Forstwirtschaft andererseits zu verschärfen. Mögliche Konflikte ergeben sich auf unterschiedlichen Ebenen mit regionaler und fast immer auch bundesweiter (wenn nicht gar europäischer) Bedeutung:

- ◆ Flächenkonkurrenzen könnten sich z.B. um tatsächliche und potenzielle Stilllegungsflächen, die für den Naturschutz bedeutsam sind, oder um Flächen, die zur Zeit auf Grund ihres geringen Potenzials, ihrer Größe oder aus anderen Gründen nicht bewirtschaftet werden, ergeben.
- ◆ Nutzungskonkurrenzen entstehen bei einer Intensivierung des Anbaus auf zur Zeit extensiv und/oder ökologisch bewirtschafteten Flächen (z.B. auf Grenzertragsstandorten).
- ◆ Eine hohe Intensität bei der Bewirtschaftung von Anbaubiomasse unter Aufweichung der guten fachlichen Praxis – die Produktion ist nicht auf die menschliche Nahrungskette ausgerichtet – brächte negativen Folgen für die biologische Vielfalt z.B. durch nicht natur- und landschaftsverträgliche Anbaumethoden und eingesetzte Anbaupflanzen mit sich.
- ◆ Eine Intensivierung der Nutzung in Wäldern bis hin zur Übernutzung birgt Gefahren für die nachhaltige Waldbewirtschaftung und mehr noch für den ökologischen Waldumbau in sich.
- ◆ Die Umwandlung von Pflege in Nutzung (z.B. Umstellung naturschutzfachlicher Pflege mit dem Zweck einer höheren Biomasseproduktion etwa durch Erhöhung der Mahdfrequenzen) könnte die Ziele des Naturschutzes auf den betroffenen Flächen untergraben.
- ◆ Der Anbau neuer (exotischer, gentechnisch veränderter) Pflanzenarten und -sorten in Monokultur brächte negative Konsequenzen z.B. für Flora und Fauna oder die Bodenfunktionen mit sich.
- ◆ Nicht zuletzt sind negative Auswirkungen durch die Entsorgung bzw. Verwendung der Abfallprodukte aus der Verbrennung/Pyrolyse (Aschen, Schlacken) für den Natur- und Umweltschutz wie z. B. Verbringung von Aschedünger auf landwirtschaftliche Fläche zu befürchten (Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung).
- ◆ Insgesamt könnte eine Intensivierung der Eingriffe in vorhandene (Kultur-) Landschaften mit negativen Auswirkungen auf die Strukturvielfalt, das Landschaftsbild und eine nachhaltige Entwicklung des ländlichen Raumes (2. Säule der GAP) verbunden sein.

An der bisher beschriebenen Gesamtproblematik setzt das F+E-Vorhaben „Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung“ an. Übergeordnetes Ziel ist es, mögliche Konflikte, aber auch Synergien zum Naturschutz herauszuarbeiten und aus Ihnen Potenziale und Handlungsempfehlungen abzuleiten, die einen sinnvollen naturschutzfachlichen Beitrag zur Ausbaustrategie der Biomassennutzung zur Strom- und Wärmeenergiegewinnung der Bundesregierung leisten.

In diesem Sinne bietet der vorliegende Bericht die Basis für eine breit angelegte fachliche Diskussion zu diesem aktuellen Thema. Letztendlich sollen die Ergebnisse des F+E-Vorhabens dazu dienen, Möglichkeiten aufzuzeigen, die mit der Beerntung nicht angebaute Biomasse bzw. der landwirtschaftlichen Produktion von Biomasse zur energetischen Nutzung einhergehenden Veränderungen von Natur und Landschaft möglichst gering zu halten bzw. im Sinne des Naturschutzes positiv zu entwickeln. Damit dienen sie der frühzeitigen sachlichen Auseinandersetzung mit den zu erwartenden umwelt- und naturschutzpolitischen Aspekten der energetischen Nutzung von Biomasse und deren gegenseitiger Abwägung, denn auch die Erzeugung und Nutzung erneuerbarer Energien in Form von Biomasse wird nicht grenzenlos und konfliktfrei umsetzbar sein.

## **1.2 Vorgehensweise**

Um dieses Haupt-Ziel des Forschungsvorhabens zu erreichen, wurden in einem ersten Arbeitsabschnitt die technisch, politisch und wirtschaftlich relevanten Faktoren erfasst und dargestellt.

Die Auswertung der wesentlichen Informationen bietet einen Überblick zum derzeitigen Stand der Biomassennutzung in Deutschland und dient als Grundlage zur nachfolgenden Einschätzung der Auswirkungen des Anbaus und der energetischen Nutzung von Biomasse auf Natur und Landschaft. Je detaillierter nahe liegende Entwicklungstendenzen zu erfassen und zu beschreiben sind, desto exakter können potenzielle Synergien und Konflikte zwischen Biomassennutzung und Naturschutzzielen herausgearbeitet und bewertet werden. Die Entwicklung der Biomassennutzung zur Strom- und Wärmeproduktion befindet sich allerdings noch am Anfang. Der Entwicklungsprozess unterliegt zahlreichen Einflussfaktoren, so dass exakte Prognosen nur schwer zu treffen sind. Die Ergebnisse des vorliegenden F+E-Vorhabens enthalten jedoch zahlreiche Hinweise darüber, in welchen Bereichen sich Konflikte zwischen Naturschutzzielen und Landnutzung zur Biomasseproduktion abzeichnen. Andererseits sind Ansätze dargestellt, die Chancen für den Naturschutz beinhalten können, eine energetische Nutzung von Biomasse synergetisch mit den eigenen Zielen zu verbinden.

Entsprechend der Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (BIOMASSEVERORDNUNG 2001) eignen sich diverse Rohstoffe zur Gewinnung von Energie aus Biomasse. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um cellulose-, öl-, zucker- und stärkehaltige Pflanzen und Pflanzenbestandteile sowie um tierische Abfallstoffe.

Im vorliegenden Vorhaben wird insbesondere das Nutzungspotenzial nachwachsender Rohstoffe im Rahmen technisch ausgereifter, derzeit am Markt verfügbarer Verfahren zur Stromerzeugung sowie für die kombinierte Strom-, Wärmeerzeugung untersucht. Darauf aufbauend erfolgt eine Einschätzung der potenziellen Auswirkungen der Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Strom- und Wärmeenergiegewinnung auf Natur und Landschaft.

Die potenziellen Auswirkungen auf Natur und Landschaft sind von zahlreichen Faktoren abhängig. Neben unterschiedlichen Stoffquellen und Produktionsketten wirken nicht zuletzt politische Zielsetzungen und ökonomische Anforderungen auf die Art und Intensität der energetischen Biomassenutzung in der land- und forstwirtschaftlichen Praxis ein.

Auf Grund der thematischen Breite ist im Rahmen des F+E-Vorhabens „Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung“ eine gezielte Ausrichtung des Untersuchungsrahmens notwendig. Auf Grund der klimapolitischen Zielsetzung der Bundesregierung und der zum Zeitpunkt der Durchführung des Projektes (Ende 2002 bis Anfang 2004) aktuell diskutierten Novellierung des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG), wurde ein Schwerpunkt des Vorhabens vor allem auf die Betrachtung der Stromproduktion aus Biomasse gelegt. In der Praxis ist die strikte Trennung von Strom- und Wärmeerzeugung zum Teil jedoch nicht möglich, da bei der Produktion von Strom in der Regel auch Wärme anfällt, die aus Sicht einer effizienten Energieverwertung mit genutzt werden sollte. Die Kapazitätsgrenze der zu betrachtenden Anlagen wird, entsprechend der bisherigen oberen Leistungsgrenze des Geltungsbereiches des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG), bei 20 MW gesetzt. Es kann jedoch zukünftig auch mit größeren Anlagen gerechnet werden.

Die Produktion synthetischer Treibstoffe aus Biomasse wird voraussichtlich ebenfalls einen starken Einfluss auf die Nutzung der vorhandenen Biomasse-Potenziale haben. Die Auswirkungen der Treibstoffproduktion aus Biomasse werden jedoch im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht thematisiert. Dazu wären weitergehende Analysen zur Potenzialerschließung, zu Produktionsweisen und zur Potenzialerschließung erforderlich, die im Rahmen des hier dargestellten Projektes nicht geleistet werden konnten.

Aus Sicht des Naturschutzes stehen die größten Biomasse-Potenziale im Vordergrund der Betrachtungen, da diese die stärksten flächenhaften Auswirkungen erwarten lassen. Dies betrifft insbesondere die energetische Nutzung von Waldenergieholz (Waldrestholz, Durchforstungsholz) und den Energiepflanzenanbau in der Landwirtschaft. Die energetische Nutzung von Schnittgut aus der Landschaftspflege bzw. von Naturschutzflächen kann im Rahmen dieses Projektes aufgrund der Bedeutung und der Größe der Thematik nur relativ oberflächlich in ihrer naturschutzfachlichen Auswirkung betrachtet werden. Die Nutzung von Rest- und Abfallstoffen wird als Biomasse-Potenzial mit aufgeführt, jedoch bezüglich der Auswirkungen auf Natur und Landschaft vereinbarungsgemäß nicht näher untersucht.

Aus den technischen Vorgaben ergibt sich ein Spektrum pflanzlicher Biomasse, das aktuell für eine energetische Nutzung in Frage kommt. Aus diesem Spektrum wurden diejenigen Fraktionen und Kulturen ausgewählt, die derzeit tatsächlich in größerem Umfang genutzt werden, bzw. bei denen die energetische Nutzung in den nächsten Jahren die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit überschreiten könnte.

Die Untersuchung ist anhand der unterschiedlichen Erzeugungs- und Energienutzungspfade gegliedert. So werden die Auswirkungen für den Naturschutz getrennt nach holzartiger, halmgutartiger und Fermentationsbiomasse aufgeführt.

Das Forschungsvorhaben basiert auf einer umfassenden Literaturrecherche. Insbesondere die Bestände der Technischen Informationsbibliothek der Universität Hannover (TIB), des Hannoverschen Online-Bibliothekensystems (HOBSY) und der Fachbibliothek des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) wurden dazu systematisch ausgewertet. Des Weiteren wurde eine umfangreiche Internet-Recherche durchgeführt.

Durch die Zusammenarbeit mit zahlreichen im Bereich der energetischen Nutzung von Biomasse tätigen Akteuren konnten weitere wichtige Anregungen und Hinweise gewonnen werden. Zu diesen Akteuren zählen die zum Teil parallel erarbeiteten Forschungsvorhaben „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse“ des Öko-Institutes in Darmstadt und „Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien“ des Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU) in Heidelberg, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Umweltstudien (IUS) in Potsdam (Fritsche et al. 2004, Scheurlen et al. 2003). Ein Expertenworkshop des Bundesamtes für Naturschutz zum Thema „Potenziale und Entwicklungen der energetischen Biomassenutzung“, der vom 16. bis 19. Juni 2003 durchgeführt wurde, konnte zudem zahlreiche aktuelle Einschätzungen, Impulse und Kontakte liefern, die insbesondere in der zweiten Projekthälfte zur weiteren Spezifizierung der Ergebnisse beigetragen haben. Darüber hinaus sind bilaterale Expertengespräche zu speziellen Fachfragen geführt worden. Als weitere Foren zum fachlichen Austausch wurden das Biogasforum des Landwirtschaftsministeriums in Hannover und der Arbeitskreis Biomasse an der Universität Hannover genutzt.

Zur Bearbeitung der potenziellen Auswirkungen der energetischen Biomassenutzung auf Natur und Landschaft wurde von den, aus der aktuellen wissenschaftlichen Diskussion bekannten, Konfliktbereichen zwischen Naturschutz und Forstwirtschaft bzw. Naturschutz und Landwirtschaft ausgegangen. Dazu wurden Bereiche, in denen durch die energetische Biomassenutzung eine deutliche Veränderung der Rahmenbedingungen zu erwarten ist, ausgewählt und ausführlich diskutiert. Den Ausgangspunkt dazu bilden u. a. die in aktuellen Publikationen des BfN veröffentlichten Forschungsergebnisse. Unter anderem wurde der Kriterienkatalog zur „Guten fachlichen Praxis“ in der Landwirtschaft (KNICKEL et al. 2001) und der aktuelle Kriterienkatalog zur „Guten fachlichen Praxis“ in der Forstwirtschaft (WINKEL & VOLZ 2003) als Grundlage herangezogen und um den Bereich der Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung erweitert.

Die aus der Forschungsarbeit abzuleitenden Ergebnisse sind in vielen Fällen noch nicht durch Erfahrungswerte aus Wissenschaft und Praxis belegt. Sie beruhen daher auf Analogieschlüssen und Einschätzungen der Autoren.

## 2 Darstellung der zur Energiegewinnung relevanten Biomassefraktionen

### 2.1 Biomasse Begriffsbestimmung

Der Begriff Biomasse umfasst sämtliche in der Natur vorhandenen Stoffe organischer Herkunft, die aus lebender oder abgestorbener Phyto- und Zoomasse entstanden sind.

Dazu zählen ebenso daraus resultierende Rückstände bzw. Nebenprodukte (bspw. tierische Exkremente) als auch alle Stoffe, die durch technische Umwandlung und/oder Nutzung entstanden sind (Papier, Schlachthofabfälle, Pflanzenöl, Biogas etc.). Die Abgrenzung gegenüber fossilen Energieträgern beginnt beim Torf, der ein fossiles Sekundärprodukt der Verrottung darstellt. Bei der Nutzung dieses Rohstoffes wird, im Gegensatz zu anderen Stoffen organischer Herkunft, seit mehreren tausend Jahren festgelegtes CO<sub>2</sub> freigesetzt.

Biomasse kann entsprechend der jeweiligen Zuordnungs-, Nutzungs-, und Aufbereitungsmöglichkeit unterschiedlich systematisiert werden. So kann Biomasse in primäre und sekundäre Produkte unterteilt werden. Primärprodukte beziehen ihre Energie direkt aus der Sonneneinstrahlung, dazu gehören demnach sowohl die gesamte Pflanzenmasse als auch pflanzliche Rückstände aus der Land- und Forstwirtschaft (Wald- und Industrierestholz, Altholz, Stroh). Sekundärprodukte werden aus der Umwandlung der Primärprodukte in höheren Organismen gebildet, dies umfasst die gesamte Zoomasse sowie deren Exkremente (Festmist, Gülle) und Klärschlamm.

Um die Endenergienachfrage zu decken, kann Biomasse mittels unterschiedlicher Verfahren und Techniken genutzt und aufbereitet werden. Dies erfolgt in Abhängigkeit von der eingesetzten Biomasse und des jeweils gewünschten Endenergieträgers (Wärme, Strom, Rapsölmethylester, Ethanol etc.).

Hinsichtlich einer energetischen Systematisierung von Biomasse kann eine Einteilung in energetisch verwertbare **Reststoffe** aus Land- und Forstwirtschaft, Industrie (vor allem holzverarbeitende) oder Kommunen (Stroh, Alt- und Resthölzer, Landschaftspflegeabfälle etc.) und in speziell angebaute **Energiepflanzen** (Energimais, Weiden, Pappeln, Chinaschilf etc.) vorgenommen werden.

Weiterhin kann folgende Einteilung nach Aggregatzuständen vorgenommen werden, in welcher sich die Biomasse zum Zeitpunkt ihrer energetischen Nutzung befindet:

#### ***Feste Bioenergieträger***

- Land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse (Getreidepflanzen, Kurzumtriebsplantagen, Waldholz, Stroh, Gülle etc.)
- Pflanzen- und Pflanzenreste aus dem Landschaftspflegebereich (Baum-, Strauch- und Heckenschnitt etc.)
- Rest- und Abfallstoffe aus dem gewerblichen und kommunalen Bereich (Bau- und Altholz, Biotonne etc.)

#### ***Flüssige Bioenergieträger*** (Folgeprodukte fester Bioenergieträger)

- Alkohole (z.B. aus Zuckerrüben)
- Ester (z.B. aus Biodiesel)
- Pflanzenöle (z.B. aus Raps)

**Gasförmige Bioenergieträger** (Folgeprodukte aus festen Bioenergieträgern nach bakteriellen Umsetzungsprozessen)

- Biogas
- Klärgas
- Deponiegas

## 2.2 Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung

### *Biomassenutzung in Europa*

Von sämtlichen Erneuerbaren Energieträgern (EE) leistet die Biomasse den größten Beitrag zur Energieversorgung in Westeuropa. So deckte sie im Jahr 1998 nach Angaben der Europäischen Kommission knapp 4 % des Primärenergiebedarfs der EU und nimmt damit einen Anteil von 55 % bis 65 % innerhalb der Erneuerbaren Energieträger ein.

In Finnland, Schweden und Österreich ist die Bedeutung der Biomassenutzung ungleich größer als in anderen EU-Ländern, ihr Anteil am Primärenergieverbrauch liegt hier bei etwa 26 %, 17 % und 11 %. An der Stromerzeugung aus allen Erneuerbaren Energien hat die Biomasse einen Anteil von 8 – 9 % und liegt damit hinter der Stromerzeugung aus Wasserkraft, jedoch vor der Stromerzeugung aus Wind (STAIB 2001).

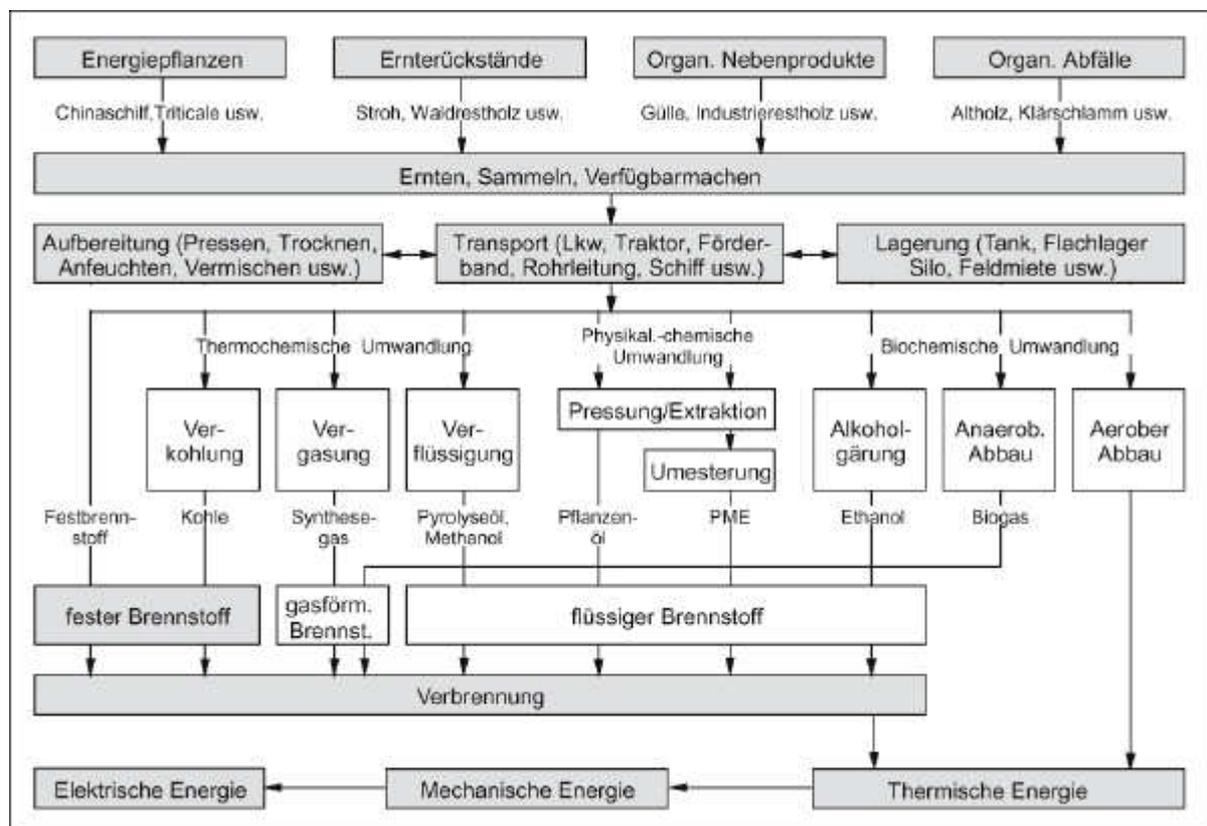


Abb. 1: Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001: 3)

## Energetische Nutzungskonzepte für Biomasse

Grundsätzlich besteht ein Bioenergiekonzept aus mehreren Komponenten: Der Rohstoffbereitstellung aus verschiedenen Stoffquellen, der Umwandlung bzw. Aufbereitung des Brennstoffes mit den daraus resultierenden Energieträgern und anschließend deren energetische Nutzung in entsprechenden Konversionsanlagen.

Abbildung 1 zeigt eine entsprechende Übersicht. Sie veranschaulicht die technischen Verfahren und Konzepte mit den entsprechenden Umwandlungsketten der Biomassenutzung zur Strom- und Wärmeherzeugung.

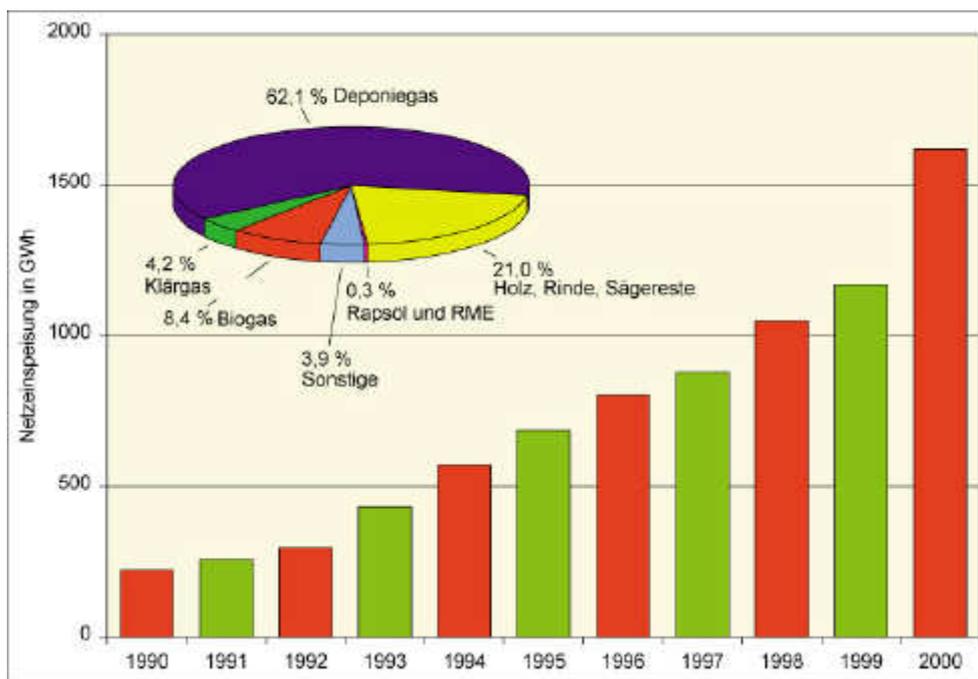


Abb. 2: Entwicklung der Netzeinspeisung aus Biomasse (ohne Eigenverbrauch) und Struktur für 1999 (STAIB 2001)

### 2.2.1 Nutzung von Biomasse zur Stromerzeugung

In Deutschland hat die Biomasse innerhalb der Erneuerbaren Energien einen Anteil von über 90 % an der Wärmeherzeugung. Jedoch spielt die Nutzung von Biomasse zur Stromgewinnung bislang eine untergeordnete Rolle. Insgesamt ist der Anteil der Biomasse an der Stromerzeugung sehr gering (0,3 % Anteil an der Stromerzeugung), obwohl sich die Erzeugung von 1990 bis 2000 auf 1,6 Mrd. kWh versiebenfacht hat. Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der Stromeinspeisung in das öffentliche Netz sowie die zugrundeliegenden Biomassefraktionen.

Betrachtet man die Struktur der Stromerzeugung aus Biomasse aufgeteilt nach Brennstoffen, so ergibt sich, dass über 50 % des im Jahr 2000 eingespeisten Stroms auf die Nutzung von Klär- und Deponiegasen zurückzuführen ist. Diese sind laut der Biomasseverordnung zwar nicht als Biomasse im Sinne des Gesetzes zu betrachten, jedoch EEG-vergütungsfähig.

Der zweitgrößte Anteil des eingespeisten Stroms entfällt auf die Nutzung fester Brennstoffe, es folgt die Stromerzeugung aus Biogasanlagen (etwa 30 % werden nur mit Gülle betrieben, der überwiegende Anteil arbeitet mit Gülle / Kofermentation (WEILAND 2000)). Allerdings ist hier nur der tatsächlich eingespeiste

Strom und nicht die Stromerzeugung für den Eigenverbrauch berücksichtigt, der Gesamtanteil an der Stromerzeugung von Biogasanlagen liegt nach Angaben des Fachverbandes Biogas deutlich höher (STAIB 2001).

Lediglich ein sehr geringer Stromanteil wird durch Rapsöl und Rapsölmethylester in Blockheizkraftwerken erzeugt. In Deutschland wurden bis Ende 2001 etliche mit festen Biomassen befeuerte Stromerzeugungsanlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 280 MW<sub>el</sub> betrieben. Der Anlagenbestand wird derzeit durch Anlagen unter 5 MW bestimmt, der weitere Zuwachs dieser Anlagen dürfte jedoch gering sein (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2002).

In den nächsten Jahren ist durch die Vergütungsregelung des EEG jedoch mit einem bedeutenden Anstieg an größeren Anlagen zu rechnen. Deutschlandweit befinden sich demnach weit über 100 Vorhaben mit Leistungen von über 5 MW<sub>el</sub> (meist Alt-, und Resthölzer) in verschiedenen Planungsstadien. Tendenziell wird der Zubau bei den Biomasseheizkraftwerken im Anlagenbereich mit Leistungen von 15-20 MW gesehen, dabei wird vor allem Altholz als Brennstoff eingesetzt werden. Bis zum Jahr 2004 ist ein Anstieg der installierten elektrischen Leistung auf ca. 600 MW von 280 MW (Ende 2001) zu erwarten (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2002).

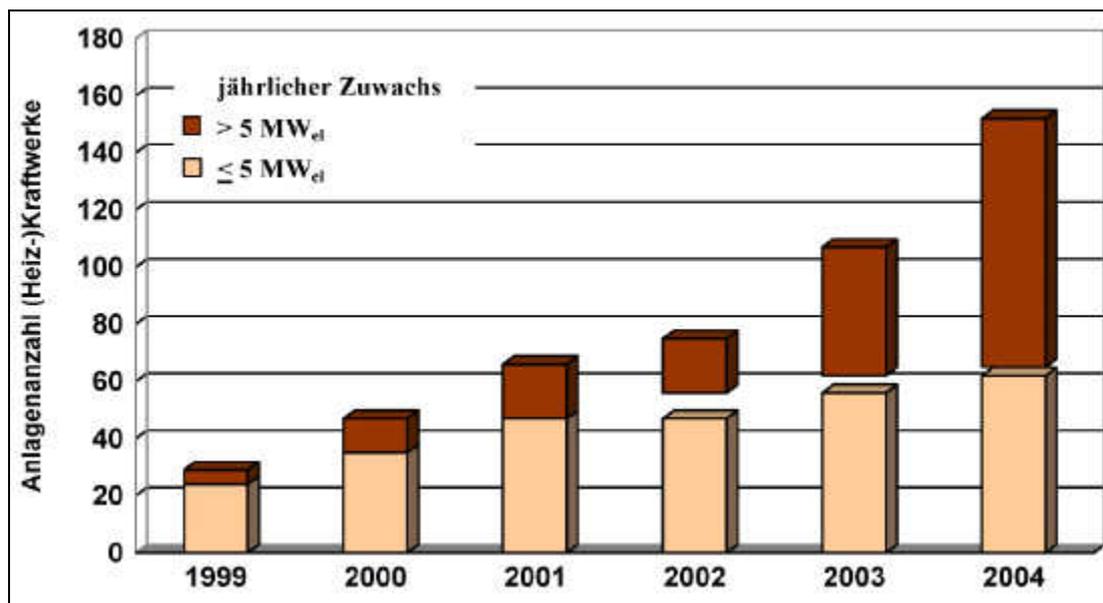


Abb. 3: Anlagenbestand (2001) und Prognosen zur Entwicklung (unter Berücksichtigung aller in Planung befindlichen Anlagen) (Institut für Energetik und Umwelt 2002)

An landwirtschaftlichen Biogasanlagen werden derzeit etwa 1900 in Deutschland betrieben. Ende 2001 betrug die installierte elektrische Leistung ca. 200 MW, Ende 2002 250 MW. Dabei sind 90 % der installierten elektrischen Leistung dem landwirtschaftlichen Bereich zuzuordnen. Der Zubau an Biogasanlagen liegt im kleineren Leistungsbereich (bis 70 kW<sub>el</sub>), da dort die höchsten Potenziale liegen (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2002). Bislang befinden sich die meisten Anlagen in Bayern und Baden-Württemberg, allerdings ist in den neuen Bundesländern aufgrund der teils großen landwirtschaftlichen Betriebsgrößen, eine höhere installierte elektrische Leistung bei geringerer Anlagenzahl vorhanden (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2002).

### 2.3 Technologien und Nutzungsverfahren von Biomasse zur Stromerzeugung

Vor dem Hintergrund einer Vielzahl von Verfahren und Technologien, die sich bezüglich der energetischen Nutzung von Biomasse im Stadium von theoretischen Untersuchungen, von Laborversuchs- bzw. Pilotanlagen und Demonstrationsvorhaben befinden, gibt es eine überschaubare Anzahl von Technologien und Verfahren, die Marktreife erlangt haben und als ökonomisch aussichtsreich beurteilt werden können. Abbildung 4 stellt den Entwicklungsstand der derzeitigen Technologien zur Stromerzeugung dar.

Der Großteil der Techniken zur Stromerzeugung befindet sich noch vielfach in der Entwicklung, kommerziell verfügbare Techniken sind beim derzeitigen Stand noch sehr eingeschränkt.

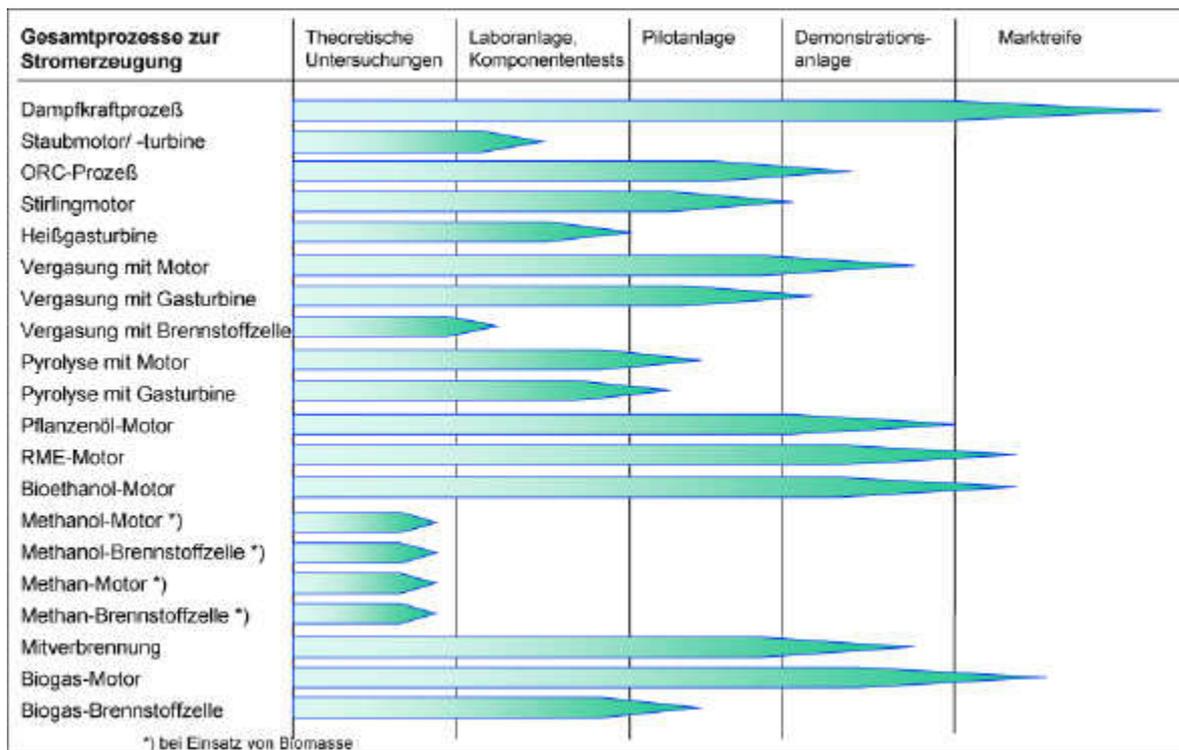


Abb. 4: Entwicklungsstand der Techniken zur Stromerzeugung (HEINRICH & JAHRAUS 2001)

Bei den ausgereiften, marktverfügbaren Verfahren handelt es sich in erster Linie um **Dampfkraftprozesse mit und ohne Wärmeauskopplung** für den Einsatz von festen Biomassen. Der Dampfkraftprozess ist der am weitesten verbreitete Prozess zur Stromerzeugung. Er kann variabel mit Dampfturbine oder mit Dampfmotor (Schrauben- und Kolbenmotoren) betrieben werden. Biomasse wird dabei in einem Kessel verbrannt und Dampf erzeugt, welcher in einem Dampfmotor oder einer Dampfturbine entspannt wird. Diese Verfahren dienen zur Versorgung von Kleinverbrauchern, von Nah- und Fernwärmeversorgungssystemen sowie für Industriebetriebe und Elektrizitätsversorgungsunternehmen. Letztere betreiben insbesondere Anlagen mit einer Kapazität über 100 MW; sie fallen daher aus dem Betrachtungsspektrum dieser Untersuchung heraus. Industrielle Energieanlagen mit einer Kapazität bis zu 20 MW werden jedoch berücksichtigt.

Weitere technische Möglichkeiten zur Stromerzeugung bestehen in der Nutzung von **Rapsöl und Rapsölmethylester (RME) in Verbrennungsmotoren mit Wärmeauskopplung** (Blockheizkraftwerk). Im Bereich der Wärmebereitstellung und der Kraft-Wärme-Kopplung sind sie jedoch eine Randerscheinung. Bislang konnte die Nutzung von Rapsöl oder RME in Deutschland aus wirtschaftlichen Gründen keine

große Bedeutung erlangen, da Pflanzenöl teuer ist und in stationären Anlagen mit dem Verkehrsbereich und der stofflichen Nutzung z.B. als Schmier- und Hydrauliköle konkurriert (STAIß 2001). Nach Schätzungen eines Gutachtens von FICHTNER (2002 a oder b) existieren in Deutschland derzeit lediglich einige Dutzend Rapsöl- bzw. RME-BHKW-Anlagen. Die weitaus größere Bedeutung von Rapsöl und RME liegt im Bereich des Verkehrssektors. Der Anbau von Raps zur Stromgewinnung wird in der vorliegenden Untersuchung nicht mit aufgenommen, da seine Bedeutung für die Stromerzeugung bislang marginal ist und seine zukünftige Bedeutung als Treibstoff in Kraftfahrzeugen gesehen wird. Er wird eventuell in Zusammenhang mit einer möglichen Flächenkonkurrenz zu anderen relevanten Biomassefraktionen zur Stromgewinnung betrachtet, da Rapsanbau derzeit den flächenmäßig größten Anteil an Stilllegungsflächen einnimmt. So wurde in Deutschland 2001 auf 460.000 ha (davon 325.000 ha Stilllegungsflächen) Raps zu Non-Food-Zwecken angebaut (INSTITUT FÜR ZUKUNFTSENERGIESYSTEME 2002).

Ein weiterer Anwendungsbereich ist die **Erzeugung von Biogas** durch Vergärung von Nebenprodukten pflanzlicher und tierischer Herkunft aus der Land-, und Forstwirtschaft mit Nutzung des Biogases in Verbrennungsmotoren mit Wärmeauskopplung (Blockheizkraftwerk). In den vergangenen Jahren hat sich ein begrenzter Markt für Anlagen von zumeist wenigen 10 kW<sub>el</sub> entwickelt. Insgesamt ist die Bedeutung der Biogasanlagen eher gering. Für das Jahr 2000 wird eine elektrische Gesamtleistung von 75 MW angegeben, die jährlich ca. 600 Mio. kWh liefern. Die geringe Bedeutung der Biogaserzeugung in der Vergangenheit erklärt sich vor allem aus der fehlenden Wirtschaftlichkeit, so ist die Fördersituation besonders für kleinere Betriebe trotz des Marktanreizprogramms nicht attraktiv genug (STAIß 2001) gewesen. Da durch die Neuregelung des EEG (2004) die Stromeinspeisevergütung erhöht wird, dürfte diese Form der energetischen Nutzung von Biomasse in naher Zukunft erheblich zunehmen. Die Nutzung von Biogas in Brennstoffzellen als auch die Nutzung als Kraftstoff befinden sich gegenwärtig noch in der Entwicklungsphase.

Vergleicht man die Biogastechnik mit anderen Techniken zur Energieerzeugung, so besteht ihre Besonderheit darin, dass sämtliche biogenen Reststoffe, wie Gülle und Ernterückstände, als auch ein breites Spektrum nachwachsender Rohstoffe zur Verwertung genutzt werden können. Diese Stoffe können sowohl einzeln als auch gemeinsam (Kofermentation) eingesetzt werden. Seit 1999 wurde für die Biogaserzeugung auf Stilllegungsflächen auch der Anbau einzeln nachwachsender Rohstoffe, wie Silomais, Gras-Klee-Gemischen oder Ackerbohnen genehmigt. Durch das EEG gewinnt die Vergärung von Energiepflanzen an Bedeutung und konkurriert mit außerlandwirtschaftlichen Abfallstoffen, die mitverarbeitet werden können (WEILAND 2000).

Andere Techniken, wie biomassebefeuerte Stirlingmotor-Anlagen oder die Nutzung von Produktgasen in Gasmotoren oder Turbinen zur gekoppelten Strom-, und Wärmeerzeugung werden derzeit lediglich im Rahmen von Pilot- und Demonstrationsanlagen getestet und stehen bislang nicht kommerziell zur Verfügung (HEINRICH & JAHRAUS 2001). Daher werden die diesen Technologien zugrundeliegenden Biomassefraktionen auch nicht weiter betrachtet.

## 2.4 Biomassefraktionen, die zur Stromerzeugung genutzt werden

Der Energiepflanzenanbau gliedert sich in folgende Erzeugungsziele (FNR 2002):

- Erzeugung von Festbrennstoffen
- Erzeugung von Biogas
- Pflanzliche Öle als Brennstoffe
- Pflanzliche Öle als Kraftstoffe
- Erzeugung von Ethanol aus Zucker und Stärke
- Pyrolyse und Vergasung
- Gewinnung von Wasserstoff

Für die vorliegende Arbeit sind aufgrund der oben erwähnten technischen Einschränkungen und der Ausklammerung des Verkehrssektors nur die ersten beiden Ziele und diesen zugrundeliegenden Biomassefraktionen relevant.

Bezüglich der Nutzung von Biomasse zur Stromgewinnung sind drei wesentliche Punkte zu beachten:

- der Anbau und die energetisch verwertbaren Eigenschaften der Biomasse
- die Bereitstellung (Aufbereitung, Lagerung und der Transport) der Biomasse
- die zur Verfügung stehende Anlagentechnik, die eingesetzt werden kann.

Derzeit wird nahezu ausschließlich feste Biomasse zur Stromgewinnung genutzt. Diese lässt sich wie die Grafik in Abbildung 5 zeigt, hinsichtlich ihrer Wertschöpfungs- und Nutzungskette

- in Rest- und Abfallstoffe
- bzw. speziell angebaute Energiepflanzen

einteilen, die ihrerseits wieder in halm- und holzartige Biomasse unterteilt werden können.

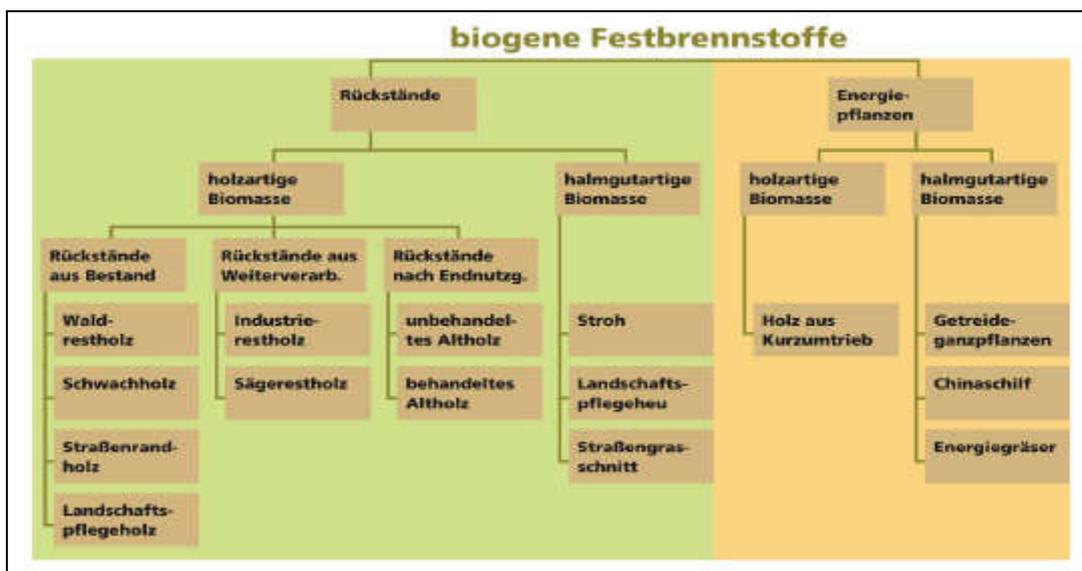


Abb. 5: Unterteilung biogener Festbrennstoffe (nach IER 1998 verändert)

Generell zeichnen sich biogene Festbrennstoffe durch einen geringeren Energiegehalt im Vergleich zu fossilen Brennstoffen aus. Sie werden durch eine Anzahl unterschiedlicher Brennstoffeigenschaften cha-

rakterisiert, die wiederum Einfluss auf die einzusetzende Technik ausüben. Außerdem müssen unterschiedliche Anforderungen bei der Verbrennung beachtet werden.

Für den **Einsatz von Festbrennstoffen in Dampfkraftprozessen** wird derzeit in erster Linie holzartige Biomasse verwendet. Die Techniken zur Holzverbrennung sind weitgehend ausgereift. Aufgrund der vorhandenen Potenziale und der damit verbundenen Wirtschaftlichkeit kommen in erster Linie Althölzer, Waldrestholz und Nebenprodukte der Holzverarbeitenden Industrie bei der Stromerzeugung zum Einsatz.

Andere Stromerzeugungstechniken aus festen Biomassen befinden sich vielfach noch im Entwicklungsstadium. Insbesondere die Verwertung von Brennstoffen, wie Stroh, Schilf oder Getreide steht noch am Anfang. Diese halmgutartigen Festbrennstoffe unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht von den holzartigen Brennstoffen, weniger bzgl. des Heizwertes (um ca. 9 % geringer), als vielmehr im Hinblick auf kritische Inhaltsstoffe (HARTMANN 2001). Derzeit werden lediglich zwei größere Strohheizwerke in Deutschland betrieben. (Schkölen/Thüringen mit 3,15 MW thermischer Leistung und Jena mit 1,7 MW thermischer Leistung) (THRÄN & KALTSCHMITT 2001). Wegen der ungünstigen verbrennungstechnischen Eigenschaften und der hohen Brennstoffkosten wird Stroh als alleiniger Brennstoff zur Verstromung im Zwischenbericht "Monitoring zur Biomasseverordnung" (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2002) als nicht realistisch angesehen. Andere halmgutartige Biomassen, wie z.B. Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*) oder Getreideganzpflanzen können in ähnlichen Anlagentechniken wie Strohfeuerungsanlagen genutzt werden. Auch bei diesen Fraktionen wird auf ungünstige verbrennungstechnische Eigenschaften und kritische Schadstoffemissionen verwiesen.

Der Stand der Technik bei der Strohverbrennung wird im Wesentlichen durch dänische und österreichische Hersteller repräsentiert. Es gibt in Dänemark mehrere Kraftwerke, die mit Stroh befeuert werden (9 Anlagen), ein weiteres in Großbritannien und eines in Spanien mit einer Gesamtleistung von 144 MW<sub>el</sub> (THRÄN & KALTSCHMITT 2001), (VETTER & HERING 2001).

Auch wenn die Stromerzeugung durch Biogasanlagen im Vergleich zur Holzverbrennung derzeit relativ unbedeutend ist, besitzt sie insbesondere nach der Neuregelung des EEG (2004) ein großes Potenzial. Für die **Stromerzeugung durch Biogasanlagen** können folgende Substrate eingesetzt werden (WEILAND 2000):

- Landwirtschaftliche Abfallstoffe: Schweinegülle, Rindermist, Festmist
- Außerlandwirtschaftliche Abfallstoffe: Industrielle Abfälle, Gewerbliche Abfälle,
- Kommunale Abfälle
- Landwirtschaftliche Rohstoffe: Futterrüben, Silomais, Getreide, Grünpflanzen

Als Basissubstrate werden, mit regionalen Abweichungen, hauptsächlich Rinder- und Schweinegülle als auch Festmist eingesetzt. Nachwachsende Rohstoffe sind als Kofermentate in landwirtschaftlichen Biogasanlagen immer mehr in den Vordergrund gerückt. In über 93 % der Anlagen werden Kosubstrate mitvergoren, dabei stehen nachwachsende Rohstoffe wie Futterrüben und Körnermais an erster Stelle. Die zugeführte Menge an Kosubstraten schwankt je nach Anlage zwischen 20 und 50 % (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2002). Sie bergen geringere Risiken als außerlandwirtschaftliche Abfallstoffe und können auf Stilllegungsflächen angebaut werden. In Betrieben mit Viehhaltung steht die notwendige

Ausstattung zur Ernte und Lagerung in der Regel zur Verfügung. Bislang liegt der Schwerpunkt in dieser Richtung beim Mais, teilweise wird auch Gras eingesetzt.

In jüngster Zeit wird auch der Gehaltsrübe verstärkt Beachtung geschenkt. Die Nutzung von weiteren Kulturen, die in Biogasanlagen eingesetzt werden können, ist vor allem abhängig von der energetischen Ausbeute, die sich bei der Nutzung in Biogasanlagen ergibt, gleichzeitig müssen der Anbau, die Lagerung und die Aufbereitung finanziell wirtschaftlich sein (SCHATTNER & GRONAUER 2000). Abbildung 6 veranschaulicht die Gaserträge unterschiedlicher Substrate.

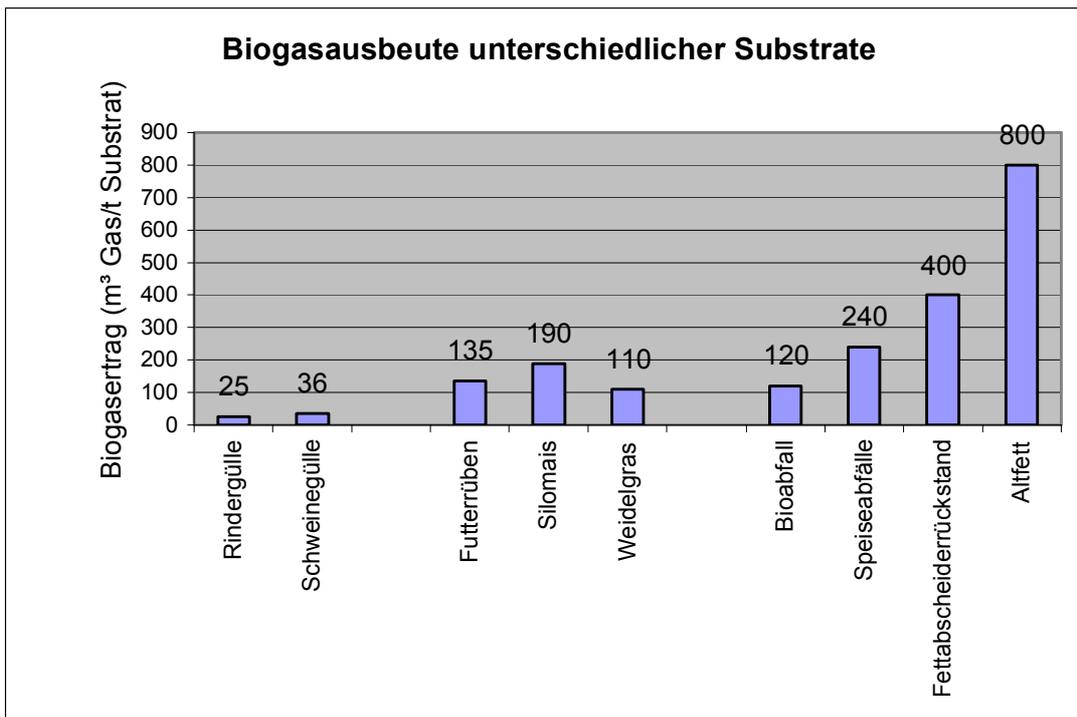


Abb. 6: Biogasausbeute unterschiedlicher Substrate (in Anlehnung an WEILAND 2000)

Aus der Abbildung wird deutlich, dass der Gasertrag der landwirtschaftlichen Rohstoffe wesentlich höher liegt als im Vergleich zu Flüssigmist. Durch die Mitvergärung dieser Rohstoffe wird die Gasproduktivität von Biogasanlagen wesentlich gesteigert. In Kapitel 3 wird ausführlich auf die Vergärung einzelner Substrate eingegangen.

Für die **Stromerzeugung aus Ölpflanzen** ist derzeit ausschließlich Raps von Bedeutung, andere Pflanzen werden für eine energetische Nutzung nicht angebaut (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2002).

#### 2.4.1 Nutzung von Reststoffen

Ein relativ großes Potenzial für Verbrennungsprozesse (Dampfkraftprozess) ergibt sich aus der Nutzung von Rückständen holzartiger und halmgutartiger Biomasse. Zum großen Teil handelt es sich dabei um Reststoffe aus der Forst- und Landwirtschaft, der Holzverarbeitenden Industrie sowie dem Landschaftspflegebereich. Dabei können folgende Stoffquellen unterschieden werden:

##### **Forstwirtschaftliche Resthölzer**

In der Forstwirtschaft findet eine geregelte Bestandspflege statt; für die stoffliche Nutzung in der Industrie wird hochwertiges Stammholz, z. B. als Bau- und Möbelholz produziert. Holz, das nicht in der Holzindustrie oder anderen Holzverarbeitenden Betrieben Verwendung findet, wird in der Regel bis zum Ver-

kauf gelagert. Sollte dieses Marktsegment abgedeckt sein, so kommt eine energetische Nutzung in Frage. Auch holzartige Rückstände und Nebenprodukte, die bei der Waldbewirtschaftung anfallen, können energetisch genutzt werden. Wobei zwischen dem bei der Durchforstung anfallenden Schwachholz und dem eigentlichen Waldrestholz, das bei der Stammholz- bzw. Derbholzproduktion anfällt, unterschieden wird (Abb. 7). Durchforstungsmaßnahmen müssen im Rahmen der üblichen Waldbewirtschaftung durchgeführt werden, um letztlich hochwertiges Stammholz zu produzieren. Mit abnehmendem Stammumfang steigt der Zeitaufwand für Aufarbeitung und Rücken des Holzes. Bei der Erstdurchforstung ist daher die kritische Grenze im Brusthöhendurchmesser für eine lohnende Aufarbeitung des eingeschlagenen Holzes oft noch nicht erreicht. Es handelt sich dann um so genanntes Schwachholz, das auch energetisch genutzt werden kann.

Rückstände bei der Stammholzgewinnung sind vor allem Reisholz und Kronenderbholz. Unter Reisholz wird sämtliche Astmasse mit einem Durchmesser (inkl. Rinde) von weniger als 7 cm verstanden. Kronenderbholz, aus der Krone des Baumes, liegt größtmäßig zwischen der Derbholzgrenze von 7 cm und der Aufarbeitungsgrenze von 12 bis 15 cm. Wenn nach der Ernte neu angepflanzt wird, werden das Kronenderb- und Reisholz zuvor meist beseitigt, als Mulch genutzt, eingefräst oder für so genannte Selbsterwerber (Privatpersonen) aufgearbeitet, die das Holz selbst abtransportieren und aufbereiten. Das übrige Waldrestholz, Feinreisig, aber auch Laub und Fruchtstände, sollte energetisch nicht verwertet werden, da es zur Erhaltung des Humus- und Nährstoffkreislaufs im Wald beiträgt. Dies gilt auch für Stock- und Wurzelholz, dessen Entnahme ökologisch nicht zu vertreten ist (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001.).

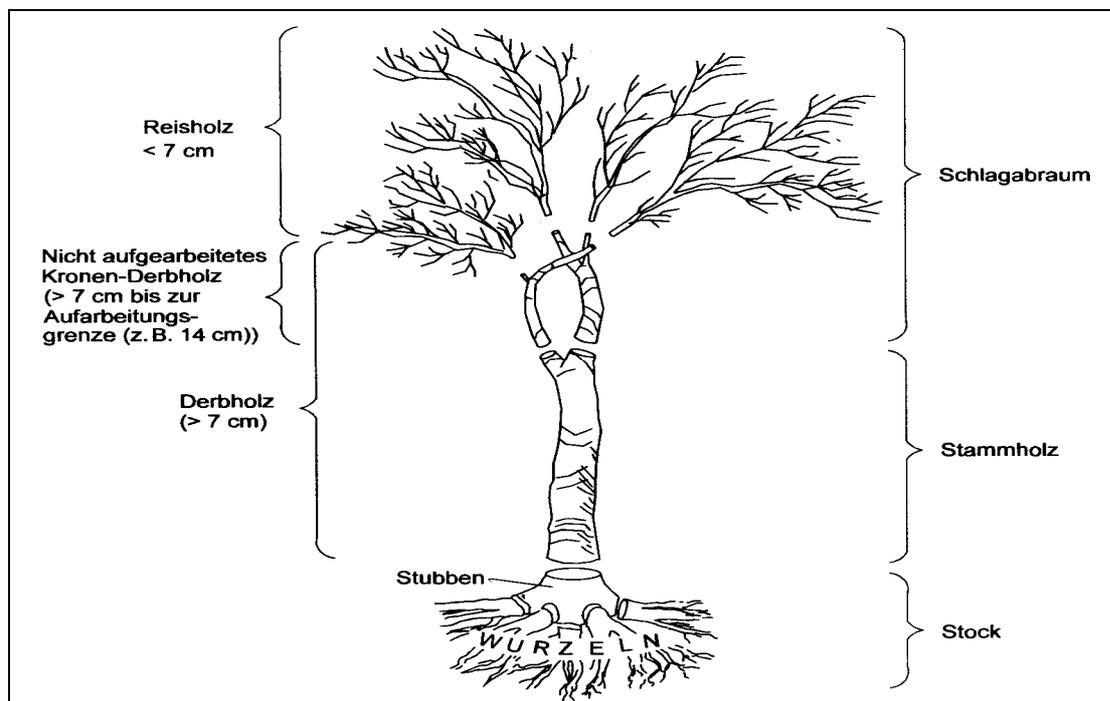


Abb. 7: Unterschiedliche Holzanteile eines Baumes (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001 770S.)

### ***Säge- und Verarbeitungsrestholz***

Das bei der Waldpflege anfallende Derbholz wird überwiegend an Sägewerke verkauft. Aus technischen Gründen werden Laubbäume erst im Sägewerk entrindet, um eine Trockenrissbildung des Holzes zu vermeiden. Bei der Aufbereitung bleiben Holzstücke, wie in Abb. 8 zu sehen, als Kappholz, Spreißel und

Schwarte – mit und ohne Rinde – zurück. Rindenlose Holzrückstände werden häufig an die Papierindustrie, andere Holzreste zum Teil an die Zellstoff- und Spanplattenindustrie verkauft. Bei der Sekundärverarbeitung in Tischlereien, Holzbau-, Fenster- und Parkettfirmen fallen auch Stückhölzer, Hobelspäne und Sägemehl an. Es handelt sich dabei um qualitativ hochwertiges Holz, da es bei der Verarbeitung einen relativ niedrigen Wassergehalt von ca. 20 % hat. Wenn Säge- und Verarbeitungsresthölzer keiner stofflichen Nutzung unterliegen, ist eine energetische möglich. (FORSTABSATZFONDS 1998).

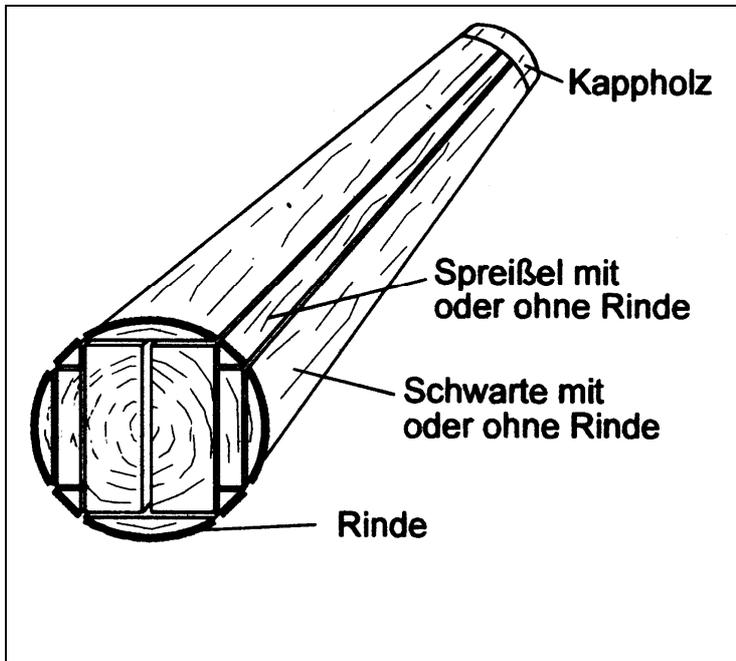


Abb. 8: Sägerestholzanfall bei der Holzbearbeitung (HARTMANN & MADECKER 1997)

### ***Landschaftspflegeholz***

Eine weitere Quelle für Energieholz ist Landschaftspflegeholz, das im Garten- und Landschaftsbau, bei sonstigen landschaftspflegerischen Maßnahmen sowie bei Pflegearbeiten im Naturschutz anfällt. Das Material stammt von Randstreifen entlang von Verkehrswegen (Straßen, Schienen, Kanälen), Ufern und Feldrändern, aus Parks und anderen Grünanlagen. Besonders bei Randbäumen und Hecken, die regelmäßig auf den Stock gesetzt (zurückgeschnitten) werden, gibt es Anteile, die energetisch genutzt werden können.

Den Kommunen und Landkreisen obliegt laut Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) die Abfallentsorgung. Da nach § 5 dieses Gesetzes der Verwertung gegenüber der Beseitigung Vorrang einzuräumen ist, wurden in den letzten zehn Jahren viele Kommunen mit Kompostieranlagen u.ä. ausgestattet. Der Markt für Kompostprodukte ist zurzeit zum Teil gesättigt, so dass diese Stoffe energetisch genutzt werden könnten.

### ***Altholz***

Altholz oder Recyclingholz ist Holz, das bereits anderweitig genutzt wurde, und wird laut Abfallgesetz zwar als Altholz bezeichnet, aber als Abfall definiert. Falls Altholz stofflich verwertet werden kann, wie z.B. für den Möbelbau, so ist diese höherwertige Nutzung einer energetischen vorzuziehen. Entsprechendes Holz, das etwa für Obstkisten oder andere Verpackungsarten verwendet wurde, kann, sofern es unbehandelt ist, als Festbrennstoff genutzt werden. Wenn aufgrund von Qualitätssicherungsmaßnahmen und Kontrollen eine Kontamination nicht ausgeschlossen werden kann, ist das Holz als Sonderbrennstoff nach der 17. BImSchV zu behandeln.

Behandelte und mit Schadstoffen belastete Hölzer dürfen nicht uneingeschränkt verwertet werden. Für die stoffliche Nutzung muss belastetes Altholz zuvor aufwändig in seine organischen und synthetischen Bestandteile getrennt werden. Holz von Baustellen, aus Haushalten oder in Form von Verpackungsmaterial ist zwar meist unbehandelt, aber häufig im Verbund mit Glas, Kunststoff oder Metall. Vor der energetischen Verwertung müssen also auch hier die unterschiedlichen Materialien getrennt werden. Bei den nicht trennbaren Bestandteilen handelt es sich wiederum um behandeltes Holz. Die Unterscheidung zwischen behandeltem und unbehandeltem Holz ist noch schwierig, da allseits praktikable Prüfsysteme wie, z.B. Deklarationsbögen, fehlen (BALKOVA et al. 1998).

Daher hat der Gesetzgeber eine Verordnung über die Entsorgung von Altholz (AltholzV) verabschiedet, die am 1. März 2003 in Kraft getreten ist. Die unterschiedlichen Gebraucht- bzw. Althölzer werden in Kategorien eingeteilt; unter die Altholzkategorie A I fällt beispielsweise naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde (vgl. Kapitel 4.7.3).

### ***Landwirtschaftliches Halmrestgut***

In der Landwirtschaft werden hauptsächlich Nahrungs- und Futtermittel produziert. Das Ertragspotenzial hängt stark vom Standort, der Nährstoffversorgung und den jeweiligen Witterungsumständen ab. Ernten, die nicht wirtschaftlich abgesetzt werden können (Noternten), landwirtschaftliche Rückstände und Überschüsse sowie Nebenprodukte könnten als Bioenergieträger genutzt werden. Grünschnitt fällt bei so genanntem „überschüssigem“ Grünland an, wenn kleinere Flächen dauerhaft oder periodisch nicht mehr durch Schnitt oder Beweidung genutzt werden. In Folge der Sukzession entsteht eine Verbuschung, die vielfach, auch aus Gründen des Naturschutzes, nicht wünschenswert ist, so dass eine energetische Verwertung des Mähgutes nahe liegt.

Ebenso wie Grünschnittgut gehört Getreidestroh zu den Reststoffen, die jährlich anfallen und nicht wie andere nachwachsende Rohstoffe bzw. Energiepflanzen gezielt angebaut werden. Neben Stroh fallen bei der Getreideproduktion Getreidekörner an, die sich ebenfalls für eine energetische Verwertung eignen, es sei denn, sie werden als Nahrungs- und Futtermittel oder im Fall von Stroh als Einstreu bzw. zur Auflockerung der Ackerkrume genutzt (BRENNDÖRFER 1994).

Der Heizwert des Strohs variiert in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt und beträgt bei einem Feuchtegehalt von < 20 Prozent 3,8 – 4,1 kWh/kg oder 13,9 – 14,6 MJ/kg (KALTSCHMITT 1994). Für eine überschlägige Berechnung kann ein durchschnittlicher Heizwert von 4 kWh/kg = 14,4 MJ/kg angenommen werden.

Bei den Reststoffen aus der landwirtschaftlichen Produktion, die als Rückstände einer energetischen Nutzung zur Verfügung gestellt werden, handelt es sich vielfach um gedüngte Pflanzen. Bei der Verbrennung dieser belasteten Stoffe kann es deshalb zu erhöhten Emissionen mit Stickstoff und Chlorverbindungen kommen.

### ***Landschaftspflege-Halmschnittgut***

Bei der Pflege von Parks, Friedhöfen, Straßenböschungen oder sonstigen landschaftspflegerischen Maßnahmen, wie auch bei Arbeiten im Naturschutz fällt Grünschnittgut in Form von Gras und Wildkräutern an. Für die Abfallentsorgung sind laut dem Kreislaufwirtschafts- Abfallgesetz die Kommunen und Landkreise zuständig. Ein Großteil des Schnittguts wird in Kompostierungen oder auf Verwertungshöfen ge-

nutzt. Es ist zu prüfen, ob anteilig Grünschnitt zur energetischen Nutzung verwendet werden kann, wenn der Kompostmarkt gesättigt ist.

#### 2.4.2 Nutzung von Energiepflanzen

Neben den beschriebenen holz- und halmgutartigen Reststoffen lassen sich auch speziell angebaute Energiepflanzen zur Stromerzeugung nutzen. Energiepflanzen werden entsprechend ihrer energetischen Nutzungsmöglichkeiten in Lignocellulosepflanzen und in Öl-, bzw. Zucker- oder Stärkepflanzen unterteilt. Erstere dienen als Ganzpflanzen in der Festbrennstoffbereitstellung, bei letzteren ist die energetische Nutzung erst nach technischer Gewinnung von Öl bzw. Ethanol aus bestimmten Pflanzenteilen möglich (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001). Allgemein kann gesagt werden, dass es beim Anbau von Energiepflanzen auf hohe Hektarerträge an verwertbarer Biomasse ankommt. Im Folgenden werden diejenigen Arten näher vorgestellt, die hinsichtlich ihrer energetischen Nutzung als viel versprechend angesehen werden können (FNR 2000). In Kapitel 2 und 3 werden die zum Einsatz kommenden Fraktionen, in Abhängigkeit von der jeweiligen Technologie näher erläutert.

##### *Spezielle Energiepflanzenproduktion zum Einsatz in Dampfkraftprozessen*

Die folgenden Fraktionen können zur Verbrennung für Dampfkraftprozesse genutzt werden:

Schnellwachsende Baumarten, also **holzartige Biomasse**, die auf so genannten Kurzumtriebsplantagen angebaut werden, sind hauptsächlich die beiden Gattungen *Populus* (Pappel) und *Salix* (Weide), die zur Familie der *Saliaceae* (Weidengewächse) zählen.

In Kurzumtriebsplantagen werden hauptsächlich Klone der Korbweide (*Salix viminalis*) und der Filzast-Weide (*Salix dasyclados*) eingesetzt. Außerdem sind einige Varietäten der Balsampappel (*Populus balsamifera*), deren Klone und Hybride für die energetische Verwendung besonders geeignet (LINDEN 1998). Ein kommerzieller Anbau hat sich jedoch bisher auf Grund fehlender Wirtschaftlichkeit in Deutschland nicht etablieren können.

Beim Einsatz von Kurzumtriebsholz kann die gleiche Anlagentechnik genutzt werden, die auch für die bislang übliche Verstromung holzartiger Biomasse aus Alt- und Resthölzern genutzt wird. Der Anbau von Weiden und Pappeln und deren Nutzung in gängigen Anlagen ist dementsprechend risikolos im Sinne von gängigem, effizientem Technologieeinsatz.

**Lignocellulosepflanzen** dienen als Ganzpflanzen der Festbrennstoffbereitstellung. Ein wesentlicher Anteil der zur Verbrennung nutzbaren Biomasse dieser Pflanzen besteht aus unterschiedlichen Anteilen an Cellulose, Lignin und Hemicellulose.

Lignocellulosepflanzen können bei einer Bodenpunktzahl ab 30 (von 100 möglichen) angebaut werden und benötigen ausreichende Wasserversorgung. Voraussetzung für hohe Biomasseerträge ist eine hohe Durchwurzelbarkeit des Bodens. Sie vertragen auch feucht-kühle Witterung. Weiden weisen ein genetisch höheres Ertragspotenzial auf, Pappeln besitzen jedoch die Fähigkeit auch unter ungünstigeren Bedingungen (flachgründiger Boden oder geringere Wasserversorgung) verhältnismäßig hohe Erträge zu liefern. Erzielbare Erträge werden maßgeblich von der Wasserversorgung beeinflusst, d.h. den Niederschlägen, der Wasserhaltekapazität (Feldkapazität) und der Durchwurzelbarkeit des Bodens zur Nutzung von Wasser aus tieferen Schichten (mindestens 60 cm Durchwurzelungstiefe).

Bei der Sortenwahl ist das Massebildungsvermögen, die Resistenz gegen Gallmücken und Blattrost sowie die Anfälligkeit für Wildverbiss und Frostverträglichkeit zu beachten. Durch Sortenmischungen kann die Resistenz des Gesamtbestandes verbessert und die Ertragssicherheit erhöht werden.

Verschiedene **Halmgüter** können theoretisch zur Verbrennung in Dampfkraftstoffen eingesetzt werden, jedoch liegen bislang wenig Erfahrungen vor. Dies liegt zum einen an der Anlagentechnologie, bei der noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf festgestellt wurde, als auch an den wenig bekannten Verbrennungseigenschaften. So müssten bspw. neue, Brennstoff zuführende Feuerungstechniken entwickelt werden, da die kontinuierliche Förderung von halmgutartiger, in Ballenform vorliegender Biomasse vergleichsweise schwierig ist (SCHÜTTE 2001). Generell ist bei halmgutartigen, biogenen Energieträgern die Form der Biomasse ein wesentliches Qualitätskriterium. Den Idealfall stellen Pellets dar (VETTER 2001). Die Aufbereitungsformen und Verbrennungseigenschaften werden ausführlicher in Kapitel 3.4 beschrieben.

Zur energetischen Nutzung kommen derzeit folgende Arten in Frage:

- Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*) gehört zur Familie der Süßgräser. Es handelt sich um ein mehrjähriges Gras aus dem ostasiatischen Raum. Grundsätzlich kann Chinaschilf ebenfalls in Anlagen mit Dampfkraftprozessen zur Verstromung genutzt werden, derzeit gibt es aber keine Anlagen, in denen Chinaschilf zum Einsatz kommt. Auf etwa 70 - 100 ha Versuchsfläche wird Chinaschilf derzeit in Deutschland angebaut. Das Hauptproblem ergibt sich aus der Zwischenlagerung, da im Gegensatz zu Stroh eine Ballenbindung nicht möglich ist
- Rutenhirse (*Panicum virgatum L.*), Sorten "Kanlo" und "Cave-in-Rock" (auch in Deutschland ertragreich)
- Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*)

#### *Futtergräser*

- Weidelgras (*Lolium perenne, Lolium multiflorum*)
- Knaulgras (*Dactylis glomerata*)
- Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*)
- Rohrschwengel (*Festuca arundinacea*)

#### *Getreideganzpflanzen*

Aufgrund des hohen Gesamtpflanzenenertrags eignen sich besonders die folgenden Getreidearten zur Biomasseproduktion:

- Weizen (*Triticum aestivum*)
- Roggen (*Secale cereale*)
- Triticale (*Triticosecale Wittmack*)

*Biomassefraktionen, die sich zum Einsatz in ölbetriebenen Verbrennungsmotoren eignen:*

- Raps (*Brassica napus*)

*Biomassefraktionen, die in Biogasanlagen eingesetzt werden:*

- Futterrüben
- Gehaltsrübe oder Zucker-Futterrübe. Sorten: Himalaya, Tintin, Nestor, Everest, (RAAB 2003)
- Mais (*Zea mays*)
- Weidelgras (*Lolium perenne*)

Mit diesen Arten können hohe Masseerträge erreicht werden, gleichzeitig lassen sie sich durch Silierung haltbar machen. Sie sind also ganzjährig verfügbar. Die meisten Erfahrungen bestehen derzeit mit Einsatz von Silomais. Für andere nachwachsende Rohstoffe liegen bislang wenig Erkenntnisse aus der Praxis vor.

Weitere mögliche Energiepflanzen in Biogasanlagen sind:

- Raps (*Brassica napus*)
- Ölrettich (*Raphanus sativus*)
- Klee (*Trifolium*-Arten)
- Luzerne (*Medicago sativa*)
- Getreide
- Kartoffel (*Solanum tuberosum*)
- Topinambur (*Helianthus tuberosus*)
- Lupine (*Lupinus*-Arten)
- Erbsen/Bohnen
- Sonnenblumen (*Helianthus annuus*)
- Kürbis (*Cucurbita pepo*)
- Sudangras (*Sorghum sudanense*)
- Hanf (*Cannabis sativa*)
- Zuckerhirse (*Sorghum saccharatum*)

### ***Auflagen für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen zur Biogasgewinnung***

Zum Anbau von Pflanzen zur Energiegewinnung können auch Stilllegungsflächen genutzt werden. Allerdings ist der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen für die Landwirte mit mehreren Auflagen verbunden. Die zuständige Stelle für die Überwachung des ordnungsgemäßen Anbaus auf Stilllegungsflächen ist das Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in Frankfurt am Main. In den Merkblättern des BLE finden sich maßgebliche Hinweise auf die Erfüllung dieser Auflagen.

Im Folgenden wird ein Teil dieser Auflagen aufgelistet, um einen Einblick in den Arbeitsaufwand zu geben.

- Zu festgesetzten Stichtagen muss der Landwirt dem BLE eine Anbauerklärung vorlegen.
- Es muss eine für die betreffende Region festgesetzter Mindestertrag bei der Ernte erreicht werden. Ist dies nicht der Fall muss die entsprechende Fehlmenge zugekauft werden und im gleichen Silo eingelagert werden. In Ausnahmefällen werden Minderlieferungen von 10 % akzeptiert.
- Die Einlagerung hat für jede einzelne Anbauerklärung in einem gesonderten Silo zu erfolgen. Die Menge wird durch eine volumetrische Messung ermittelt. Die Erzeugnisse werden mit Gülle oder Festmist denaturiert.
- Die Einlagerung, Denaturierung und Mengenfeststellung muss in Anwesenheit einer fachkundigen Person durchgeführt werden. Dies ist verpflichtend und die Kosten sind vom Landwirt zu tragen.

- Der Beginn der Ernte ist der zuständigen Landesstelle mindestens drei Tage im voraus anzuzeigen.
- Eine Einlagerungsmittelung, welche die durch volumetrische Messung festgestellte Erntemenge enthält, ist bis zum 15.09 der BLE vorzulegen.
- Das erste Öffnen der Silos ist der zuständigen Außenstelle der BLE mindestens drei Tage im voraus anzuzeigen.

Werden diese Punkte nicht beachtet, droht der Verlust der Stilllegungsprämie, bzw. der Verfall der hinterlegten Sicherheit. Einen erheblichen Kostenfaktor stellt die fachkundige Person dar, die vor Beginn der Silierung bis zum Schluss anwesend sein muss. Für sie muss ein Betrag von 100 €/ha einkalkuliert werden (BRETTSCHUH 2000).

## 2.5 Fazit

Der Biomassenutzung kommt in Deutschland ein erhebliches Ausbaupotenzial zu. Der bisherige Schwerpunkt lag jedoch auf der Wärmenutzung. In den nächsten Jahren ist durch die neue Vergütungsregelung des EEG (2004) jedoch mit einem bedeutenden Ausbau der Biomassenutzung auch im Strombereich zu rechnen. So wird bis zum Ende des Jahres 2004 mit einer installierten elektrischen Leistung von ca. 600 MW (280 MW Ende 2001) ausgegangen, derzeit sind etwa 457 MW installiert (STAIB 2003).

Dabei kommen im Wesentlichen zwei Techniken zum Tragen: Zum einen handelt es sich um die Nutzung von biogenen Festbrennstoffen, die im Rahmen von technisch ausgereiften Dampfkraftprozessen verstromt werden, zum anderen um die Vergärung von Biomasse in Biogasanlagen. Der Zubau von Verbrennungsanlagen (Dampfkraftprozesse) wird maßgeblich bei den Anlagen im größeren Leistungsbereich gesehen (15 – 20 MW<sub>el</sub>). Der Brennstoffbedarf für diese in erster Linie mit Altholz betriebenen Anlagen wird mit 120.000 bis 180.000 t/a angegeben. Zum Einsatz können etwa 34 % des technischen Erzeugungspotenzials an Alt- und Industrieholz genutzt werden.

Bei der Biogasnutzung liegt das größte Potenzial hingegen im Leistungsbereich bis 70 kW<sub>el</sub>. Eine weitere Anzahl von Techniken, mittels derer Biomasse zur Stromerzeugung genutzt werden kann, wie z.B. der Stirlingmotor oder Vergasungstechniken, befinden sich noch in der Entwicklungsphase.

Die technischen Möglichkeiten der Stromerzeugung durch Rapsöl oder Rapsölmethylester werden in den nächsten Jahren aufgrund der hohen Kosten vermutlich kaum zur Anwendung kommen. Die Bedeutung von Rapsöl oder RME wird in Zukunft eher im Verkehrsbereich und bei der stofflichen Nutzung liegen.

Für den Einsatz in Biogasanlagen kann ein breites Spektrum an Pflanzen aus dem landwirtschaftlichen Bereich zum Einsatz kommen. Bezüglich des Einsatzes von Biomassefraktionen zur Erzeugung von Strom durch Dampfkraftprozesse kann vor allem von der Nutzung holzartiger Biomasse ausgegangen werden. Zwar wird diesbezüglich auch ein breites Spektrum an halmgutartigen Fraktionen aus dem landwirtschaftlichen Bereich (sowohl speziell angebaute als auch Reststoffe wie Stroh) untersucht, im Vergleich mit Holzbrennstoffen weisen sie jedoch sehr viel ungünstigere verbrennungstechnische Eigenschaften auf.

### **3 Darstellung der am Markt verfügbaren Techniken zur Biogaserzeugung**

Im Folgenden werden die Technologien zur Verstromung von Biomasse erläutert. Dabei erfolgt eine Konzentration auf die markttechnisch ausgereiften, gängigen Verfahren. Dies umfasst zum einen die Stromerzeugung mittels Biogasanlagen, vor allem im landwirtschaftlichen Bereich, da hier der Schwerpunkt der zukünftigen Entwicklung liegen wird, aber auch die Erzeugung von Biogas im gewerblichen und kommunalen Bereich soll erwähnt werden.

Von besonderem Interesse ist hierbei der Einsatz von speziell angebauten Energiepflanzen, entweder zur Kofermentation oder zur alleinigen Vergärung. So ist seit 1999 auch der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen zum Einsatz in hofeigenen Biogasanlagen erlaubt. Die Vergärung von Energiepflanzen gewinnt steigende Bedeutung und ist seit In-Kraft-Treten des EEG in Konkurrenz zur Mitverarbeitung von außerlandwirtschaftlichen Abfallstoffen getreten. Der Prozess der Biogaserzeugung aus pflanzlichen Rohstoffen wird ausführlich beschrieben, da er eng mit dem jeweils einzusetzenden Substrat verbunden ist.

Weiterhin wird die Stromerzeugung aus festen Biomassen mittels Dampfkraftprozessen betrachtet. Dabei wird sowohl die Verstromung von holzartigen als auch halmgutartigen Brennstoffen erläutert. Die Techniken zur Verstromung von holzgartiger Biomasse sind weitgehend ausgereift. Halmgutartige Brennstoffe haben aufgrund ihrer ungünstigen Brenneigenschaften und den damit verbundenen hohen technischen Anforderungen an Anlagen zur Luftreinhaltung als auch aufgrund der hohen Bereitstellungskosten im Vergleich mit Altholz bislang keine Bedeutung in der Praxis erlangt. Auch in den nächsten 5 bis 10 Jahren wird keine nennenswerte Perspektive für den Einsatz dieser Brennstoffe in entsprechenden Konversionsanlagen gesehen. Dennoch sollen die Techniken für Halmgüter ebenfalls erläutert werden, da ihr Einsatz nicht ganz ausgeschlossen werden kann.

Weiterhin werden, ausgehend von den jeweiligen Techniken, Anforderungen an die jeweils einzusetzenden Biomassefraktionen formuliert, da diese nicht losgelöst von der Konversionstechnologie betrachtet werden können, in welcher sie eingesetzt werden sollen.

#### **3.1 Biogasverwendung**

In den letzten Jahren hat sich die Biogastechnologie stark weiterentwickelt. Oft wurden die ersten landwirtschaftlichen Biogasanlagen von Landwirten in Eigenbauweise konstruiert. Die gezielte Umwandlung organischen Materials in Methan und Kohlendioxid stellt keine Erfindung der Neuzeit dar, sondern wird schon seit fast 100 Jahren im Bereich der Klärtechnik und seit mehr als 50 Jahren in der Landwirtschaft zur Behandlung von Wirtschaftsdüngern eingesetzt (WEILAND 2000).

Anfang der 90er dominierten noch bäuerliche Kleinanlagen mit weniger als 150 m<sup>3</sup> Reaktorvolumen, die fast nur mit Gülle betrieben wurden, heute existiert ein breites Spektrum an Anlagen (von Kleinanlagen mit weniger als 100 m<sup>3</sup> bis zu Großanlagen mit 7.000 m<sup>3</sup> Reaktorvolumen). Die Kovergärung von gasertragssteigernden Stoffen hat die reine Gülleverwendung stark verdrängt. Nach Schätzungen des Fachverbandes Biogas (DA COSTA GOMEZ 2002) waren 2002 ca. 1.900 landwirtschaftliche Biogasanlagen in Deutschland in Betrieb, wobei sich der Großteil in Bayern und Baden-Württemberg befindet.

Nach entsprechender Aufbereitung kann Biogas, welches einen hochwertigen Energieträger darstellt, sowohl zur Wärme- und Stromerzeugung als auch als Treibstoff genutzt werden. Allerdings sind der

Einsatz von Biogas in Brennstoffzellen als auch die Nutzung als Kraftstoff gegenwärtig noch Gegenstand der Forschung und Entwicklung. Sie erfordern eine weitgehende Gasreinigung und eine Anreicherung von Methan (WEILAND 2000). Daher werden sie in der vorliegenden Untersuchung nicht weiter berücksichtigt. Zwar ist auch ein Einsatz von Biogas in Gasturbinen denkbar, jedoch im kleinen bis mittleren Bereich (bis 5 MW) mit höheren Kosten verbunden und deshalb wenig verbreitet (FICHTER 2002a oder b).

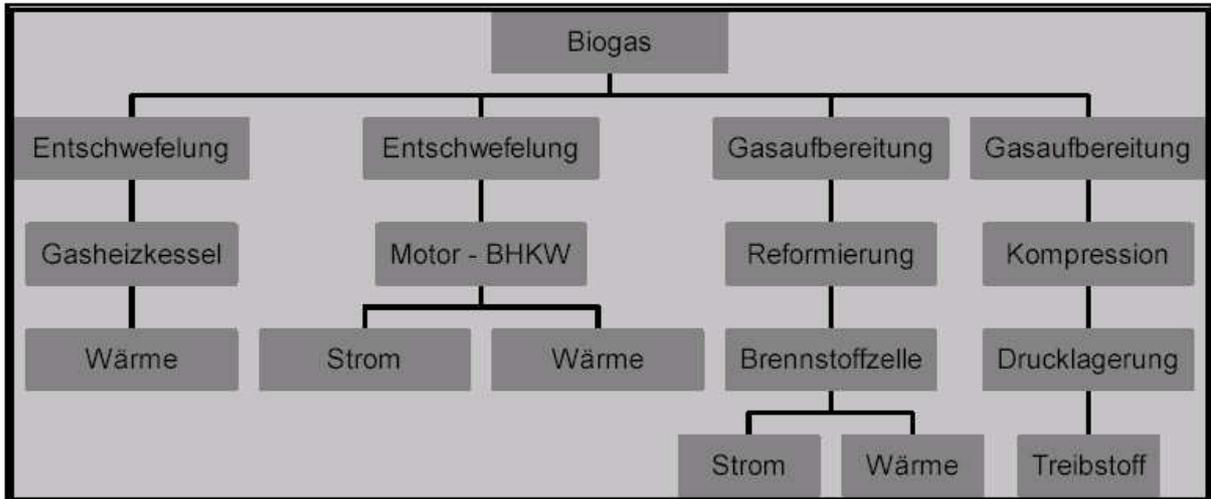


Abb. 9: Verwendungsmöglichkeiten von Biogas (WEILAND 2000)

Die im Folgenden beschriebenen Verwendungsmöglichkeiten beziehen sich auf die Biogasnutzung durch Blockheizkraftwerke (BHKW). Mit einer oder mehreren Verbrennungskraftmaschinen und einem Generator wird das Biogas als Treibstoff zur Stromerzeugung genutzt, gleichzeitig wird die anfallende Wärme ausgekoppelt. Die Erzeugung von Wärme und Strom in einem Prozess wird als Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bezeichnet. BHKW's können durch KWK und den hohen thermodynamischen Wirkungsgrad einen Nutzungsgrad von 90 % erreichen. Durch modularen Aufbau kann ein BHKW in Leistungsbereichen von 5 kW bis ca. 3.000 kW betrieben werden.

Ein erwünschter Nebeneffekt der Vergärung von Gülle in Biogasanlagen ist die "Veredelung" der ausgefaulten Gülle, welche eine Düngewertverbesserung bringt und gleichzeitig die Umwelt geringer durch Geruch und Nitrat belastet. Während des Vergärungsprozesses werden nichtflüchtige und ätzend wirkende organische Säuren abgebaut. Daraus resultiert ein pflanzenverträglicher pH-Wert und ein Abbau von Schleim- und Faserstoffen. Die dünnflüssige Gülle kann durch die Fließwirkung besser in den Boden eindringen, so werden Methan- und Ammoniakverluste weitgehend vermieden und die tatsächliche Düngewirkung wird erhöht. Im Gegensatz zum Wirtschaftsdünger, bei welchem der Stickstoff in mineralischer und organisch gebundener Form vorliegt, ist der Stickstoff der vergorenen Gülle als Ammonium sofort verfügbar (LUCKE 2002).

### 3.2 Betriebsstrukturen von Biogasanlagen

Überwiegend werden landwirtschaftliche Biogasanlagen einzelwirtschaftlich betrieben. Der Vorteil besteht darin, dass bei der Verarbeitung von Gülle und nachwachsenden Rohstoffen der Substrattransport

entfällt und der ausgefaulte Gärrückstand wieder auf den betriebsnahen Flächen ausgebracht werden kann. Die Abwärme, welche bei der Verstromung anfällt, kann zur Beheizung der eigenen Gebäude genutzt werden, wobei jedoch insbesondere in den Sommermonaten nur eine geringe Wärmenutzung möglich ist. In landwirtschaftlichen Biogasanlagen eignet sich der Einsatz von außerlandwirtschaftlichen Kosubstraten weniger, da diese einen erhöhten Störstoffgehalt aufweisen können, seuchenhygienisch bedenklich eingestuft sind oder in verpackter Form vorliegen. Eine professionelle Aufbereitung und Analyse dieser Abfallstoffe wird in der Regel erst bei Großanlagen wirtschaftlich vertretbar.

### ***Biogasgemeinschaftsanlagen***

Einzelanlagen sind nicht für alle Landwirte realisierbar. Vielen fehlt es an Kapital, an zusätzlichen Arbeitskräften, an Platz oder an ausreichender Biomasse. Daher lohnen sich oftmals gemeinschaftlich betriebene Biogasanlagen, die zum einen eine höhere Gasausbeute ermöglichen und zum anderen niedrigere Investitionskosten für die einzelnen Landwirte bedeuten. Diese so genannten Großanlagen sollten mindestens eine Größenordnung von 500 Kilowatt installierter elektrischer Leistung haben (LUCKE 2002).

Großanlagen können als Gemeinschaftsanlagen oder rein gewerblich betrieben werden. Durch entsprechende Verarbeitungskapazitäten ist eine effiziente Aufbereitung und Vergärung möglich. Von Nachteil sind allerdings der erhöhte Transportaufwand, sowie das Ausbringen der Gärrückstände auf betriebsfremden Flächen. Dabei müssen die Vorschriften für das Inverkehrbringen von Sekundärrohstoffdüngern beachtet werden.

In Deutschland gibt es zur Zeit zwei gängige Modelle solcher Biogasgemeinschaftsanlagen. Das Gasverbundsystem und das Gülleverbundsystem (LUCKE 2002), die im Folgenden näher beschrieben werden.

### ***Das Gasverbundsystem***

Die Landwirte verfügen über eigene Biogasanlagen auf ihrem Betrieb. Zur Aufbereitung und Verwertung wird das Gas durch Leitungen zu einer Energiezentrale transportiert. Über Strom- und Nahwärmenetze wird die Endenergie - Strom und Wärme - verteilt.

Dieses System entlastet die einzelnen Landwirte bezüglich der Investitionskosten und der Instandhaltungskosten. Die Nutzungsvarianten der Endenergie erhöhen sich, da die höhere Quantität effizienter eingesetzt werden kann und so z.B. ganze Dörfer mit Nahwärme versorgt werden können.

Der Nachteil dieses Systems besteht in den Mehrkosten für ein Leitungsnetz sowie im erhöhten Verwaltungsaufwand. Zusätzlich müssen die Gemeinschaftsbetreiber Eigentümer einer extra ausgewiesenen Fläche für die Energiezentrale sein.

### ***Das Gülleverbundsystem***

Die Landwirte betreiben bei dieser Variante gemeinsam eine zentrale Biogasanlage. Durch Tankwagen oder Pipelines werden die Substrate zur Anlage gebracht und dort vergoren. Die Energiezentrale ist ebenfalls in die Anlage integriert. Üblicherweise wird die vergorene Gülle durch die Landwirte selber abgeholt und auf ihre landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgebracht.

Der Vorzug dieses Systems liegt vornehmlich in den niedrigen Investitionskosten für die einzelnen Beteiligten. Abgesehen von den Gülletransportkosten entstehen den Landwirten keine eigenen Aufwendungen. Der Standort der Anlage kann so gelegt werden, dass Großverbraucher, Gewerbe- und Wohngebiete als potentielle Energieabnehmer in Betracht kommen. Das gemeinschaftliche Investitionsvolumen ermöglicht

den Einsatz neuester Techniken und der Arbeitsaufwand beschränkt sich auf ein Minimum für den Einzelnen.

Ein Nachteil des Gülleverbundsystems kann sein, dass die Qualität der Mischgülle durch die unterschiedliche Einbringung stark schwanken kann mit entsprechenden Nachteilen beim Vergärungsprozess (s. Kap. 3.4). Außerdem fallen Transportkosten an, die den einzelnen Landwirt je nach Entfernung erheblich belasten können. Das Gülleverbundsystem ist das am häufigsten eingesetzte in Deutschland. Ein derartiges Anlagenkonzept ist auch für den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen denkbar.

### **3.3 Verfahrenstechniken**

Bei der Darstellung der Biogas-Technologie wird der Schwerpunkt auf den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen gelegt. Deren Nutzung im Bereich Biogaserzeugung kann entweder mittels Kofermentation stattfinden, worunter man allgemein die gemeinsame Vergärung von Flüssig- oder Festmist mit anderen Substraten versteht, die aus dem landwirtschaftlichen als auch außerlandwirtschaftlichen Bereich (wie z.B. speziell angebauten Pflanzen oder kommunalen als auch agroindustriellen Abfällen) kommen. Generell kann durch die Kofermentation die Biogausausbeute beträchtlich erhöht werden.

Die Kofermentation bietet Vorteile, da die anfallende Gülle verwertet werden kann, sich der pH-Wert des Substrates in Richtung Neutralpunkt verschiebt und alle für den Abbauprozess notwendigen Bakterien im Güllesubstrat ausreichend zur Verfügung stehen (BRETTSCUH 2000).

Andererseits gibt es vor dem Hintergrund des EEG und der Biomasse Verordnung eine Entwicklung neuer Verfahrenstechniken, bei welcher nachwachsende Rohstoffe auch alleine, ohne Güllezugabe vergoren werden können (auch als Monovergärung bezeichnet). Dabei kommen unter anderem so genannte Trockenfermentationsverfahren zur Anwendung.

Eine Biogasanlage ist eine Anlage, in welcher Biogas erzeugt, gelagert und verwertet wird. Beim derzeitigen Stand der Technik gibt es eine Vielzahl von technischen Umsetzungsmöglichkeiten. In der Regel besteht eine Anlage aus folgenden Komponenten:

- einem System zur Aufbereitung der zum Einsatz kommenden Gärsubstrate
- einem oder mehreren Fermentern mit Gaslager
- einem Gasaufbereitungs- und Reinigungssystem
- der Arbeitsmaschine zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung (Motor-BHKW, Gasturbine)

Das in der Anlage entstehende Biogas ist ein Gasmisch, welches im Wesentlichen aus Methan, aus Kohlendioxid und Spuren von Schwefelwasserstoff besteht. Es wird durch den anaeroben Abbau organischer Substanzen durch Bakterien gebildet. Dabei besteht das Verfahren zur Vergärung aus mehreren Prozessstufen, welche durch unterschiedliche Parameter beeinflusst werden.

Das Herzstück einer Biogasanlage ist der (Methan)-Fermenter. Hier entsteht durch den Abbau der organischen Substanz das Methan. In der Regel besteht er aus einem luftdicht abgeschlossenen Behälter, der sowohl beheizbar als auch isoliert ist. Heute haben sich in der Praxis vor allem zwei typische Bauarten für Fermenter durchgesetzt. Es kann zwischen horizontalen Behältern, bei denen eine vollständige Durchmi-

sung stattfindet und vertikalen Behältern, die nach dem Pfropfenströmprinzip arbeiten, unterschieden werden.

Die wesentlichsten Kenngrößen im Bereich des Fermenters, welche für die Gasbildung verantwortlich sind, stellen die Temperatur, die Verweildauer des Substrates im Fermenter, die Menge und Häufigkeit der Substratzugabe als auch die Art und Häufigkeit der Durchmischung dar. Diese Einflussfaktoren werden im Folgenden kurz erläutert.

### ***Temperatur***

Grundsätzlich gilt: Je höher die Temperatur, desto schneller geht der Abbau der organischen Substanz, damit erhöht sich die tägliche Gasproduktion und umso niedriger ist der Methangehalt. In der Praxis sind drei typische Temperaturbereiche zu unterscheiden:

Psychophiler Bereich: Temperaturen  $< 20\text{ °C}$

Mesophiler Bereich: Temperaturen von  $25 - 35\text{ °C}$

Thermophiler Bereich: Temperaturen über  $45\text{ °C}$

Je höher der Temperaturbereich ist, desto empfindlicher reagieren die Bakterien auf Temperaturschwankungen. Daher werden aus Gründen der Prozessstabilität die meisten Anlagen im mesophilen Bereich betrieben. Bei Anlagen zur Kofermentation ist wegen der hohen verfügbaren Abwärmemengen aus der Kraft-Wärme-Kopplung eine Tendenz zu höheren Fermentertemperaturen (über  $40\text{ °C}$ ) zu beobachten (SCHULZ & EDER 2001).

Die thermophile Betriebsweise bietet sich für die Kovergärung von seuchenhygienischen Abfällen an, da durch die hohen Temperaturen eine bessere Hygienisierung erreicht werden kann.

### ***Verweilzeit***

Die theoretische hydraulische Verweilzeit ergibt sich aus der Division des Behältervolumens durch die täglich zugeführte Substratmenge. Je länger die Verweildauer desto größer ist die Gasausbeute und desto höher ist der Abbaugrad. In den ersten Tagen entsteht ein hoher Gasertrag, der sich aus den leicht abbaubaren Substanzen ergibt. Erst später wird die schwer abbaubare Zellulose angegriffen.

### ***Faulraumbelastung***

Dieser Wert gibt die maximale Menge an organischer Trockensubstanz an, die dem Fermenter zugeführt werden kann. Er ist vor allem vom Temperaturniveau und von der Verweilzeit im Fermenter abhängig. Im mesophilen Bereich liegt die täglich übliche Faulraumbelastung zwischen 2 und 3 kg organische Trockensubstanz (oTS) pro  $\text{m}^3$  ohne dass der Prozess umkippt. Insgesamt kann ein notwendiger Trockenmassegehalt von etwa 5 % bis 15 % als günstig angegeben werden. Dabei stellt der organische Trockenmassegehalt den oberen Grenzwert dar, bei dem das Substrat noch gepumpt, gemischt und gerührt werden kann.

### ***Durchmischung mittels Rührwerken***

Da Gülle und andere vergärbare Substrate sehr zu einer unerwünschten Schichtenbildung neigen, die sich negativ auf den Abbau der organischen Substanz und die Gasproduktion auswirken, ist es notwendig, Rührwerke einzubauen, mit denen das Substrat homogenisiert wird. Dieser Prozess kann sowohl in der Vorgrube als auch im Fermenter stattfinden. Außerdem findet durch den Einsatz von Röhreinrichtungen eine Durchmischung von vergorenem mit frischem Substrat statt, so dass frisches Substrat angeimpft wird. Zusätzlich wird durch das Rühren die Wärmeenergie schneller und gleichmäßiger verteilt. Um diese

Anforderungen zu erfüllen, stehen unterschiedliche Rührsysteme zur Verfügung. Heute dominiert der Einsatz von mechanischen Tauchmotor-Rührwerken. Dabei sind die Rührintervalle unterschiedlich und in erster Linie vom eingesetzten Substrat abhängig. Sie können von 1 mal bis zu 240 mal pro Tag mit einer minimalen Rührdauer von 0,5 Minuten bis zu 40 Minuten im Durchschnitt reichen. Dementsprechend hoch oder niedrig ist der Energieverbrauch für die Durchmischung (BRETTSCHUH 2000).

Der eigentliche **Abbauprozess** durch die Bakterien erfolgt in vier Phasen (u.a. Gruber 2003, Lucke 2002):

*Hydrolyse:* In dieser Phase werden hochmolekulare Stoffe wie Kohlenhydrate, Fette oder Eiweiße aufgespalten. Dabei entstehen Fettsäuren, Aminosäuren und Zucker.

*Versäuerung:* Hier erfolgt der Umbau der oben genannten Zwischenprodukte zu Essig-, Propion- und Buttersäure sowie zu Alkoholen, Aldehyden, Wasserstoff und Kohlendioxid. Außerdem entstehen aus dem Aminosäureabbau Ammoniak und Schwefelwasserstoff.

*Essigsäurebildung:* Die Abbauprodukte werden in dieser Phase in kurzkettige organische Säuren wie Essigsäure und Ameisensäure zerlegt.

*Methanbildung:* Aus den verschiedenen Säuren (Essigsäure, Ameisensäure), Methanol und verschiedenen Methylaminen) wird von den methanogenen Bakterien Methan gebildet.

Grundsätzlich lassen sich die bei der Biogaserzeugung eingesetzten Verfahren unterscheiden nach

- der Konsistenz der einzusetzenden Substrate (Feststoff- oder Flüssig-Verfahren bzw. Trockenfermentation/ Nassvergärung)
- der Art der Beschickung (Batch-, Speicher- oder Durchflussverfahren) und
- ein- oder mehrstufigem Arbeiten unterscheiden (SCHULZ & EDER 2001).

Die jeweilige Wahl des Verfahrens ist sehr stark von den einzelbetrieblichen Voraussetzungen abhängig. Es ist zu beachten, dass die Biogasanlage bestmöglich in den Betrieb integriert wird, so besteht häufig die Möglichkeit bereits vorhandene bauliche Anlagen mit einzubeziehen, so dass die Investitionskosten reduziert werden können (STIEGLER 2000).

Für den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen können Nassvergärungsverfahren eingesetzt werden, bei welchen die Energiepflanzen zusammen mit Gülle vergoren werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit nachwachsende Rohstoffe alleine zu vergären. Dies geschieht ebenfalls über das Nassvergärungsverfahren oder mittels so genannter Trockenfermentationsverfahren. Im Folgenden wird zunächst das allgemein übliche Nassvergärungsverfahren beschrieben.

### 3.3.1 Nassvergärung

Die Biogastechnik im landwirtschaftlichen Bereich hat sich bislang fast ausschließlich auf die Nassvergärung konzentriert, da dieses Verfahren für fließfähige Stoffe wie Gülle optimal ist. In Betrieben mit Viehhaltung bietet sich dieses Verfahren besonders an, da Gülle kostenlos zur Verfügung steht und ein ideales Grundsubstrat zur Vergärung darstellt. Auch bei der Kofermentation nachwachsender Rohstoffe wird das allgemein übliche Nassvergärungsverfahren eingesetzt. Dabei werden Feststoffe mit frischer oder ausgefaulter Gülle oder im Fall einer Monovergärung die entsprechenden Pflanzen mit Wasser angemaischt, so

dass eine pump- und mischfähige Suspension mit maximal 15 % und minimal 10 % Trockensubstanzgehalt entsteht. Die Vorteile der Nassvergärung bestehen in einer guten Durchmischung und Entgasung, außerdem eignet sie sich für Energiepflanzen aller Art (BRETTSCHUH 2000).

Dabei lassen sich kontinuierliche als auch diskontinuierliche Beschickungsarten unterscheiden (Schulz & Eder 2001). Bei den kontinuierlichen Verfahren werden die Behälter permanent gefüllt und entleert, bei den diskontinuierlichen Verfahren wird die Anlage einmalig befüllt und nach Ablauf des Gasbildungsprozesses entleert.

Die meisten Biogasanlagen arbeiten nach dem **kontinuierlichen Verfahren**. Bei diesem Durchflussverfahren ist der Fermenter immer gefüllt. Mittels eines Überlaufes wird bei der Zugabe von frischem Substrat gleichzeitig eine äquivalente Mengen an Substrat aus dem Behälter verdrängt. In einem Endlager wird das ausgefaulte Substrat bis zum Ausbringen gelagert.

Beim Speicherverfahren ist der Fermenter wesentlich größer. Der Fermenter und das Endlager befinden sich in einem Behälter, wodurch die gesamten Investitionskosten niedriger ausfallen können. Während des Betriebes ist mehr Prozessenergie zur Beheizung des Fermenters notwendig, da das Substrat länger im Behälter verweilt, doch kann dadurch die Gärtemperatur niedriger angesetzt werden (STIEGLER 2000).

Den derzeit höchsten Verfahrensstand der Biogastechnik stellen die Durchfluss-Speicheranlagen dar. Bei dieser Kombination von Speicher- und Durchflussverfahren, welches sich in der Praxis aus Emissionsgründen immer mehr durchsetzt, werden ein Durchflussfermenter und ein Speicherfermenter miteinander kombiniert. Der Speicherfermenter dient gleichzeitig als Endlager, ist jedoch meist weder isoliert noch beheizt. Er ist jedoch luftdicht abgeschlossen, so dass noch entstehendes Gas aufgefangen werden kann und nicht in die Umwelt gelangt. Dadurch können unter Umständen die Gasausbeute und somit auch die Wirtschaftlichkeit der Anlage erheblich verbessert werden (STIEGLER 2000).

Beim **diskontinuierlichen Batch-Verfahren** (Batch steht für Ladung, Füllung, Charge) besteht die Anlage aus Vor-, Faul- und Lagerbehälter. Im Gegensatz zu den anderen Nassvergärungsverfahren erfordert das einstufige Batch-Verfahren keine Durchmischung des Substrates während des Vergärungsvorgangs. Der Faulbehälter wird auf einmal gefüllt und die gesamte Ladung fault dann bis zum Ende der gewählten Verweildauer, ohne dass eine Entnahme oder ein Hinzufügen von Substrat erfolgt. Die Gasproduktion setzt nach der Füllung langsam ein, erreicht ein Maximum und nimmt dann wieder ab. Nach der Vergärung wird der Fermenter bis auf einen geringen Satz entleert, welcher zur Animpfung der neuen Ladung dient.

Dieses Verfahren wurde bislang hauptsächlich in Laborversuchen eingesetzt. Da es kaum zu einer Vermischung von altem und neuem Substrat kommt, sind die hygienischen Voraussetzungen optimal (SCHULZ & EDER 2001). Das Batch-Verfahren bietet sich vornehmlich zur Trockenfermentation an. Insgesamt haben sich beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen mesophile kontinuierliche Nassvergärungsverfahren bewährt (RILLING 2001).

### 3.3.2 Trockenfermentation

Die Trockenfermentation dient zur Aufbereitung und Energiegewinnung von festen organischen Stoffen und ist somit besonders für die Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen geeignet. Auch für Biobetriebe, die hauptsächlich mit Festmist arbeiten, stellt dieses Verfahren die optimalere Variante dar. Es befin-

den sich derzeit mehrere Verfahren in der Erprobung, die auch in Kombination mit Anlagen zur Flüssigvergärung (Trocken-Nass-Simultan-Vergärung) untersucht werden.

Das Hauptproblem welches sich bei der alleinigen Vergärung von Pflanzen stellt, ist die Flüssigkeitszufuhr, da die für die Biogasbildung verantwortlichen Bakterien ein feuchtes Milieu bevorzugen. Dieses Problem entfällt bei der Nassvergärung durch die Mischung der Substrate mit Flüssigmist, da Gülle genügend Wasser enthält (BRETTSCHUH 2000).

Bei den Trockenvergärungsverfahren hat sich das Batch-Verfahren bewährt. Bei diesen Systemen findet die Biogasgewinnung in der Reaktionsmasse bei Trockensubstanzgehalten von 20 - 40 % statt, also mit einem geringeren Wassergehalt als bei der Trockenvergärung. Das Rühren oder Umpumpen der zu vergärenden Biomasse, wie es bei Nassvergärungsverfahren üblich ist, entfällt. Die Biomasse wird in einem luftdichten Behälter gelagert und mit einem Impfmateriale versetzt. Die Temperierung und Beimpfung der Biomasse erfolgt über die Rezirkulation des anfallenden Substrates. Dabei perkoliert das Impfmateriale die Reaktionsmasse und wird in einem zusätzlichen Behälter mit einem Wärmetauscher aufgeheizt. Dadurch gelingt es, Biomasse mit einem hohen Trockenmassegehalt zu vergären. Die einzelnen Abbaureaktionen (Hydrolyse, Säure-, Essig- und Methanbildung) laufen in einem Reaktor ab (LUTZ 2001).

Allgemein bestehen die Vorteile der Monovergärung in der hohen spezifischen Gasproduktivität, geringen Geruchsproblemen, der Standortunabhängigkeit und einwandfreier Hygiene. Nachteile stellen das erhöhte Prozessrisiko und der größere verfahrenstechnische Aufwand dar. So kann es bei Übersäuerung oder einem Mangel an Nährstoffen und Spurenelementen, welche bei einer einseitigen Zusammensetzung der Pflanzen auftreten können, zu Prozessstörungen kommen.

### ***Ein- und mehrstufige Verfahren***

Die Versäuerung und Methanisierung laufen bei einstufigen Verfahren in einem Behälter (Fermenter) ab, bei mehrstufigen Verfahren erfolgt die Methanogenese (Methanbildung aus Essigsäure, Kohlendioxid und Wasserstoff) in mehreren Behältern. Bei den landwirtschaftlichen Biogasanlagen herrschen die einstufigen Verfahren vor. Die Vorteile bestehen in der einfacheren Betriebsführung und Verfahrenstechnik als auch in geringeren Investitionskosten. Allerdings können für die entsprechenden Stufen keine Optimalbedingungen geschaffen werden.

Bei der zweistufigen Prozessführung, bei welcher Hydrolyse und Säurebildung getrennt von der Methanbildung stattfindet, besteht der Vorteil in einer höheren Gasausbeute, gleichzeitig sind damit jedoch höhere Investitions- und Betriebskosten verbunden.

Beim Einsatz von silierten Pflanzen findet schon beim Silierungsvorgang eine Hydrolyse mit anschließender Säurebildung statt. So können die Vorteile einer zweistufigen Prozessführung ausgenutzt werden, auch wenn nur das einstufige Verfahren zur Anwendung kommt (BRETTSCHUH 2000).

## **3.4 Inputmaterial**

Für die Biogaserzeugung sind sämtliche Stoffe geeignet, welche anaerob weitgehend abbaubar sind und so wenig Hemm- bzw. Schadstoffe enthalten, dass weder der Gärprozess noch die landwirtschaftliche Verwertung des Gärrückstandes nachteilig beeinflusst werden. Als Grundsubstrate dienen dem Landwirt

zumeist Gülle oder Mist, da diese aufgrund ihrer Nährstoffzusammensetzung, des pH-Wertes und des Gehaltes an Mikroorganismen ein sehr stabiles Grundsubstrat darstellen.

Zusätzlich werden häufig Kosubstrate mit in die Vergärung gegeben, da diese die Gasausbeute erheblich verbessern können. Im Grunde eignen sich dafür alle Arten von Biomasse, deren Hauptkomponenten Kohlenhydrate, Proteine, Fette, Cellulose und Hemicellulose sind (BRETTSCHUH 2000). Der Einfluss dieser Stoffgruppen ist für die Gesamtgaserzeugung und die Höhe des Methangehaltes von entscheidender Bedeutung. Dementsprechend können nach entsprechender Aufbereitung Rüben, Silage, Mais, Gras oder anderes organische Material mit vergoren werden. Zu letzterem zählen unter anderem Reststoffe aus Nahrungsmittel produzierenden Betrieben wie z.B. Treber, Bio-Mülltonne, Speisereste, Fette usw. Lediglich Stoffe mit einem hohen Ligninanteil, wie z.B. Strauchschnitt oder Sägemehl, können von den anaeroben Bakterien nicht abgebaut werden.

Das Mischungsverhältnis unterschiedlicher Inputmaterialien hat Einfluss auf die Prozesssicherheit. Die maßgeblichen technischen Kriterien, welche den Anteil an Zuschlagsstoffen bei der Kofermentation im Fermenter begrenzen, stellen die Pumpfähigkeit des Substratgemisches sowie die hydraulische Beherrschbarkeit im Fermenter dar. Der organische Trockenmassegehalt gibt den oberen Grenzwert an, bei dem das Substrat noch gepumpt, gemischt und gerührt werden kann. Weiterhin ist auf eine möglichst gleichbleibende Menge und Zusammensetzung des Substrates zu achten, da die Bakterien sich bei stark schwankender Zusammensetzung anpassen müssen und dies die Abbauleistung mindert (STIEGLER 2000).

### ***Vorbehandlung des Inputmaterials***

Eine Vorbehandlung des eingesetzten Materials kann sich positiv auf den Energieertrag auswirken. Beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen wie Mais oder Gras wird das Material in der Regel siliert. Dabei wird das wasserhaltige Material (Mais, Gras, kleeartige Futterpflanzen, Ackerbohnen etc.) gehäckselt, in ein Silo gefüllt und luftdicht abgedeckt. So steht das Material das ganze Jahr über in gleichbleibender Qualität zur Verfügung.

Substrate wie Stroh oder Mist sollten vor der Vergärung homogenisiert und zerkleinert werden, um einen gleichmäßigen Abbau der Trockensubstanz zu gewährleisten. Kommt nur Gülle zur Anwendung, so wird diese über eine Vorlagegrube in den Biogas-Reaktor gepumpt.

### ***Eintrag des Inputmaterials***

Beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen in Fermentationsanlagen liegt ein Problem in der Einbringung der Kofermentate in den Fermenter. Bislang bestand die gängige Technik im Mischen des Substrates mit Gülle (Anmaischen) in einer Vorgrube. Die Homogenisierung erfolgte dabei mittels einer Pumpe oder eines Rührwerkes bei größeren Mengen. Das homogenisierte Substrat wird anschließend mit einer weiteren Pumpe dem Fermenter zugeführt. Hierbei muss allerdings die Pumpfähigkeit des Substrates gewährleistet bleiben, das heißt, der TS-Gehalt des Substrates darf 12 % nicht überschreiten. Die Kosten für das Rührwerk, die Wartung und die Kontrolle bildeten in der Vergangenheit erhebliche Nachteile für den Landwirt. Daher wurden in den vergangenen Jahren andere Möglichkeiten zur Einbringung von Feststoffen entwickelt (BRETTSCHUH 2000).

So können Kosubstrate direkt über einen Einspülschacht oder ein Rohr in den Fermenter eingespült werden (SCHULZ & EDER 2001). In neueren Anlagen werden Kosubstrate mittels Eintragungsschnecken oder Presskolbenaggregaten unter Umgehung einer Vorgrube direkt in den Faulraum befördert, dieses Verfahren wird vor allem für feste Stoffe wie Silagen, Gemüseabfälle, Trester o.ä. eingesetzt.

Insgesamt lassen sich die folgenden Systeme unterscheiden (BRETTSCHUH 2000):

- Einspülschacht mit Rohren
- Einspülsystem mit Schacht
- Einbringung mit Förderschnecken
- Einbringung mit Druckkolben

### ***Biogasertrag/Methanertrag einzelner Substrate***

Der Gasertrag gibt die innerhalb der jeweiligen Verweilzeit insgesamt aus dem Substrat gewonnene Gasmenge an. Für die Wirtschaftlichkeit einer Anlage stellt jedoch nicht allein der Biogasertrag insgesamt, sondern insbesondere der Methanertrag die wesentliche Größe dar. Dabei ist eine saubere Unterscheidung zwischen beiden Erträgen wichtig, da nur die Methanausbeute den energetischen Ertrag des Verfahrens widerspiegelt. Bei der Beurteilung einer Anlage sollte also nicht nur der Gasertrag sondern auch der Methangehalt herangezogen werden. Die Qualität des Biogases vor allem aus dem Verhältnis von brennbarem Methan zum "nutzlosen" Kohlendioxid bestimmt. Kohlendioxid verdünnt das Biogas und verursacht bei der Gasspeicherung Kosten (SCHULZ & EDER 2000). Je nach Temperatur und Substratzusammensetzung bzw. Art des Gärbehälters können die Inhaltsstoffe des Gases entsprechend variieren (Tab. 1).

Tab. 1: Minimale und maximale Komponenten der Biogaszusammensetzung (nach LUCKE 2002)

Methan	40-75 %
Kohlendioxid	25-55 %
Wasserdampf	0-10 %
Stickstoff	0-5 %
Sauerstoff	0-2 %
Wasserstoff	0-1 %
Ammoniak	0-1 %
Schwefelwasserstoff	0-1 %

Beim Methananteil sind Spannweiten von 40 % bis 75 % möglich (STEFFEN 2002). Diese großen Spannweiten, die innerhalb einzelner Substrate bezüglich des Methanertrages zu erkennen sind, sind z.T. auf die Inhomogenität von einzelnen Substraten zurückzuführen, zum anderen unterscheiden sich z.B. Rasenschnitte, je nach Herkunft, in ihrer Zusammensetzung und daher auch in ihrem Gasertragspotenzial (STEFFEN 2002).

Häufig beruhen die Ergebnisse zu Biogas- und Methanausbeuten auf Messungen in Faulversuche mit pflanzlichem Material nur unter Laborbedingungen. Dabei ergaben sich bei den meisten pflanzlichen Stoffen mittlere Methanausbeuten zwischen 0,4 und 0,5 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg org. Substanz bzw. 0,6 - 0,9 m<sup>3</sup>Biogas/kg org. Substanz (SCHATTNER & GRONAUER 2000). Bei SCHATTNER & GRONAUER findet sich ebenfalls eine Übersicht zu mittleren Gaserträgen unterschiedliche Substrate und deren Spannweiten.

In der Theorie und der Praxis werden häufig nicht einheitliche Bezugsgrößen für den Ertrag der Biogasanlage an Biogas bzw. Methan herangezogen. Während in der Theorie der Methanertrag auf die Trocken-

substanz (TS), die organische Trockensubstanz (oTS) oder den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) bezogen wird, ist in der Praxis der Biogasertrag meist auf die t Inputmaterial, die Großvieheinheit, den m<sup>3</sup> Frischgülle oder auf den m<sup>3</sup>/ha verschiedener Ackerkulturen bezogen. Da hier jedoch unterschiedliche Wassergehalte berücksichtigt werden müssen, ist es besser, den Biogas- und Methanertrag auf ein 1 kg Trockensubstanz zu beziehen (SCHULZ & EDER 2001).

### ***Anforderungen an Pflanzen zur Biogaserzeugung***

Geeignete Energiepflanzen für den Einsatz in Biogasanlagen sind grundsätzlich alle Pflanzen mit einem hohen Anteil an anaerob abbaubaren Substanzen. Sie darf jedoch nicht zuviel Lignin enthalten, da sich dieser Stoff nicht zur Vergärung eignet. Bei der Vergärung in Biogasfermentern wird dem Erntegut der wesentliche Energieanteil in Form von Methangas entzogen, während die Pflanzennährstoffe im ausgegorenen Substrat verbleiben und wieder als Düngemittel auf die Ackerflächen aufgebracht werden können.

Am besten geeignet sind Fruchtarten mit einem hohen Biomassertrag. Dabei sind Fruchtarten mit einem hohen Zucker- bzw. Stärkeertrag zu bevorzugen (SCHATTNER & GRONAUER 2000). Um hohe Methanertäge zu erzielen, eignen sich demnach grundsätzlich Pflanzen mit

- hohen Biomassenerträgen
- geringen Lignin- und Cellulosegehalten
- hohem Zucker- und Stärkeertrag

Die Pflanzen können sowohl in grünem als auch in siliertem Zustand in den Faulbehälter eingebracht werden. Im Gegensatz zur Nahrungsmittelproduktion lassen sich hieraus unterschiedliche Anforderungen an den Anbau von Energiepflanzen stellen. So schlägt SCHEFFER ein Zweikultur-Nutzungssystem für den Einsatz von Energiepflanzen in Biogasanlagen vor (SCHEFFER 2002). Durch veränderte Saat- und Erntetermine ist es möglich, die Ernte von zwei Kulturen pro Jahr zu erzielen.

Durch eine vorgezogene Ernte vor Abschluss der generativen Phase entsteht ein hoher Biomassertrag, der sowohl als Frischmasse als auch in siliertem Zustand verwertet werden kann. Durch eine arten- und sortenreiche Fruchtfolge lassen sich außerdem der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Dünger reduzieren (SCHEFFER 1998). Weiterhin besteht die Möglichkeit eine Reihe von alten Genotypen in die Fruchtfolge zu integrieren und dadurch gleichzeitig einen Beitrag zur Erhaltung genetischer Ressourcen zu leisten. Der Vorteil dieser alten Sorten liegt in dem höheren Gesamtpflanzenenertrag, der für den Anbau nachwachsender Rohstoffe entscheidend ist (BRETTSCHUH 2000).

Beispielhaft soll hier die Produktion „feuchter Energieträger“ vorgestellt werden, bei der zwei Ernten im Jahr möglich sind (KARPENSTEIN-MACHAN 2003):

Im ersten Jahr:	Anbau von Winterroggen und Zuckerhirse
Im zweiten Jahr:	Anbau von Wintergerste und Mais
Im dritten Jahr:	Anbau von Winterroggen und Sonnenblumen

### **3.5 Berechnung theoretischer Gasausbeuten von Pflanzen**

Die stoffliche Zusammensetzung der Pflanzen hat großen Einfluss auf das mögliche Energiebildungspotenzial. Das Biogaspotenzial pflanzlicher Substanz wird bestimmt durch die in der pflanzlichen Substanz enthaltenen Gehalte und Anteile von Kohlenhydraten, Fettstoffen, Eiweißstoffen und durch das Verhältnis von Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O). Es wird angenommen, dass die Umset-

zungsprozesse in einem Fermenter ähnlich denen in einem Rindermagen verlaufen. Mit Hilfe der Gasausbeuten dieser einzelnen Stoffgruppen, den Rohnährstoffgehalten sowie den dazugehörigen Verdauungsquotienten können die theoretischen Gaserträge einzelner Pflanzen errechnet werden. Die Angaben zu den Gasausbeuten von Fetten, Kohlehydraten und Eiweißen beruhen auf den Berechnungen von Baserga (1998). Die Zahlen für Rohnährstoffgehalte und Verdauungsquotienten können bspw. dem Programm Zielwert-Futteroptimierung (ZIFO) der bayrischen Landesanstalt für Tierzucht (BLT) Grub entnommen werden (BRETTSCUH 2000).

Tabelle 2 stellt die Gasausbeute und den CH<sub>4</sub>-Gehalt von Wiesengras 1. Schnitt, Ende der Blüte dar (KEYMER & SCHILCHER 2003, internet).

Tab. 2: Gasausbeute und CH<sub>4</sub>-Gehalt von Wiesengras 1. Schnitt, Ende der Blüte (KEYMER & SCHILCHER 2003, internet)

Stoffgruppe	Gasausbeute l/kg OS (Baserga 1998)	CH <sub>4</sub> -Anteil Vol % (Baserga 1998)	Masse kg/kg oTS	Gasausbeute Weidelgras l/kg oTS	CH <sub>4</sub> -Anteil in Bezug auf die Gesamtgasausbeute Vol %
Kohlenhydrate	790	50	0,582	459,9	40,9
Rohprotein	700	71	0,096	67,0	8,5
Rohfett	1250	68	0,028	34,8	4,2
Summe	-	-	0,706	561,7	53,6

Somit ergibt 1 kg oTS Wiesengras einen theoretischen Ertrag von 561,7 l Biogas mit einem Methangehalt von 53,6 %. Vergleichsweise soll die Methanausbeute von Maissilage in der Teigreife, die nach dem gleichen Verfahren berechnet wurde, mit einem TS-Gehalt von 30 % dargelegt werden (Tab. 3). Hieraus ergibt sich eine Gasausbeute von 585,9 l/kg oTS mit einem Methangehalt von 52,2 %. Vergleicht man diese Ergebnisse, so lässt sich ein Unterschied im Gasertrag von ca. 60 l/kg ausmachen, der Methanertrag ist hingegen fast identisch.

Tab. 3: Gasausbeute und CH<sub>4</sub>-Gehalt von Maissilage in der Teigreife mit einem TS-Gehalt von 30 % (BRETTSCUH 2000)

Stoffgruppe	Gasausbeute l/kg OS (Baserga 1998)	CH <sub>4</sub> - Anteil Vol % (Baserga 1998)	Masse kg/kg oTS	Gasausbeute Maissilage l/kg oTS	CH <sub>4</sub> -Anteil in Bezug auf die Gesamtgasausbeute Vol %
Kohlenhydrate	790	50	0,657	519,1	44,3
Rohprotein	700	71	0,048	33,5	4,1
Rohfett	1.250	68	0,027	33,3	3,9
Summe	-	-	0,732	585,9	52,2

Diese Werte sind relevant für die Wirtschaftlichkeit einer Anlage, da sie als Berechnungsgrundlage für den elektrischen Wirkungsgrad eines BHKWs (vgl. Kapitel 3.8) herangezogen werden können. Der Landwirt sollte jedoch immer eine eigene Analyse seines zum Einsatz kommenden Substrates durchführen lassen. Diese werden von den landwirtschaftlichen Versuchsanstalten kostengünstig durchgeführt.

**Vorteile beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen**

Im Vergleich mit außerlandwirtschaftlichen Substraten, die ebenfalls zur Vergärung eingesetzt werden können, bietet der Einsatz von Energiepflanzen folgende Vorteile (BRETTSCHUH 2000):

- Sie haben meist einen höheren Energiegehalt.
- Lange Transportwege für das Substrat entfallen.
- Die Störstoffauslese entfällt.
- Eine seuchenhygienische Unbedenklichkeit ist gewährleistet.
- Der erzeugte Gärrückstand unterliegt nicht der Bioabfallverordnung und ist somit uneingeschränkt als Dünger nutzbar.

Dadurch, dass die Gärrückstände wieder als Dünger auf den Anbauflächen ausgebracht werden können, besteht insgesamt durch den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen ein geschlossener Nährstoffkreislauf und eine gute Kombinierbarkeit mit landwirtschaftlichen Produktionsprozessen. Der Düngewert der jeweiligen Substrate ist außerdem ein nicht zu vernachlässigender Faktor bei der Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage.

Im Folgenden wird exemplarisch die Düngewertberechnung für Silomais aufgezeigt.

Tab. 4: Düngewertberechnung von Silomais (BAYRISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENANBAU o. Jahr)

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Summe
kg/dt FM Silomais	0,38	0,16	0,45	
Euro/kg Reinnährstoff	0,5	0,625	0,3	
Ausnutzungsgrad	60 %	100 %	100 %	
Euro/ha bei 340 dt	38,76	27,2	76,5	142,46
Euro/ha bei 468 dt	53,25	37,44	105,3	195,99

**Der Einsatz von Mais, Gras und Futterrüben in Biogasanlagen**

Die derzeit am meisten diskutierten Energiepflanzen in Biogasanlagen sind:

- Mais/Energiemais: Züchtungen "Gavott S 250", "VIC S 400", "Mikado S 600", "Doge S 700"
- Gräser
- Futterrüben/ Gehaltsrüben

Mit diesen Pflanzen können hohe Masseerträge erreicht werden, gleichzeitig lassen sie sich durch Silierung haltbar machen. Sie sind also ganzjährig verfügbar. Wie schon erwähnt, können sie jedoch auch in

grünem Zustand verwertet werden. Die meisten Erfahrungen bestehen derzeit mit Einsatz von Silomais. Für andere nachwachsende Rohstoffe liegen bislang wenig Erkenntnisse aus der Praxis vor.

Vergleichsweise sollen die Vor- und Nachteile der drei oben genannten, gängigsten Biomassefraktionen vorgestellt werden.

#### ***Vorteile von Silomais:***

- Vergärung wird seit mehreren Jahren erfolgreich in Biogasanlagen vorgenommen.
- Die Ernte- und Lagertechnik ist bekannt und bewährt.
- Es sind keine extra Lagerbehälter erforderlich.
- Silomais ist ein lagerstabiles Substrat, das für Biogasanlagen ganzjährig zur Verfügung steht.
- Die zukünftige Entwicklung geht hin zu einer automatischen Beschickung aus einem Vorratslager, welches nur alle 3-5 Tage befüllt werden muss. So wird der tägliche Arbeitsaufwand für den Betreiber reduziert (RILLING 2001).

Insgesamt bietet sich Mais wegen seines kostengünstigen Anbaus, seiner einfachen Lagerung und seiner unkomplizierten Fruchtfolge als Energielieferant in Biogasanlagen besonders an (LOIK & HÖLDER 2002).

Beim Anbau von Futtermais wird in der Regel ein Reifestadium nahe der Körnerreife angestrebt, um vollwertige Futterqualität zu erreichen. Für die Energiepflanzenproduktion können jedoch Maissorten gewählt werden, die gar nicht erst das Kornbildungsstadium erreichen müssen. Dadurch lassen sich höhere Maiserträge erzielen, da die Pflanzen bis zur Ernte Massenzuwachs aufweisen, der ansonsten mit Beginn der generativen Phase stark reduziert ist (SCHEFFER 2002).

Speziell bei Mais gibt es verschiedene Züchtungen, die sich besonders für den Einsatz in Biogasanlagen eignen (Energiemais). So wurden diverse Sorten mit besonders hohen Masseerträgen gezüchtet, welche die Gasausbeute beträchtlich erhöhen können. Wenn auf die herkömmlichen Zuchtziele Korn- und Kolbenenertrag verzichtet wird, kann der maximale Trockenmasseertrag innerhalb der nächsten 5 bis 10 Jahre bis zu 30 t pro ha gesteigert werden (KESTEN 2003).

Der Mais stellt sozusagen das Musterbeispiel für eine Energiepflanze dar: Er verfügt als so genannte C4-Pflanze über einen speziellen Kohlenstoffwechsel, der gerade in den Sommermonaten das Licht und hohe Temperaturen effizient nutzen und so hohe Trockenmasseerträge bei gleichzeitig geringerem Wasserbedarf als C3-Pflanzen bilden kann, zu denen die anderen hier angebauten Getreidearten und unsere Wiesengräser zählen. Dies gilt auch für alle anderen C4-Pflanzen (KESTEN 2003).

#### ***Grassilage:***

##### ***Vorteile***

- Grassilage ist unter Ernteverfahren und Silagebereitung ähnlich wie Mais zu bewerten.
- Ernte-, Transport und Lagertechnik weisen einen hohen Mechanisierungsgrad auf.

##### ***Nachteile***

- flächen- und massenbezogene Energieerträge sind wesentlich geringer als z.B. bei Mais
- Schwimmdeckenbildung kann durch faserige Bestandteile gefördert werden

Insgesamt ist die Grasvergärung entwicklungsfähig und könnte in Zukunft mehr Bedeutung erlangen (RILLING 2001). Erfahrungen mit der Grasvergärung liegen in der Schweiz vor, wo Gräser aus dem Schaffhauser Umland von insgesamt 600 ha Fläche energetisch verwertet werden (vgl. Abschnitt 3.6).

**Futterrüben:**

**Vorteile**

- seit der Ernte 2002 ist erstmalig auch der Anbau von Futterrüben zur Vergärung in Biogasanlagen möglich
- angepasstes Fermentersystem
- Die Lagerbehälter speichern das Substrat ganzjährig
- Das Nebenprodukt Rübenblatt eröffnet neue Perspektiven für die Vergärung

**Nachteile:**

- Das Mechanisierungsverfahren ist besonders im Bereich Ernte und Lagerung nur ungenügend entwickelt.
- Ein späterer Substratwechsel ist wegen der speziellen Anlagentechnik nicht möglich. Die prognostizierten hohen Erträge müssen in Praxisbiogasanlagen erst noch dauerhaft nachgewiesen werden.
- Vergärung erfordert eine spezielle Aufbereitung in einer Rübenmühle
- Silierung und Lagerung im Hochsilo (RILLING 2001)

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Kenndaten dieser Pflanzen.

Tab. 5: Kenndaten für ausgewählte nachwachsende Rohstoffen (RILLING 2001)

Substrat	Biomasseertrag (t/ha)	Biogasertrag (m <sup>3</sup> /t)	Biogasertrag (m <sup>3</sup> /ha)	Erlös aus Stromverkauf (Euro/ha)
Silomais	35-45	180-240	6.300-10.800	1.200-2.075
Corn-Cob-Mix* (CCM)	11-15	400-600	4.400-9.000	850-1.725
Futterrübe	70-80	80-95	8.000-12.000	1.550-2.300
Rübenblattsilage	25-40	70-90	1.700-3.600	300-700
Grassilage	20-30	80-100	1.600-3.000	300-600

\*Dabei handelt es sich um ein Mais-Spindel-Gemisch, welches mit dem Pflückdrescher geerntet und dann in ein Silo eingelagert wird.

**Beispiele für den Einsatz weiterer Energiepflanzen in Biogasanlagen**

In der Literatur finden sich Hinweise auf weitere Pflanzen, die in Biogasanlagen mitvergoren werden können. Da der systematische Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen erst seit kurzem betrieben wird, lassen sich relativ wenig gesicherte Daten zu Gaserträgen und der optimal einzusetzenden Vergärungstechnologie anderer nachwachsender Rohstoffe finden. Die im Folgenden beschriebenen Pflanzen eignen sich grundsätzlich auch zur Vergärung. Zu den jeweiligen Pflanzen werden zusätzliche Angaben, die sich in der Literatur bzgl. ihrer Eignung zur Vergärung finden lassen, aufgeführt.

- Raps: SCHEFFER (2002) schlägt hier ein spezielles Nutzungs- und Anbaukonzept für die Ernte von Gesamtpflanzen vor. Aus technischen Gründen ist eine Gesamtpflanzennutzung nur in einem frühen Reifestadium (Stadium EC 85) möglich. Zu diesem Zeitpunkt hat der Raps seinen Höchstertag erreicht und kann als Silage konserviert werden. Anschließend erfolgt durch eine Siebung eine Trennung in Korn- und Restpflanzenfraktion. Während die Kornfraktion als Viehfutter oder nach Trocknung der Ölgewinnung dient, können die Restpflanzen zur Biogasverwendung genutzt werden. Dadurch entsteht eine Verdreifachung des Energieertrags, weil die Restpflanze doppelt soviel Energie wie die Körner liefert.
- Ölrettich
- Klee
- Luzerne
- Getreide
- Kartoffel: Bei Kartoffeln ist mit Herstellungskosten von 2.465 € bis zu 2.612 € zu rechnen. Somit scheidet der Anbau von Kartoffeln eindeutig aus (SCHATTNER & GRONAUER 2000).
- Topinambur
- Lupine
- Erbsen/Bohnen
- Sonnenblumen
- Kürbis
- Sudangras: hohe Massenerträge, gute Eignung als Zwischenfrucht, geringer Pflegeaufwand, Möglichkeit des mehrmaligen Schnittes (vgl. Abschnitt 3.6)
- Hanf: hohe Massenerträge.
- Zuckerhirse: Zu dieser Pflanze wurden an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) Versuche durchgeführt (EL BASSAM & SEIDWITZ 1993). Sie bringt ebenfalls sehr hohe Massenerträge.

Im folgenden Kapitel werden Versuchsergebnisse beschrieben, welche sich aus dem Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen zur Biogaserzeugung ergeben haben.

### **3.6 Versuchsergebnisse zur Gewinnung von Biogas durch nachwachsende Rohstoffe**

Zur Eignung unterschiedlicher Biomassen zur energetischen Nutzung in Biogasanlagen finden sich in der Literatur verhältnismäßig wenig empirisch abgesicherte Daten. Eine Ausnahme stellen Gras und Mais als Substrate dar. Vor allem Gras aus Landschaftspflegemaßnahmen wird seit längerem auf seine Eignung als Substrat in Biogasanlagen untersucht (STEFFEN 2002).

#### ***Kofermentation von Grassilage, Mähgut aus Naturschutzgebieten und Silomais***

Zwischen 1999 und 2001 wurden an der Universität Hohenheim Fermentierungsversuche zur Beurteilung der Grüngutvergärung unterschiedlicher Grünlandssubstrate inklusive Landschaftspflegematerial durchgeführt (LEMMER & OECHSNER 2001a, b). In einzelnen wurde Mähgut aus Naturschutzgebieten, Grassilage von extensiv (zweischürig) und intensiv (fünfschürig) genutzten Wiesen, der Rasenschnitt eines Golfplatzes als auch Silomais eingesetzt. Sämtliche Substrate wurden siliert, um ein homogenes Material mit gleichbleibender Qualität während des gesamten Versuchszeitraumes zu haben. Dabei wurden in Labor-

versuchen mehrere Durchflussbiogasanlagen parallel mit verschiedenen Grünsubstraten beschickt. In drei Praxisanlagen wurde außerdem der Einsatz verschiedener Substrate erprobt, wobei das strukturreiche Material über eine Eintragungsschnecke direkt in den Fermenter befördert wurde.

Das Mähgut unterschiedlicher Nutzungsintensitäten ist auf Grund der biologischen Prozessstabilität sehr gut geeignet, um gemeinsam mit Flüssigmist vergoren zu werden. Bezüglich der technischen Anforderungen konnte festgestellt werden, dass der TS-Gehalt der Mischung nicht über 10 – 12 % liegen darf, um das Substrat pump- und rührfähig zu erhalten. Weiterhin war eine Laufzeit der Rührwerke von 3-5 Min. pro Stunde notwendig. Da sich das Volumen eines Gras-Gülle-Gemisches stark ausdehnen kann (z.B. wenn das regelmäßige Rühren unterbleibt) sollten Kofermentationsanlagen mit Sichtschutzfenstern und groß dimensionierten Überdrucksicherungen ausgestattet werden (LEMMER & OECHSNER 2001a, b).

Bei den Gaserträgen der einzelnen Substrate bestehen erhebliche Unterschiede. So liegt der Methanertrag von Grassilage aus intensiver Grünlandnutzung und von Silomais deutlich über dem der Silage aus extensiver Grünlandnutzung und Mähgut aus Naturschutzgebieten. Durch eine Anhebung der Verweildauer konnten die spezifischen Gaserträge erheblich gesteigert werden (LEMMER & OECHSNER 2001a, b).

Unter wirtschaftlichen Aspekten, welche sämtliche Kosten inklusive der Arbeitsstunden für den Anbau und die Ernte bei Silomais und Grassilage sowie der Pflege der Naturschutzflächen berücksichtigte, ergab sich allerdings, dass nur der Einsatz von Silomais und Grassilage aus intensiver Nutzung den Erzeugungskosten für elektrischen Strom mit der entsprechenden Vergütung in etwa entspricht. Der Aufwuchs von extensiv zu bewirtschaftenden Flächen oder Naturschutzgebieten kann nur dann kostendeckend in Biogasanlagen eingesetzt werden, wenn für die Pflege der Flächen eine Vergütung an den Landwirt gezahlt wird (LEMMER & OECHSNER 2001a, b).

### ***Alleinige Vergärung nachwachsender Rohstoffe durch Trockenfermentationsverfahren***

Es ist ebenfalls möglich, ganz ohne Gülle und ausschließlich mit nachwachsenden Rohstoffen Biogas zu erzeugen. So bietet die Monovergärung auch viehlosen Betrieben oder Kommunen durch die Verwertung von Grünschnitt die Möglichkeit der Biogaserzeugung. Dazu wurden und werden bereits Versuche unternommen, von denen hier eine Auswahl vorgestellt wird.

#### *Grasvergärungsanlage mit Sudangras*

Im Burgenland läuft seit sechs Jahren das Projekt Graspower, bei welchem aus Gras und Energiepflanzen Strom gewonnen wird (GRAF 2002). Das Verfahren stellt eine Weiterentwicklung der allgemein bekannten Anaerobvergärung dar, bei welchem unter Ausschluss von Sauerstoff ein biologischer Abbauprozess durch Mikroorganismen stattfindet. Bei diesem neuen Verfahren wird ausschließlich Silage - ohne Mist und Gülle- verwertet. Durch den Einsatz von Silage kann das ganze Jahr über Biogas erzeugt werden. Als Substrat wird Sudangras als Silage in die Grasvergärungsanlage eingebracht. Die Verwertung von Sudangras bietet folgende Vorteile:

- Hohe Biomasseerträge: Auch bei Bodenpunktzahlen von 30 bis 35 Punkten kann ein Durchschnittsertrag von 20 bis 30 Tonnen Trockensubstanz pro Hektar erzielt werden.
- Sudangras eignet sich gut als Zwischenfrucht, z.B. nach Getreideanbau. Die Erträge liegen dann um ca. 50 % niedriger.
- Geringer Pflegeaufwand und Möglichkeit des mehrmaligen Schnittes von Sudangras.
- Biogasgülle kann als Kopfdünger auf die nachwachsenden Pflanzen aufgebracht werden. Nitratauswaschung wird vermieden, da Pflanzen den Stickstoff sofort wieder aufnehmen (GRAF 2002).

### *Grasvergärung im Versuch der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft*

Einen weiteren Versuch zur Monovergärung von Energiepflanzen führte die Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) durch. Dabei wurde ein Faulbehälter von 6 m<sup>3</sup> ein Jahr lang täglich mit Grassilage oder während der Erntezeit mit grünen Pflanzen bestückt. Anfangs wurde ein konstantes Flüssigkeitsvolumen im Faulbehälter gespeichert. Jene Flüssigkeit, die mit dem Faulschlamm aus dem Behälter austrat wurde mittels einer Schneckenpresse abgetrennt und dem Behälter erneut zugeführt. So wurde während 290 Tagen weder neue Flüssigkeit in den Faulbehälter hinzu gegeben, noch diese verdünnt. Der Methan-gehalt des Gases betrug zwischen 54 und 56 %.

Bei diesem Versuch gelang es, Biogas aus reiner Pflanzenvergärung zu erzeugen, ohne beständig Flüssigkeit zuführen zu müssen. Um einer Trockensubstanz- und Stickstoffanreicherung entgegenzuwirken, musste jedoch gelegentlich eine begrenzte Menge der Rückführflüssigkeit durch Wasser ersetzt werden (BRETTSCHUH 2000). Mittlerweile existieren weitere Anlagen dieser Art, so dass zur Zeit weitere umfangreichere Erfahrungen zur Monovergärung gesammelt werden.

### *Graskraftwerk Schaffhausen*

Eine neue Technologie, welche in der Schweiz entwickelt und im Rahmen einer Pilotanlage seit 1998 erprobt wurde, sollte in Schaffhausen zum großtechnischen Einsatz kommen: Dieses weltweit erste kommerzielle Graskraftwerk verarbeitete ausschließlich frisch geschnittenes, bzw. siliertes Gras. Die Kapazität betrug pro Jahr rund 20.000 Tonnen Wiesengras und Geschwemmsel aus dem Rhein (JANZING 2001). Nach zweijähriger Betriebszeit musste die Anlage jedoch aus wirtschaftlichen Gründen geschlossen werden, da sie nicht serienreif war. Dennoch wird das Verfahren von den Betreibern als grundsätzlich geeignet und zukunftssträftig beurteilt. Eine Anschubfinanzierung für die notwendige Weiterentwicklung der Technologie ist durch die Betreibergesellschaft, in der unter anderem Landwirte, Umweltschützer, landwirtschaftliche Genossenschaften und die Stadt Schaffhausen zusammengeschlossen sind, derzeit nicht zu leisten (DEUTSCHLANDFUNK 2003, Internet).

Die dort eingesetzte Technik der Grasvergärung unterscheidet sich von der Vergärung in einer klassischen Biogasanlage. Dabei werden die faserigen Bestandteile zuvor extrahiert und können anschließend als Dämmstoff oder als Füllstoff für Faserverbundstoffe genutzt werden. Für die energetische Nutzung bleibt eine kohlenhydrathaltige Brühe, die bei etwa 35 Grad Celsius zu Biogas vergoren wird. Aus einer Tonne Trockensubstanz sollten sich 615 kWh Strom und 900 kWh Wärme gewinnen lassen, die Anlage erbrachte jedoch nur 50 % der Sollleistung (JANZING 2003). Die anfallende Abwärme wird benutzt um aus den Grasbestandteilen Produkte mit neuer Wertschöpfung zu schaffen.

## **3.7 Energieverwertung von Biogas**

### ***Gasaufbereitung***

Das gewonnene Biogas muss vor dem Einsatz im BHKW aufbereitet werden, da es ansonsten zu Korrosionsschäden im Motor kommt. Die wichtigsten Aufbereitungsmaßnahmen stellen die Trocknung und die Entschwefelung dar. Die Entschwefelung ist notwendig, da sich bei der Verbrennung im Motor gasförmige Siliziumoxide bilden, die sich als feste harte Ablagerungen am Kolben und auf den Ventilen festsetzen, was zu starkem Verschleiß bis hin zu Motorschäden führen kann. Die Entschwefelung erfolgt im Biogasfermenter, indem 3 - 5 % Luftsauerstoff zugeführt werden. Dabei wird Schwefelwasserstoff bakte-

riell zu reinem Schwefel oxidiert und kann ohne weitere Behandlung mit dem vergorenen Substrat landwirtschaftlich als Dünger eingesetzt werden (LUCKE 2002).

Getrocknet wird das Gas durch Abkühlung. Sie ist notwendig, da das Gas beim Austritt des Fermenters wasserdampfgesättigt ist. Prinzipiell hat Biogas die in der folgenden Tabelle aufgeführten Eigenschaften, es können diverse Unterschiede in Abhängigkeit der zur Vergärung eingesetzten Substrate auftreten.

Tab. 6: Eigenschaften von Biogas (LUCKE 2002)

<b>Zusammensetzung</b>	55-70 % Methan 30-45 % Kohlenstoffdioxid < 1 % Schwefelwasserstoff
<b>Dichte</b>	1,2 kg/m <sup>3</sup>
<b>Zündkonzentration Gasgehalt</b>	6-12 % Biogas in Luft
<b>Heizwert</b>	4-7,5 kWh/m <sup>3</sup> (abhängig vom Methangehalt)
<b>Heizöläquivalent von</b>	0,60-0,65 l Öl/m <sup>3</sup> Biogas
<b>Zündtemperatur</b>	700 °C

### ***Nutzung von Biogas als Wärmeenergie***

Je nach Motortechnik wird bei der Verstromung von Biomasse Wärme im Verhältnis zu Strom von etwa 2,5 : 1 erzeugt. In diesem Sinne könnten BHKW auch als "stromliefernde Heizung" betrachtet werden. Da die Wärme das Hauptprodukt der Anlage darstellt, kann sich eine sinnvolle Nutzung der Abwärme entscheidend auf die Wirtschaftlichkeit einer Anlage auswirken. Der Absatz der Wärme gestaltet sich jedoch schwieriger als die Stromnutzung (BRETTSCHUH 2000). Je nach Jahreszeit, Fermentergröße und Isolation des Fermenters werden 20 - 80 % der Wärmeenergie als Prozessenergie zum Beheizen des Fermenters benötigt. Ursache für diese große Spannweite sind vor allem die ungünstige Temperaturverteilung und der daraus folgende unterschiedliche Wärmebedarf (STIEGLER 2000).

Die verbleibende nutzbare Wärmeenergie eines an einen landwirtschaftlichen Betrieb angeschlossenen BHKW's wird zum Heizen und zur Warmwasserbereitung im Stall und den Gebäuden verwendet. Im Sommer jedoch ist der Wärmebedarf sehr niedrig und die Wärme kann meist nicht vollständig genutzt werden, während im Winter Spitzenlastzeiten mit einem Heizkessel abgedeckt werden müssen. Je nach Größe und Art des Betriebs werden unterschiedliche Wärmemengen benötigt: So ist der Wärmebedarf in Schweinezuchtbetrieben aufgrund der Stallbeheizung höher als in Milchviehbetrieben (STIEGLER 2000). Auch in Trocknungsanlagen für Getreide wird Wärmeenergie genutzt.

Darüber hinaus anfallende Energie kann in Nahwärmenetzen verwertet werden, insofern eine entsprechende Infrastruktur besteht. Häufig jedoch befinden sich landwirtschaftliche Betriebe weit entfernt von potenziellen Wärmeabnehmern. So ist es sinnvoll, bereits bei der Planung einer Anlage diese in ein bestehendes Wärmenetz einzubinden. Auch die Versorgung eines industriellen Projektes, welches eine konti-

nuierliche Prozesswärme benötigt, ist denkbar. Eine weitere Möglichkeit bestünde im Einsatz von Absorptionskältemaschinen zur Gebäudeklimatisierung (BRETTSCHUH 2000).

### ***Nutzung des Biogases für elektrische Energie***

Etwa 2 - 15 % der elektrischen Energie werden für den Betrieb und die Steuerung des Rührwerke, der Güllepumpen und des BHKW's benötigt. Die nutzbare elektrische Energie wird zunächst für den Eigenstrombedarf verwendet, der restliche Strom wird über das Niederspannungsnetz eines Energieversorgungsunternehmens mit maximal 1000 Volt in das Netz eingespeist (STIEGLER 2000).

Allerdings ist der Strombedarf eines landwirtschaftlichen Betriebes im Tagesverlauf sehr unterschiedlich. In den Melkzeiten entstehen Leistungsspitzen, während nachts nur sehr wenig Strom benötigt wird. Durch eine gezielte Steuerung des BHKW's kann eine Leistungsanpassung erreicht werden. So garantiert der Einbau eines leistungsstärkeren Aggregates, welches in Spitzenzeiten betrieben und dafür nachts ausgeschaltet wird, dass wenig teurer Tagstrom verbraucht wird. Nachtstrom ist in der Regel billiger als Strom, welcher in der Biogasanlage produziert wird (STIEGLER 2000).

Generell bieten sich zwei verschiedene Verfahren zur Stromproduktion an: Die bedarfsorientierte Erzeugung, bei welcher die Stromproduktion an den jeweiligen Bedarf angepasst wird und die gleichmäßige Erzeugung, bei welcher der Motor meist 24 Stunden am Tag mit gleichmäßiger Belastung läuft. In der Regel wird die direkte Verstromung, also die gleichmäßige Erzeugung ohne großes Gaslager gewählt.

Es muss für den jeweiligen Einzelfall berechnet werden, welches Verfahren günstiger ist. Vor dem Bau einer Biogasanlage sollte der Kontakt mit dem jeweiligen EVU vor Ort aufgenommen werden.

Als konventionelle Technologien zur Energieumwandlung stehen der Gasmotor, die Dampfturbine und die Gasturbine zur Verfügung. Für die in der vorliegenden Untersuchung betrachteten Leistungsgrößen ist jedoch nur der Dampfmotor relevant.

### ***Motortypen zum Einsatz im BHKW***

Bei der Verstromung des Biogases durch motorische Kraft-Wärme-Kopplung, die hier betrachtet wird, kommen je nach Anlagengröße unterschiedliche Motorbauarten und Verbrennungsverfahren zur Anwendung. Die Auslegung der Anlage richtet sich nach der Gasproduktion.

Man unterscheidet drei Verbrennungsmotoren zur Kraft-Wärme-Erzeugung (WEILAND 2000):

Bei den Gas-Otto-Motoren handelt es sich um umgerüstete Dieselmotoren, welche überwiegend aus PKW-Baureihen stammen. Diese werden in relativ kleinen Anlagen genutzt. Geschickte Landwirte stellen häufig ihr eigenes BHKW aus PKW-Motoren her. Aufgrund der hohen Motordrehzahl weisen sie eine geringe Standzeit von teilweise nur 10.000 Betriebsstunden auf, bei gleichzeitig hohem Wartungsaufwand. Da häufig Schäden durch eine unzureichende wärmetechnische Anlagenoptimierung auftreten, werden diese Aggregate zunehmend durch Zündstrahl-Dieselmotoren abgelöst.

Bei Zündstrahl-Dieselmotoren handelt es sich um umgerüstete Serien-Dieselmotoren denen über die Einspritzdüse eine geringe Menge Zündöl zugemischt wird, um das Biogas durch Verdichtung zu zünden. Je nach Zündstrahlaggregat liegt der Zündölanteil (überwiegend wird Heizöl genutzt) bei etwa 7-10 % der Motorleistung. Da dieser Motor sehr gute Standzeiten von 30.000 bis 40.000 Stunden aufweist und einen

guten elektrischen Wirkungsgrad von durchschnittlich 35 % hat, kommen Zündstrahl-Diesel-Motoren derzeit am häufigsten zum Einsatz.

Bei BHKW's mit einer elektrischen Leistung oberhalb von 150 kW kommen auf Gas-Otto-Betrieb umgerüstete Dieselmotoren zum Einsatz. Diese erfordern eine Fremdmischung und einen Gasmischer. Durch die robuste Bauweise werden hohe Standzeiten von über 80.000 Betriebsstunden ermöglicht, der elektrische Wirkungsgrad liegt bei 35 bis 37 %. Die einzelnen Motortypen unterscheiden sich in ihren Eigenschaften. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die wesentlichen Merkmale:

Tab. 7: Motortypen und wesentliche Merkmale (WEILAND 2000)

<b>Merkmal</b>	<b>Benzinmotor Gas-Otto</b>	<b>Dieselmotor Zündstrahl</b>	<b>Dieselmotor Gas-Otto</b>
<b>Wirkungsgrad (%)</b>	22-27	28-35	>35
<b>Lebensdauer</b>	Niedrig	mittel	hoch
<b>Wartungsbedarf</b>	Hoch	hoch	niedrig
<b>Invest. -Kosten</b>	Niedrig	mittel	hoch
<b>Leistungsklasse (kW)</b>	5-30	30-150	>150

Andere Motorbautypen, wie z.B. der Stirlingmotor, haben bislang keine praktische Bedeutung erlangt, da vor allem die Kolbenabdichtung und die Wärmeübertragung an das Arbeitsgas bislang nicht befriedigend gelöst werden konnten (WEILAND 2000).

### ***Elektrischer Wirkungsgrad***

Einen entscheidenden Faktor bei der Wirtschaftlichkeit stellt die Höhe des elektrischen Wirkungsgrades dar: Sie bezeichnet das Verhältnis der zugeführten Energie des Motors zur abgegebenen Energie des Generators. Der elektrische Wirkungsgrad ist abhängig vom Methangehalt, also der Biogasqualität und dem Verstromungsfaktor. Verändert sich der Methangehalt so variiert entsprechend der Wirkungsgrad des Motors. Der Wirkungsgrad eines Motors kann berechnet werden, er ist jedoch immer nur eine Momentaufnahme. Die Formel für den Wirkungsgrad lautet:  $\eta_{el} = \frac{kWh_{el}/m^3}{kWh_{Gas}/m^3}$ . Die erste Zahl stellt den Verstromungsfaktor des Biogases dar, welcher sich aus dem produzierten Biogas und dem daraus gewonnenen Strom errechnet und die zweite Zahl ist der Energiegehalt (Heizwert) des Biogases, der sich aus dem prozentualen Anteil des Methans ergibt (BRETTSCHUH 2000).

Legt man nun z.B. die in Kapitel 3.5 berechneten Werte für Maissilage mit einem Methangehalt von 52 % zugrunde, was einem Heizwert von 5,2 kWh/m<sup>3</sup> entspricht und unterstellt man einen Gas-Otto-Motor mit einem Wirkungsgrad von 22 %, so ergibt sich ein Verstromungsfaktor von 1,14 kWh<sub>el</sub>/m<sup>3</sup>. Unterstellt man einen Zündstrahlmotor mit einem Wirkungsgrad von 32% so ergibt sich bei gleichem Methangehalt ein Verstromungsfaktor von 1,664 kWh<sub>el</sub>/m<sup>3</sup>. Daraus resultieren unterschiedliche Stromerzeugungen mit entsprechenden Marktleistungen.

### 3.8 Fazit

Im Bereich der Biogasnutzung besteht eine Vielfalt an technischen Umsetzungsmöglichkeiten. Dabei muss zwischen den jeweiligen Technologien zur Biogaserzeugung und den zum Einsatz kommenden landwirtschaftlichen Energiepflanzen unterschieden werden. Bei der Neuplanung von Anlagen sollte die jeweilige Technologie im Hinblick auf das einzusetzende Substrat angepasst werden.

Auf dem Gebiet des Einsatzes von nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen zur Vergärung wird noch erheblicher Forschungsbedarf gesehen. Da der systematische Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen erst seit kurzem betrieben wird, lassen sich relativ wenig gesicherte Daten zu Technologien und Gaserträgen von nachwachsenden Rohstoffen finden. So ist der verfahrenstechnische als auch ökonomische Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen außer Mais, Gras und Futterrüben in der Praxis wenig erprobt. Dementsprechend liegen wenige Erkenntnisse dazu vor.

Das optimale Ertragspotenzial ist sowohl von der optimalen, an das Substrat angepassten Technologie, von verschiedenen Faktoren der Prozessführung als auch vom Rohstoffmaterial abhängig. Hier wird besonders die Notwendigkeit deutlich, bei Neuanlagen die Verfahrenstechnik in Abhängigkeit von dem jeweils einzusetzenden Material zu planen, da der qualitative Abbauverlauf unterschiedlicher Substrate an die jeweiligen Verfahren angepasst werden sollte.

All diese Faktoren beeinflussen letztlich auch die Wirtschaftlichkeit einer Anlage. Durch intensive Forschung in diesem Bereich kann aber davon ausgegangen werden, dass in absehbarer Zeit wirtschaftlich und technisch optimierte Verfahren zur Verfügung stehen. Unter anderem befinden sich für die alleinige Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen unterschiedliche Trockenfermentationsverfahren durch Firmen und Ing.-Büros in der Entwicklung. Ausreichende Erfahrungen zur Effizienz dieser Anlagen liegen jedoch nicht vor.

Für die Kofermentation werden Nassvergärungsverfahren eingesetzt, die sich in der Praxis ausreichend bewährt haben. Der Trend geht dahin, dass in Biogasanlagen nur ein bis zwei Kosubstrate in relativ konstanten Mengen und bei angestrebter gleichmäßiger Beschickung verarbeitet werden (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2002). Von praktischer Bedeutung beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen ist an erster Stelle der Mais zu nennen, da mit der Vergärung von Maissilage die meisten Erfahrungen bestehen. Außerdem gehört Silomais aufgrund seines Ertragspotenzials und der Ertragsstabilität in vielen Regionen zu den interessantesten Kulturpflanzen. Auch bei der Vergärung von Grüngut und Grassilage bestehen ausreichende Erfahrungen.

Über den Gasertrag von Silagematerial anderer Rohstoffe und die optimale Prozessführung liegen bislang nur unzureichende Erkenntnisse vor. So lassen Untersuchungen zum Gasertragspotenzial von Rohstoffen häufig nur ungenügende Aussagen zu, da die Ermittlung durch Versuchseinstellungen durchgeführt wurde, die sich nur schwer vergleichen lassen (Art und Größe der eingesetzten Fermenter, Batch-Betrieb oder kontinuierlicher Betrieb, Verweilzeiten im Fermenter etc.).

Prinzipiell eignen sich nahezu alle Pflanzen, um in Biogasanlagen verwertet zu werden. Das Problem beim Einsatz der Rohstoffe liegt weniger in der Methanausbeute der einzelnen Substrate als vielmehr in der Wirtschaftlichkeit, die im Hinblick auf den Anbau, die Ernte und die Lagerung bestehen. Zur Effi-

zizienzsteigerung von Biogasanlagen sollte immer ein sinnvolles Wärmekonzept vorliegen, da sich dies letztlich auf die Wirtschaftlichkeit einer Anlage entscheidend auswirken kann. Auch eine gemeinsam betriebene Anlage kann ein ökonomisch tragfähiges Konzept bieten.

## **4 Darstellung der am Markt verfügbaren Techniken zum Einsatz von Biomassefraktionen bei Dampfkraftprozessen**

### **4.1 Anlagenkonzepte zur Verstromung fester Biomasse**

Grundsätzlich können die Verfahren zur Energiefreisetzung aus fester Biomasse in Verbrennung, Vergasung und Pyrolyse unterschieden werden.

#### ***Verbrennung***

Hierbei erfolgt eine vollständige Oxidation des Brennstoffes, wobei thermische Energie in Form von Rauchgaswärme freigesetzt wird. In dem sich an die Feuerung anschließenden Kessel kann die Wärme zur Wassererwärmung oder zur Dampferzeugung genutzt werden. Der Dampf kann entweder zur Dampfversorgung eines Industriebetriebes oder zur Verstromung genutzt werden. Für die Verstromung kommen sowohl der Dampfkraftprozess als auch der Stirlingmotor in Betracht. Letzterer steht aber noch nicht kommerziell zur Verfügung sondern wird im Rahmen von Pilotprojekten entwickelt (FNR 2000).

#### ***Vergasung***

Unter Vergasung versteht man die thermochemische Zersetzung eines Brennstoffes bei unterstöchiometrischer Zugabe eines Oxidationsmittels und dessen Überführung in ein brennbares Gas. Allerdings wird der Brennstoff nur unvollständig oxidiert. Das entstehende Gas kann entweder einem Brenner (Verschmelzung) oder einer Arbeitsmaschine zugeführt werden, wobei vor allem der Gas-Otto-Motor und die Gasturbine in Betracht kommen. Die Nutzung von Produktgasen in Gasmotoren oder -turbinen wird bislang ebenfalls lediglich in Pilot- und Demonstrationsanlagen getestet.

Zusätzlich ist der Einsatz von Gas in innovativen Techniken wie bspw. der Brennstoffzellentechnik denkbar. Diese befinden sich derzeit allerdings noch in Entwicklung (FNR 2000).

#### ***Pyrolyse***

Unter Luftabschluss wird ein Brennstoff thermisch gespalten. In der Praxis kommt dem Pyrolyse-Verfahren aufgrund des geringen Entwicklungsstandes jedoch kaum Bedeutung zu (FNR 2000). Im Folgenden wird daher auf diesen Prozess nicht weiter eingegangen.

Von den vorgestellten Verfahren ist lediglich der Dampfkraftprozesses technisch ausgereift und marktvorbereitet. In der vorliegenden Untersuchung wird daher lediglich auf dieses Verfahren eingegangen. Hierbei erfolgt sowohl die Betrachtung von KWK-Anlagen, die in einer gemeinsamen Anlage, einem Heizkraftwerk, gekoppelt Strom und Wärme erzeugen, als auch ausschließlich stromgeführte Anlagen.

### **4.2 Dampfkraftprozess**

Der Dampfkraftprozess ist der am weitesten verbreitete Prozess zur Wärmeerzeugung. Aus technisch-ökonomischen Gründen kommt der Dampfkraftprozess erst ab einer elektrischen Leistung von 1 MW in Betracht, was einer Wärmeleistung von etwa 2- 4 MW entspricht, kleinere Anlagen werden daher nicht betrachtet (FICHTNER 2002).

Beim Dampfkraftprozess wird die bei der Verbrennung von Biomasse entstehende Rauchgaswärme genutzt, um aus einem flüssigen Arbeitsmedium (meist Wasser) Dampf zu erzeugen, der anschließend in

einem Motor oder einer Turbine zur Stromerzeugung entspannt wird. Danach wird der Dampf in Heizkondensatoren zur Auskopplung der erforderlichen Wärme kondensiert und als Speisewasser zum Wärmeerzeuger rückgeführt. Derartige Kreisprozesse stellen seit Jahren das Standardverfahren zur Stromerzeugung dar (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001). Die dabei in einem Dampfmotor oder einer Turbine verrichtete mechanische Arbeit wird in einem Generator in elektrische Energie umgewandelt.

Gleichzeitig wird die bei der Stromerzeugung anfallende Wärme in einer KWK-Anlage dabei nicht als Verlust an die Umgebung abgegeben, sondern kann noch zur Bereitstellung von Heiz- oder Prozesswärme genutzt werden, was sich letztlich auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage auswirkt. So stehen bei diesen Konzepten der erzeugte Strom und die bereitgestellte Wärme in einem festen Verhältnis zueinander, so dass die Anlage wärmegeführt betrieben wird, d.h. die Anlage wird auf Deckung der jeweiligen Wärmeforderung ausgelegt und der erzeugte Strom stellt ein erwünschtes Nebenprodukt dar.

Im Folgenden werden die einzelnen Prozesse dieses Verfahrens und die zugehörigen Anlagenkomponenten näher beschrieben:

#### **4.2.1 Brennstoffzuführung und Feuerungstechniken für die Biomasseverbrennung**

Beim Verbrennungsvorgang wird thermische Energie in Form von Rauchgaswärme erzeugt. Diese Wärme kann in einem Kessel, welcher sich an die Feuerungsanlage anschließt, zur Erwärmung von Wasser genutzt werden oder zur Erzeugung von Dampf, der zur Stromerzeugung genutzt wird.

Zunächst muss die Brennstoffzuführung des Kessels erfolgen. Je nach Aufbereitungsform des Brennstoffes (vgl. Kapitel 3.5.1) bieten sich unterschiedliche Lagerein- und -austragesysteme an. Bei Anlagen mit einer Leistung von über 1 MW empfiehlt sich eine automatische Befüllung des Lagers.

Halmgut kann prinzipiell als ganze Ballen oder in aufgelöster Form verwendet werden. Bei der stückweisen Verfeuerung kommt die Zigarrenfeuerung zum Tragen. Dabei werden die ganzen Ballen in einer endlosen Reihe in den Kessel geschoben und verbrennen dort von ihrer Stirnseite aus. Die Verfeuerung von aufgelöstem Stroh erfolgt durch einen Häcksler oder einen Ballenauflöser, der sich in großen Anlagen gegen den Häcksler durchgesetzt hat. Das Verfahren der Ballenauflösung ist mit hohen Kosten verbunden und daher in Feuerungsanlagen mit kleiner Leistung nicht rentabel (FNR 2000).

Zunächst sollen die unterschiedlichen Feuerungsanlagen, welche sich für die jeweiligen Brennstoffe eignen, dargestellt werden. Die Wahl des Feuerungssystems hängt neben der Anlagengröße davon ab, in welcher Form die zu verbrennenden Biomassen vorliegen (vgl. Kapitel 4.5.1). So sind bereits im Vorfeld einer Anlagenkonzipierung in Abhängigkeit vom Brennstoff und seiner Lieferform Aussagen über die Art der Feuerung möglich (Tab. 8).

Tab. 8: Feuerungsarten und deren Charakteristika; Brennstoffeignung, Leistungsbereich (FNR 2000)

Feuerungsart	Beschickung	Geeignete Biomassen	Gängige Feuerungswärmeleistung
Schachtf Feuerung	Handbeschickt	Stück. Holzreste, Scheite, Hackschnitzel	20 bis 250 kW
Vorofenfeuerung	Mechanisch	Hackschnitzel	35 kW bis 3 MW
Unterschubfeuerung	Mechanisch	Hackschnitzel, Späne	20 kW bis 2 MW
Rostfeuerung für Hölzer	Mechanisch	Holz, Rinde, großstückige feuchte Brennstoffe mit hohem Aschegehalt	ab 1 MW
Rostfeuerung für Halmgüter	Mechanisch	Halmgutballen, geteilte Ballen	2,5 bis 20 MW
Wirbelschichtfeuerung	Mechanisch	Holz, Rinde, Brennstoffe mit hohem Wassergehalt	ab 10 MW
Einblasfeuerung	Pneumatisch	Staub, Späne aus Holz und Halmgut	ab 200 kW

Im Folgenden werden nur jene Feuerungstechniken beschrieben, die im größeren Leistungsbereich für die Stromerzeugung verwendet werden:

### **Rostfeuerung**

Für die Verfeuerung von Holz ab 1 MW thermisch bietet sich die Rostfeuerung an, die verfahrenstechnisch zur Familie der Festbettfeuerung gehört, der dominierenden Technologie zur Verbrennung von Biomasse. So arbeiten bspw. auch die Heizkraftwerke mit Vorschubrostfeuerungen.

Derzeit werden Vorschubrost-, Wanderrost- und Rückschubrostfeuerungen angeboten. Die für die Holzverbrennung gebräuchlichste Art stellt die Vorschubrostfeuerung dar (Abb. 10):

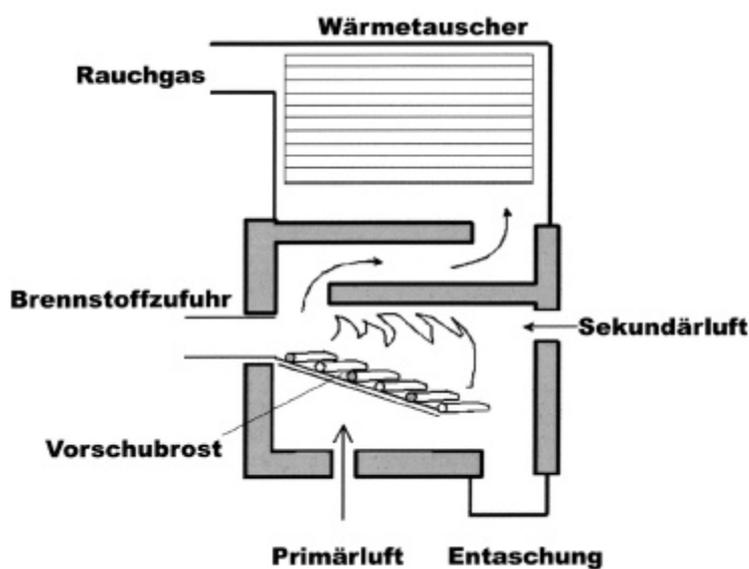


Abb. 10: Schematische Darstellung einer Vorschubrostfeuerung (FNR 2000)

Dabei wird der Rost vom Brennstofflager über einen Rutschkanal, eine Förderschnecke oder einen Hydraulikstoker bis zur Anlagekante beschickt. Das Brenngut wird durch die Rostbewegung von der

Aufgabe bis zum Rostende befördert, wo es trocknet, pyrolysiert, vergast und während der Vorlaufzeit vollständig verbrennt. Mit der aufwändigen Anlagentechnik werden Rostfeuerungen erst ab einer Leistungsgrenze von 1 MW wirtschaftlich (FNR 2000). Für die Verbrennung von Holz werden sie z.T. in Verbindung mit einer Einblasfeuerung für staubförmige Reste eingesetzt.

Rostfeuerungen werden auch zur Verbrennung von Halmgütern eingesetzt. So ist in Dänemark, wo mehrere Strohheizkraftwerke bestehen, bspw. ein Zigarrenbrenner mit anschließendem Schrägrost verbreitet. In Deutschland beschränken sich die Erfahrungen mit dieser Technik auf eine Anlage in Schkölen (Thüringen), einem Strohheizwerk welches seit 1993 die Kommune Schkölen (ca. 1.600 Einwohner) mit Fernwärme versorgt (Strohbedarf liegt bei 3.000 t/a) (FNR 2000).

Der Vorteil der Zigarrenabbrandverfahren besteht u.a. darin, dass die kostenaufwändige Ballenauflösung entfällt. Zigarrenbrenner lassen sich in der Regel erst ab 2 bis 3 MW thermisch wirtschaftlich begründen. Die Ballen werden an ihrer Stirnseite gezündet und dann langsam in den Brennraum geschoben. Abbrechende, unverbrannte Ballenstücke fallen auf den Schrägrost und verbrennen dort vollständig (Abb. 11).

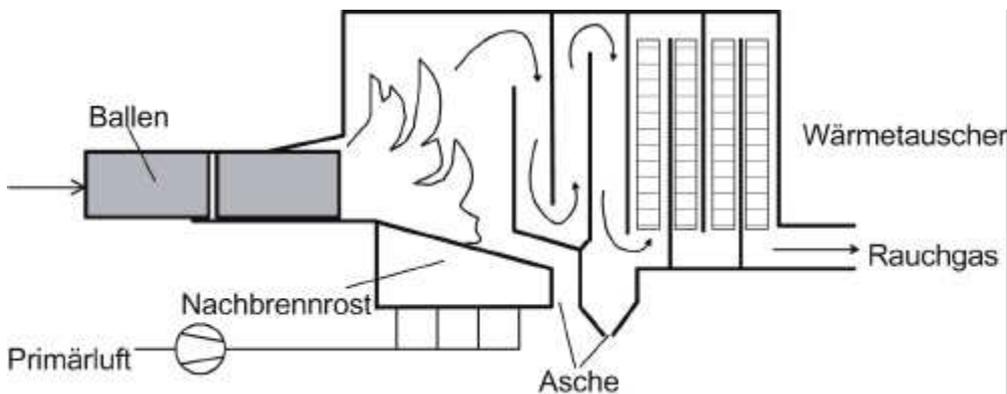


Abb. 11: Schematische Darstellung eines Zigarrenbrenners (FNR 2000)

### **Wirbelschichtfeuerung**

Neben der Rostfeuerung werden Wirbelschichtfeuerungen eingesetzt. Man unterscheidet die stationäre und die zirkulierende Wirbelschichtfeuerung.

Die *Stationäre Wirbelschichtfeuerung* eignet sich insbesondere zur Verfeuerung mehrerer, auch stark unterschiedlicher Brennstoffe. Auch wenn Brennstoffe mit sehr hohem Wassergehalt eingesetzt werden, bietet sich diese Feuerungsweise an. Der aufbereitete Brennstoff wird dabei in einem Wirbelbett verbrannt. Das Wirbelbett wird durch Zugabe von Fluidisierungsluft durch den Düsenboden erzeugt. Der Brennstoff wird von oben auf das Wirbelbett aufgegeben, kann jedoch auch mittels Förderschnecken direkt eingebracht werden. Dort findet nun die Ent- und Vergasung des Brennstoffs statt (Abb. 12). Durch die Aufwändigkeit der Wirbelschichtfeuerung kann sie nur für größere Leistungsbereiche (mehr als 10 MW thermisch) eingesetzt werden.

Die *Zirkulierende Wirbelschichtfeuerung* unterscheidet sich von der stationären durch eine deutlich größere Luftzugabe unterhalb des Wirbelbetts. Sie wird insbesondere zur Verbrennung von Altholz eingesetzt, da sie mit höheren Asche- und Fremdstoffgehalten zurechtkommt und kommt erst ab Anlagen mit einer Leistung von etwa 30 MW thermisch zum Einsatz. In Skandinavien werden anfallende Holzreste

und Schlämme aus der Papier- und Zellstoffindustrie in zirkulierenden Wirbelschichtfeuerungen verbrannt. Sie eignen sich besonders auch zur Mitverbrennung von Biomasse in größeren Kraftwerken (FNR 2000).

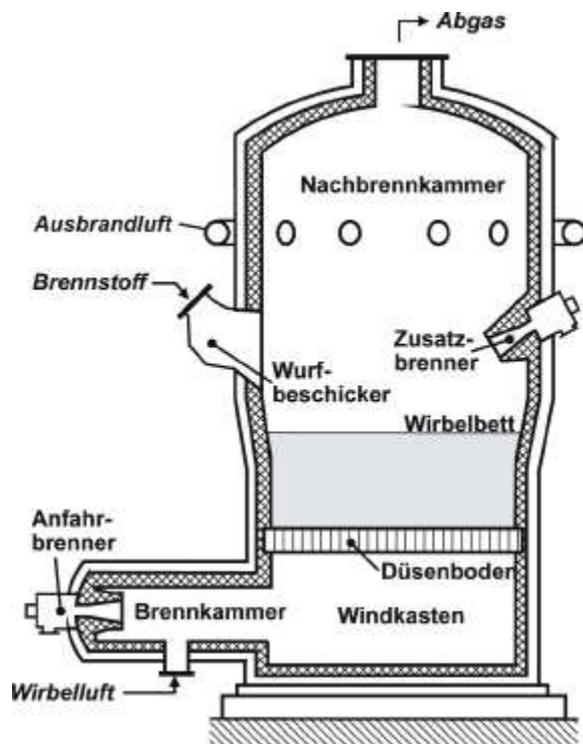


Abb. 12: Schematische Darstellung einer stationären Wirbelschicht (FNR 2000)

#### 4.2.2 Wärmetauscher / Kessel

Der Feuerung nachgelagert ist ein Kessel, in welchem der Wärmeaustausch zwischen dem Rauchgas und dem Wärmeträger stattfindet. Als Wärmeträgermedium wird meist Wasser verwendet. Der Kesselwirkungsgrad bezeichnet hierbei das Verhältnis der Wärmeleistung des Kessels zur Brennstoffwärmeleistung.

Für die Erzeugung von Dampf zur Stromerzeugung werden **Wasserrohrkessel** eingesetzt. Sie werden als Umlauf- oder Durchlaufkessel ausgeführt. Für höchste Feuerungsleistungen im Kraftwerksbereich kommen Durchlaufkessel zum Einsatz. Aufgrund der üblicherweise beschränkten Feuerungswärmeleistung bei Biomassefeuerungen kommen nahezu ausschließlich Umlaufkessel zum Einsatz (Abb. 13).

Bei Kesseln mit vorgeschalteter Biomassefeuerung sind insbesondere zwei problematische Bereiche zu berücksichtigen, denen schon bei der Anlagenplanung vorgebeugt werden kann: Die Verschmutzungs- und Verschlackungsproblematik und die Heizflächenkorrosion. Die Verschmutzung wird durch Flugaschepartikel verursacht, die sich an oder auf den Wärmetauscherrohren ablagern können. Sind diese locker und nicht verklebt, so spricht man von Verschmutzung. Verschlackung entsteht beim „Zusammenbacken“ aufgeschmolzener Partikel. Für die Verschlackungsneigung eines Brennstoffes ist das Ascheerweichungsverhalten verantwortlich, welches bei halmgutartigen Brennstoffen in der Regel niedriger und somit problematischer als bei holzartigen Brennstoffen ist (vgl. Kapitel 4.5.3).

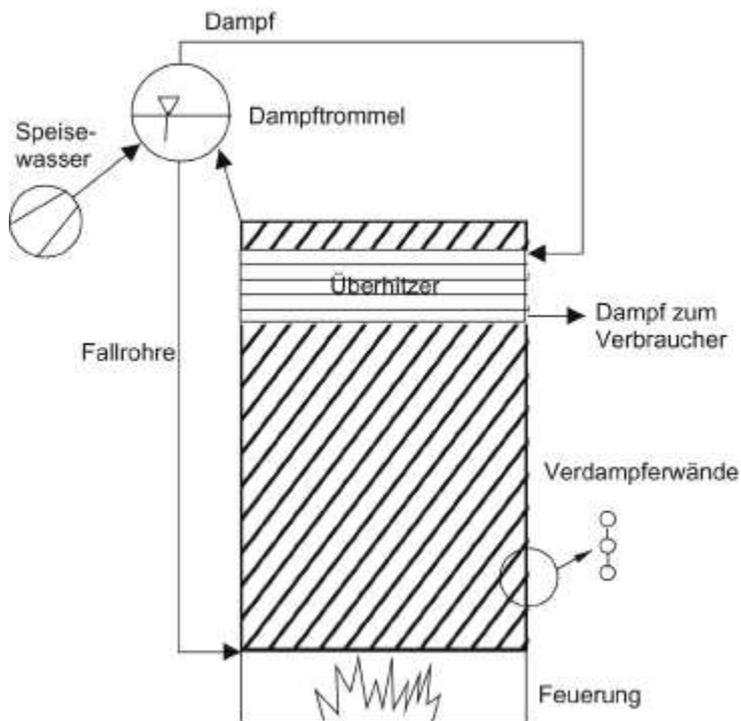


Abb. 13: Schematische Darstellung eines Umlaufkessels (FNR 2000)

Auch die Verschmutzungsneigung ist bei Halmgütern höher, so wurden in Dänemark in strohgefeuerten Anlagen Probleme insbesondere bei hohem Chlor und Kaliumgehalt im Brennstoff festgestellt (FNR 2000). Chlor und Alkalien in der Asche sind kritische Komponenten bei der Biomasseverbrennung, da sie gemeinsam Heizflächenkorrosion verursachen. Bei halmgutartiger Biomasse wie Chinaschilf, Stroh oder Ganzpflanzen können im Gegensatz zu holzartiger Biomasse gravierende Korrosionsprobleme auftreten. Anlagentechnisch kann diesen Problemen nur durch kesseltechnisch aufwändige Investitionen entgegengewirkt werden, welche daher nur in Einzelfällen wirtschaftlich sinnvoll sind (FNR 2000).

#### 4.2.3 Emissionsminderung

Höhere technische Anforderungen bei der Verbrennung von Halmgütern sind im Vergleich zu Holz auch an die Emissionsminderung zu stellen. Die Emissionsminderungstechniken sind in Abhängigkeit von der Anlagengröße, dem Brennstoff sowie den einzuhaltenden Emissionsgrenzwerten einzusetzen. Dabei kommen Entstaubungsanlagen für Rauchgas zum Einsatz, die beim Einsatz von Halmgütern aufwändiger gestaltet werden müssen als beim Einsatz von Holzbrennstoffen, da die bei Holzfeuerungen entstehende Asche gröber ist. Auch Maßnahmen zur HCL- und  $\text{NO}_x$ -Reduzierung haben in erster Linie für die Verfeuerung von Halmgütern Relevanz, da diese einen höheren Chlor- und Stickstoffgehalt als Holzbrennstoffe aufweisen. In der Novelle der TA Luft ist daher erstmalig ein Grenzwert für HCL von  $30\text{mg/m}^3$  vorgesehen (Weiss 2001).

#### *Ascheverwertung*

Der sinnvollen und umweltverträglichen Verwertung von Asche kommt bei der Biomasseverbrennung eine steigende Bedeutung zu. Im Mittelpunkt des Interesses steht eine Rückführung der Asche in die natürlichen Wachstumsprozesse im Bereich der forst- und landwirtschaftlichen Bodennutzung. Derzeit wird Asche entweder deponiert oder (meist) unkontrolliert auf Agrarland oder im Wald ausgebracht (FNR 2000).

Es fallen drei unterschiedliche Aschefractionen bei der Biomasseverbrennung an: Grob- oder Rostasche, Zyklonflugasche und Feinstflugasche. Letztere, die sich durch besonders kleine Aschepartikel auszeichnet, muss aufgrund des hohen Schwermetallgehalts deponiert bzw. industriell verwertet werden. Die beiden übrigen Aschefractionen, die gemeinsam meist mehr als 90 % der gesamt anfallenden Asche ausmachen, können evtl. in der Land- und Forstwirtschaft ausgebracht werden, vorausgesetzt sie weisen keine hohen Belastungen auf. Unter anlagentechnischen Gesichtspunkten ist es demnach erforderlich, die anfallenden Aschefractionen getrennt zu sammeln.

Die Asche von Halmgütern unterscheidet sich hinsichtlich ihrer Zusammensetzung von derjenigen die bei der Holzverbrennung anfällt. Bezüglich des Schwermetallgehaltes weist sie geringere Belastungen auf. Bei den Nährstoffgehalten liegt die Calciumkonzentration von Holzasche deutlich über derjenigen von Halmgütern, während sich bei Magnesium kaum Unterschiede ergeben. Kalium liegt dagegen bei Stroh- und Ganzpflanzenaschen deutlich konzentrierter vor.

Bei der Aufbereitung von Aschen kann zwischen Primär- und Sekundärmaßnahmen unterschieden werden. Diese haben zum Ziel die Randbedingungen zu schaffen, um einen möglichst großen Teil der anfallenden Asche umweltverträglich einsetzen zu können. Bei der Primärmaßnahme wird die Asche schon während der Verbrennung durch eine entsprechende Feuerungs- und Abscheidetechnologie beeinflusst. Hier wird bspw. versucht, die Schwermetalle gezielt in der Feinstflugaschenfraktion anzureichern.

Die Sekundärmaßnahmen zielen auf eine nachträgliche Aschebehandlung ab, sind aber aufgrund des hohen Aufwandes nur zentral durchführbar und mit hohen Rohstoffeinsätzen verbunden.

#### **4.2.4 Betriebsweisen bei Dampfkraftprozessen**

Generell können Dampfkraftprozesse mit unterschiedlichen Funktionsweisen betrieben werden, je nachdem ob es sich um KWK-Anlagen oder rein stromgeführte Anlagen handelt. Das Verhältnis von Stromerzeugung zur Feuerungswärmeleistung wird vorwiegend durch die Dampfparameter (Frisch- und Abdampfzustand) bestimmt und bewegt sich bei Leistungen bis 5 MW elektrisch bei ausschließlichem Gegendruckbetrieb im Bereich von 10 bis 20 % (FNR 2000).

##### ***Kondensationsbetrieb***

Ziel des Kondensationsbetriebes ist die reine Stromerzeugung mit einem möglichst hohen Wirkungsgrad. Der Dampf wird in der Turbine hierzu bis auf einen möglichst geringen Druck des die Turbine verlassenden Abdampfes entspannt, dieser Abdampf wird anschließend im Kondensator niedergeschlagen. Die anfallende Kondensationswärme muss als Abwärme an die Umgebung abgeführt werden, sie stellt den größten Verlust eines Kondensationskraftwerkes dar.

##### ***Gegendruckbetrieb***

Dieser Prozess wird bei KWK-Anlagen angewendet und zeichnet sich dadurch aus, dass die zu erzeugende Wärmemenge sich an der Wärmenachfrage orientiert und die Stromerzeugung lediglich ein Koppelprodukt darstellt: Geht die Wärmenachfrage bspw. im Sommer zurück, verringert sich die im Prozess benötigte Dampfmenge und damit auch die Stromproduktion.

Im Gegensatz zum konventionellen Kondensationsbetrieb, bei dem der Abdampf möglichst vollständig entspannt wird, wird im Gegendruckbetrieb ein gewisser Anteil an Dampf benötigt um Wärme zu erzeugen. Daher wird hier der Dampf nur auf ein bestimmtes Mindestdruckniveau und damit ein bestimmtes Temperaturniveau entspannt. Der gesamte Dampf verlässt auf diesem Niveau die Turbine und steht somit vollständig für die Wärmeerzeugung zur Verfügung. Die Höhe des Gegendrucks bis zu welchem der Wasserdampf entspannt wird, richtet sich nach den Erfordernissen des Wärmeabnehmers. Je höher und je gleichmäßiger die Wärmenachfrage über das Jahr ist, desto sinnvoller ist der Einsatz dieses Prozesses (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001). Abbildung 14 veranschaulicht den Wasser-Dampf-Kreislauf eines Dampfturbinen-Heizkraftwerkes kleiner und mittlerer Leistung bei Gegendruckbetrieb:

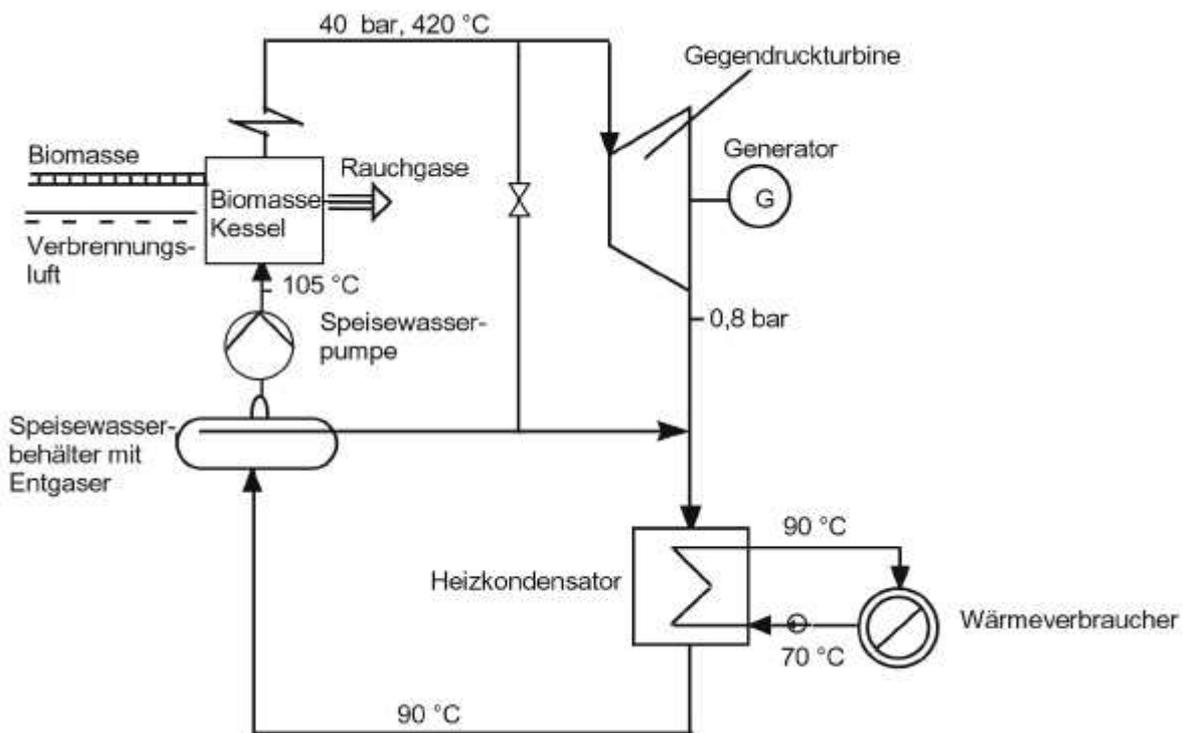


Abb. 14: Wasser-Dampf-Kreislauf eines Dampfturbinen-Heizkraftwerkes kleiner und mittlerer Leistung (bis etwa 20 MW Feuerungswärmeleistung) bei ausschließlichem Gegendruckbetrieb (FNR 2000)

### ***Entnahme-Kondensationsbetrieb***

Diese Technologie ist erst ab größeren Leistungsbereichen rentabel, da sie merklich höhere Investitionskosten verlangt. Ihr Vorteil liegt in der Entkopplung der Stromerzeugung von der Wärmenachfrage. Dabei besteht die Möglichkeit einen reinen Kondensationsbetrieb zu realisieren und den Dampf vollständig zu entspannen. Zusätzlich kann aber eine bestimmte Menge an Dampf aus dem Turbinenprozess entnommen und einer anderen Verwendung (z.B. der Erzeugung von Fernwärme) zugeführt werden. Wird keine Wärme benötigt, kann der gesamte Dampf in der Turbine zu Strom umgewandelt werden. Solche Anlagen lassen sich demnach einem schwankenden Wärmebedarf, z.B. dem einer Fernwärmeheizung anpassen.

### **4.2.5 Arbeitsmaschinen**

Als Arbeitsmaschinen können Verdränger- und Strömungsmaschinen eingesetzt werden. Bei ersteren handelt es sich um Dampfkolben- und Dampfschraubenmotoren, bei zweiteren um Dampfturbinen.

### ***Dampfmotor***

Das Einsatzgebiet von Dampfmotoren beschränkt sich auf den kleineren Leistungsbereich von etwa 50 kW bis 2 MW. Er stellt eine Weiterentwicklung der Kolbendampfmaschine dar. Dampfmotoren sind technisch ausgereift und für Anwendungsfälle mit jahres- und tageszeitlichen Schwankungen des Strom- und Wärmebedarfs gut geeignet. Grundsätzlich kann zwischen Dampfkolben- und Dampfschraubemotoren unterschieden werden. Der Frischdampfdruck von Dampfmotoren beträgt etwa 5 bis 25 bar.

Dampfmotoren sind seit den 50er Jahren in Verbindung mit Holzgefeuerten Kesseln als KWK-Maschine im Einsatz. Der modulare Aufbau und die robuste Ausführung qualifizieren ihn besonders für den kleinen und mittleren Leistungsbereich. So erlaubt das Modularsystem von drei Motoren-Baureihen eine zugeschnittene Anpassung der Maschine an das jeweilige Projekt. Der typische Bereich der meisten Anwendungsfälle liegt bei elektrischen Leistungen bis 1,5 MW.

### ***Dampfturbine***

Das Einsatzgebiet von Dampfturbinen liegt im mittleren und großen Leistungsbereich ab etwa 2 MW elektrisch. Im Bereich kleinerer Leistungen sind Dampfturbinen häufig nicht wirtschaftlich. Dabei handelt es sich um Strömungsmaschinen, in denen die Energie eines durchströmenden Arbeitsmittels (z.B. Dampf) zunächst in kinetische und diese dann in mechanische Rotationsenergie der Turbinenwelle übertragen wird. Diese Rotationsenergie wird zur Stromerzeugung an einen Generator übertragen, indem diese dann in elektrische Energie umgewandelt wird. Der elektrische Wirkungsgrad der Dampfturbinenprozesse wird im Wesentlichen durch die Dampfparameter vor und hinter der Turbine (d.h. Frischdampfzustand, Abdampfzustand) bestimmt. Dieser beträgt bei einigen MW Leistung im ausschließlichen Gegendruckbetrieb etwa 10 bis 20%. Anlagen in größerem Leistungsbereich von etwa 10 MW können bei entsprechend aufwendiger Anlagentechnik Wirkungsgrade von 20 bis 30 % erreichen. (Im Vergleich dazu liegen die elektrischen Wirkungsgrade von modernen Steinkohlekraftwerken mit einigen 100 MW elektrischer Leistung bei 45 bis 47 %). Für die Nutzung der Abwärme kommen im Leistungsbereich der Dampfturbinen industrielle Wärmeabnehmer und große Fernwärmenetze in Betracht (HÖRTNER et al. 2001).

### ***Netzeinspeisung***

Zur Netzeinspeisung kann bei kleineren Leistungen eine Niederspannungsschaltanlage (z.B. auf 0,4 oder 0,1 kV je nach Spannungsniveau) vorgesehen werden. Ab einer elektrischen Leistung von 1 MW sollte jedoch die Einspeisung auf Mittelspannungsniveau (3, 6, 10 oder 20 kV, je nach Spannungsniveau am Einbindungspunkt) erfolgen. Je nach Nennspannung des Generators ist zudem ein Transformator erforderlich.

## **4.2.6 Technische Anlagenkonzepte für kleine Biomassekraftwerke**

Im kleineren Leistungsbereich der Stromerzeugung zwischen 1 MW und 5 MW elektrisch gibt es neue Anlagenkonzepte: So wurde ein Biomasse-Heizkraftwerk auf der Basis eines Heißluftturbinenprozesses mit Schüttgutregeneratoren entwickelt. Dieses Kraftwerk arbeitet mit erprobten Feuerungen und Schüttgutregeneratoren, den so genannten Pebble-Heatern. Diese ermöglichen eine direkte Nutzung der Abgasenergie aus der Verbrennung von Biomasse durch eine Heißluftturbine. Dieser Anlagentyp bietet u.a. einen hohen elektrischen Wirkungsgrad von bis zu 30 % bzw. Gesamtwirkungsgrade bis zu 70 %. Außer-

dem ist ein wirtschaftlicher Betrieb auch bei ausschließlicher Stromerzeugung möglich. Weiterhin bietet dieser Anlagentyp aufgrund der hohen Temperaturen der Turbinenabluft eine Reihe von Kombinationsmöglichkeiten. Neben der Warmwasser- oder der Prozessdampferzeugung bestehen weitere Einsatzmöglichkeiten z.B. für nachgelagerte Trocknungsprozesse wie sie in der Land- und Forstwirtschaft vorkommen (DICHTL 2001).

### **4.3 Mitverbrennung von Biomasse in Kohlekraftwerken**

Eine Alternative zur ausschließlichen Verbrennung von Biomasse in Anlagen kleiner und mittlerer Größe ist die Mitverbrennung von Biomassen in kohlebefeueten Anlagen größerer Leistung. In den letzten Jahren wurden dazu Untersuchungen im Labormaßstab und an Pilot- und Großanlagen durchgeführt (FNR 2000).

Zwar unterliegt diese Art der Stromerzeugung durch das Ausschließlichkeitsprinzip nicht der Vergütung durch das EEG, die energetische Nutzung von Ganzpflanzen in diesem Zusammenhang hätte jedoch zukünftig sicher Auswirkungen auf den flächenbezogenen Anbau dieser Pflanzen.

Daher wird in der vorliegenden Untersuchung kurz auf Versuche zur Mitverbrennung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen in einem 100 MW Braunkohleblock eingegangen, die 1996 durchgeführt wurden. Bei den Versuchen kamen Biomasse-Presslinge aus Ganzpflanzengetreide, Getreidestroh und Landschaftspflegeaufwüchsen (verschiedene Gräser) zum Einsatz. Unter wirtschaftlichen Aspekten betrachtet, wird die Zufeuerung von Biomasse als die kostengünstigste Variante der Biomassennutzung beschrieben. Voraussetzung ist jedoch die kostengünstige und gesicherte Bereitstellung der Biomasse. Weiterhin müssen auch hier die technischen Randbedingungen berücksichtigt werden: Aus den technischen und genehmigungsrechtlichen Anforderungen resultiert ein erhöhter Aufwand für die Anlagentechnik. So müssen aufgrund des erhöhten Chlorgehaltes der Biomasse die Korrosionsschäden durch technische und betriebliche Maßnahmen minimiert werden.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt, der die Wirtschaftlichkeit beeinflusst, ist die Transportentfernung der Biomasse: Diese muss in einem maximalen Transportradius von 50 km zur Verfügung stehen (SCHIEBELSBERGER 2001). Insgesamt wird die Wirtschaftlichkeit im Rahmen eines weiteren Forschungsprojektes, bei welchen Energiepflanzen in Bezug auf ihre Eignung zur Mitverfeuerung in einem Kohlekraftwerk untersucht wurden, in einem bestimmten Rahmen positiver bewertet als die Neuerrichtung von ausschließlich mit Biomasse betriebenen Anlagen (MAIER et al. 1998).

### **4.4 Beispielanlagen**

Anhand mehrerer Beispielanlagen sollen die derzeitigen Anlagenkonzepte für Biomasseheizkraftwerke in verschiedenen Leistungsbereichen dargelegt werden.

#### ***Kleinanlagen***

Die erste Anlage mit einem elektrischen Leistungsgrad von 650 kW basiert auf der Entsorgung von Holz wie Landschaftspflegeschnitt. Die thermische Leistung beträgt 3.600 kW, die Abdampfwärme wird in ein örtliches Nahwärmenetz eingespeist. Da die verfügbare Wärmemenge den Bedarf übersteigt, wird zusätzlich ein Überschusskondensator betrieben (TILL 2001).

Ein weiteres Beispiel für kleine KWK-Anlagenkonzepte findet sich im schwäbischen Bietigheim-Bissingen. Dort werden in enger Kooperation mit den Kommunen seit 10 Jahren Biomasseheizkraftwerke

realisiert. Die Anlagen versorgen Schulen, Altenheime, Hallenbäder oder Kindergärten und Gartenbaubetriebe mit Wärme und Strom. Sie arbeiten auf Basis von Brennstoffen, die regional gewonnen werden. Dabei handelt es sich um naturbelassenes Waldholz, Holz aus der Landschaftspflege und aus Sägewerken (LÜTZENKIRCHEN 2003).

### **Anlagen mittlerer Leistungsgröße**

Bei den drei hier als Beispiele vorgestellten Biomasseheizkraftwerken handelt es sich um KWK-Anlagen mit einer Leistung von fünf MW. Die anfallende Wärme wird als Prozessdampf oder zur Wärmeversorgung im Fernwärmenetz genutzt. Die Anlagen in Hagenow, Feldberg und Demmin arbeiten mit Vorschubrostfeuerung auf Basis von Holzhackschnitzeln. Dieses hat sich für die Verbrennung bewährt (BLASCHTA 2001). Einen Überblick über die grundlegenden Daten der drei Kraftwerke gibt Tabelle 9.

Tab. 9: Technisch grundlegende Daten der drei Kraftwerke (BLASCHTA 2001)

<b>Kraftwerk Hagenow</b> In Betrieb seit 1. Quartal 1997	<b>Feldberg</b> In Betrieb seit 1. Quartal 1998	<b>Demmin</b> In Betrieb seit 1. Quartal 1999
Brennstoffe Holz gemäß 1.2 a), aa), bb), 4. BlmschV, ca. 75.000 t/a Durchsatz, Heizöl ca. 5.000 t/a Durchsatz	Holz gemäß 1.2 a), aa), bb), 4. BlmschV, ca. 50.000 t/a Durchsatz	Holz gemäß 1.2 a), aa), bb), Spalte 2 der 4. BlmschV mit einem Anteil bis zu 25% an der jeweils gefahrenen Feuerungswärmeleistung, mit Holzschutzmitteln behandeltes Holz, Holz mit halogenorganischen Beschichtungen gemäß Ziffer 1.3, Spalte 1 der 4. BlmschV; ca. 50.000 t/a Durchsatz
Kesselanlagen 1-3: Modul Geko TVR 3000/ Abhitzeessel; mit je 12,5 MW Feuerungswärmeleistung und 8,5 MW Wärmeabgabeleistung bei 64 bar, 450°C	Kesselanlagen 1-2: Modul Geko TVR 3000/Abhitzeessel; mit je 12,5 MW Feuerungswärmeleistung und 8,5 MW Wärmeabgabeleistung bei 64 bar, 450°C	Kesselanlagen 1-2: Modul Geko TVR 3000/Abhitzeessel; mit je 12,5 MW Feuerungswärmeleistung und 8,5 MW Wärmeabgabeleistung, bei 42 bar, 420°C
Kesselanlagen 4-7: Ölkessel, installierte Leistung 3 x 5,4 MW und 1 x 2,2 MW Abgabeleistung bei 20/13 bar	Kesselanlage 3: Ölkessel, installierte Leistung 5,0 MW	Ölkessel, installierte Leistung 2 x 6,5 MW
Rauchgasreinigung: Entstaubung für Kesselanlage 1-3	Rauchgasreinigung: Entstaubung für Kesselanlage 1-2	Entstaubung und Quench
Stromerzeugung Turbinenanlage mit 5,0 MW, BHKW erdgasbefeuert mit 0,5 MW	Turbinenanlage mit 5,0 MW	Turbinenanlage mit 5,0 MW, BHKW erdgasbefeuert mit 0,5 MW
Anlagen Kunde 1: Prozessdampf Wärmeverteilung 375 Trassenmeter, DN 200/50, Verlegung auf Stützen, Dampf-Dampf-Wärmetauscher mit 6,9 MW  Kunde 2: Prozessdampf 160 Trassenmeter, DN 100, Verlegung auf Sockel, 656 Trassenmeter, DN 100/40, erdverlegte SMR-Dampfleitung und KMR-Kondensatleitung Dampf-Dampf- Wärmetauscher 3,0 t/h	Fernwärmenetz: Kunststoffmantelrohr (KMR); Nennweite DN 80, Trassenlänge ca. 4,8 km (incl. Hausanschlussleitungen)  Vertraglich gebundene Leistung 3,229 MW VL-Temperatur: max. 105°C RL-Temperatur: max. 75°C	Kunde: Fernwärmeversorgung Hausanschlussleitungen 2 x DN 65, 80 Trassenmeter, Baubeginn Mai 2001

### *Anlagen großer Leistung*

Während die Entwicklung von Biogasanlagen eher schleppend in Gang kam, setzte mit den wirtschaftlichen Möglichkeiten, die das EEG schuf ein regelrechter Boom auf geeignete Standorte für große Biomassekraftwerke ein (Tab. 10). Allerdings spielt bei der Planung das Problem der Brennstoffversorgung eine große Rolle, da mehrere Tausend Tonnen Material bereitgestellt werden müssen. Eine Finanzierung der Kraftwerke durch Banken ist aber an den Nachweis langfristiger Altholz-Lieferverträge gebunden. Nach Auskunft von DILGER, Projektleiter Biomasse am Institut für Energetik und Umwelt, gibt es derzeit jährlich etwa 6 Mio. Tonnen Altholz, aktuell werden ca. 4,5 Mio. Tonnen Altholz gehandelt, davon werden ca. 60 % von zwei bis drei großen Händlern kontrolliert (DILGER 2003, mündlich).

Tab. 10: Liste der von den Energie-AGs geplanten Biomassekraftwerke (Stand 2003  
- verändert nach LÜTZENKIRCHEN 2003)

<b>Standort</b>	<b>Leistung MWel</b>	<b>Bedarf MWth</b>	<b>Brennstoff 1.000 t</b>
Landesbergen	20,0	*AM	130 Altholz, Stroh, *a Energiepflanzen
Emden	20,0	*AM	130 Altholz, Stroh, *a Energiepflanzen
Zolling	20,0	*Fern	130 Altholz, Stroh, *a Energiepflanzen
Delitzsch	20,0	*AM	130 Altholz, Stroh, *a Energiepflanzen
Wismar	5,0	21,0	80 Rinde, Gebrauchtholz
Ulm	9,6	46,5	140 Gebrauchtholz, Frischholz
Pforzheim	13,0	27,0	100 Gebrauchtholz
Kehl am Rhein	8,6	41,0	100 Altholz
Bergkamen	20,0	23,0	143 Altholz
Berlin-Gropiusstadt	20,0	60,0	200 Gebrauchtholz, Frischholz
Königs Wusterhausen	20,0	k. A.	130 Altholz
Mannheim	20,0	k. A.	124 Altholz
Flörsheim-Wicker	15,0	k. A.	100 Altholz
Silbitz	5,6	k. A.	55 Altholz
Helbra	5,8	2,5	50 Altholz
Bad Fredeburg	15,0	50,0	100 Altholz, Holz- häcksel, Rinde
<b>SUMME</b>	<b>237,6</b>	...	<b>1.842</b>

\*a: schwerpunktmäßig, auch andere Biobrennstoffe möglich

\*AM: Auskopplung möglich, Absatz noch offen

\*Fern: Einspeisung von Wärme in vorhandenes Fernwärmenetz vorgesehen

Eines der großen Probleme bei diesen Anlagen stellt außerdem die sinnvolle Wärmeverwertung dar. Nur wenn konstante Wärmeabnehmer in der Nähe sind, kann die Abwärme effizient genutzt werden. Selbst

bei der Einspeisung von Fernwärme in ein Netz besteht das Problem, dass Wärme in größerem Umfang nur in der kalten Jahreszeit benötigt wird (LÜTZENKIRCHEN 2003).

Am Beispiel der Anlage in Landesbergen soll kurz auf die Problematik des Einsatzes von Energiepflanzen in Konkurrenz zu Altholz eingegangen werden. Bei dieser Anlage handelt es sich um ein Biomasseheizkraftwerk im großen Leistungsbereich von 20 MW, welches in Landesbergen Ende 2003 in Betrieb genommen werden sollte. Drei weitere, baugleiche Kraftwerke sind in Planung (Tab. 10, Abb. 15).

Eine Nachfrage beim Kraftwerk in Landesbergen nach dem Einsatz von Energiepflanzen als zukünftige Brennstoffe ergab, dass zunächst nur der Einsatz von Altholz geplant ist. Unter technischen Aspekten sei ein Einsatz von Energiepflanzen zwar möglich, die Bereitstellungskosten für diesen Brennstoff sind unter den derzeitigen Rahmenbedingungen im Vergleich mit Altholz jedoch nicht wirtschaftlich. Die Anlage ist gemäß der 17. BImSchV ausgelegt. Die 17. BImSchV gilt für Feuerungsanlagen, die mit Rest- und Altholz, das mit Holzschutzmitteln behandelt ist, betrieben werden. Beim Einsatz von Energiepflanzen werden laut Auskunft daher keine Emissionsgefährdungen erwartet (TAUBER 2003, mündlich).

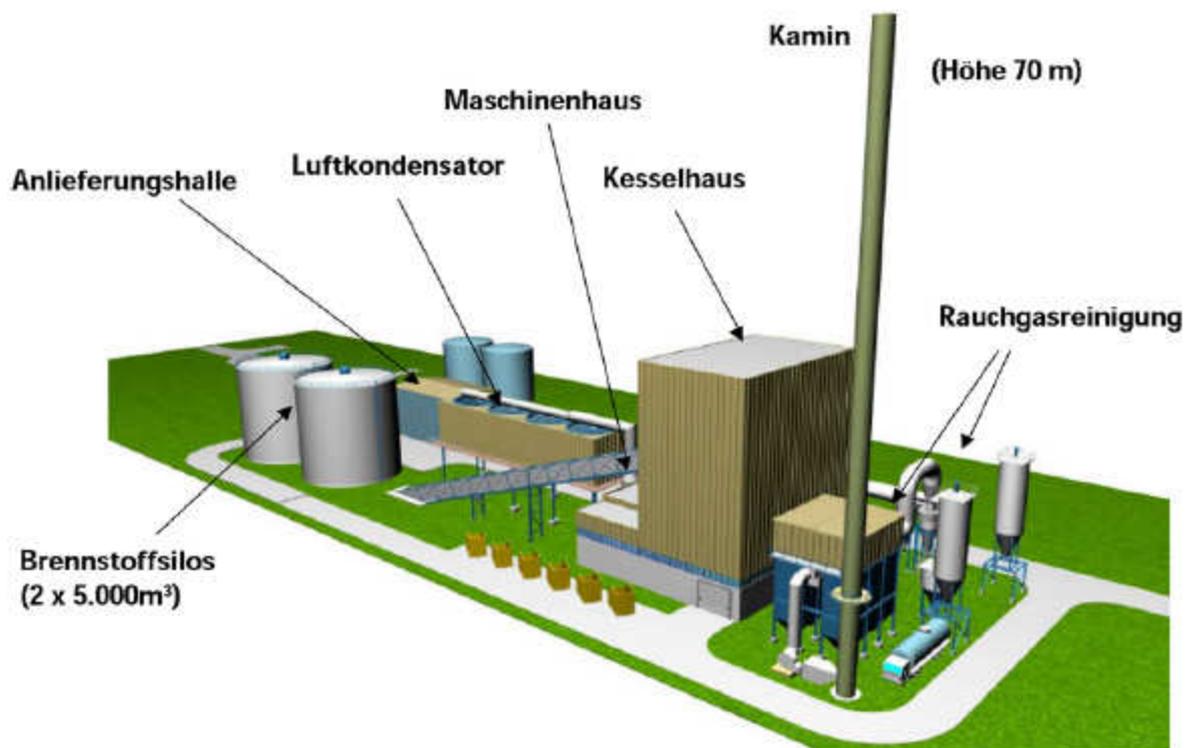


Abb. 15: Biomasse HKW-Landesbergen (E.ON KRAFTWERKE GMBH 2003)

## 4.5 Anforderungen an Biomassefraktionen zur energetischen Verwertung durch Dampfkraftprozesse

Grundsätzlich stehen Anforderungen, die an einzusetzende Biomassefraktionen bestehen, in einem engen Zusammenhang mit der verwendeten Technologie, in der sie zum Einsatz kommen sollen. So verfügen biogene Festbrennstoffe über eine Reihe von Brennstoffeigenschaften, welche sie von fossilen Energieträgern unterscheiden. Diese müssen bei der Planung und Gestaltung der jeweiligen Anlagen berücksichtigt werden.

Die Techniken zur Verbrennung von Holz sind weitgehend erprobt und ausgereift. Die energetische Nutzung anderer Biomassen, vor allem auch halmgutartiger Energieträger ist bislang wenig erprobt und für die entsprechenden Anlagen liegen nur sehr geringe Betriebserfahrungen vor.

### 4.5.1 Aufbereitung der Brennstoffe zur energetischen Nutzung

Zunächst soll ein Überblick über die verschiedenen **Aufbereitungsformen** der Biomasse gegeben werden, welche eine Anpassung des Brennstoffes an die jeweilige Konversionsanlage gewährleisten. In den meisten Fällen kommt es dabei zu einer Qualitätsverbesserung.

Holzartige Brennstoffe können als Stückholz, Hackschnitzel oder Pellets energetisch verwertet werden. Holz wird meist in Form von Hackschnitzeln energetisch genutzt. Diese haben Abmessungen von 3 bis 10 cm<sup>2</sup> im Querschnitt bei einer maximalen Länge von 8 bis 25 cm. Bislang existiert in Deutschland noch keine Standardisierung für Hackschnitzel. Häufig erfolgt eine Anlehnung an die in Österreich existierende ÖNORM M7133. Abbildung 16 zeigt die Leistungsbereiche, in welchen Holzbrennstoffe zum Einsatz kommen.

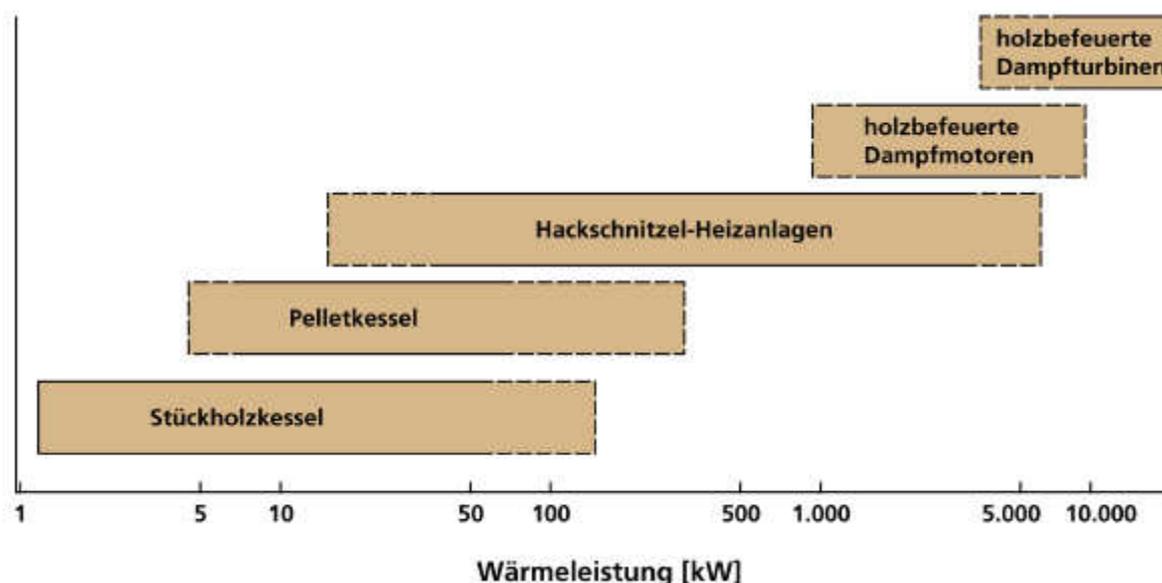


Abb. 16: Leistungsbereiche für unterschiedliche Aufbereitungsformen von Holzbrennstoffen (NIEDERSÄCHSISCHE ENERGIE-AGENTUR 2000)

Bei Halmgütern bietet sich die Ballenform an (entweder Quader- oder Rundballen in Anpassung an das jeweilige Erntegut), auch Häckselgut, Pellets oder Briketts können zum Einsatz kommen.

In Zusammenhang mit den Aufbereitungsformen stehen auch die Lagereigenschaften. Die Lagerung stellt ein notwendiges logistisches Element zur Überbrückung der Zeitspanne zwischen dem Anfall und der energetischen Nutzung der Brennstoffe dar. Die Aufbereitungsform hat entscheidenden Einfluss auf den Lagerraumbedarf und damit auf die Wirtschaftlichkeit. Im Vergleich zu Heizöl als fossilem Brennstoff haben biogene Festbrennstoffe eine erheblich niedrigere Schütt- und Energiedichte (Energiegehalt pro Volumen). So ergibt sich für Hackschnitzel im Vergleich zu Heizöl rund das 10-fache, für Strohballen rund das 17fache an Lagerraumbedarf (Tab. 11).

Weiterhin stellt ein hoher Wassergehalt im Brennstoff ein Risiko dar, weil dadurch biologische Abbauprozesse im Brennmaterial entstehen. In Folge dessen kann es zu Substanzabbau und Pilzsporenbildung kommen. Um dem vorzubeugen werden die Brennstoffe häufig einer Trocknung unterzogen. Diese erhöht die Lagerfähigkeit von Brennstoffen und verbessert die feuerungstechnischen Eigenschaften durch den gestiegenen Heizwert. Bei halmgutartigen Gütern muss bei der Lagerung außerdem die Gefahr der Selbstzündung des Materials berücksichtigt werden.

Tab. 11: Durchschnittliche, für die Lagerung von Energieträgern relevante Werte (FNR 2000)

Energieträger	Wassergehalt	Heizwert (Hu)		Schüttdichte	Auf Energieinhalt bezogenes Volumen		
		kWh/kg	MJ/kg		t/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /MWh	m <sup>3</sup> /GJ
Einheit	%						
Holz hackschnitzel (Mittelwert)	15	4,3	15,5	0,24	1,0	0,28	10
- Laubholz	15	4,3	15,5	0,27	0,9	0,25	9
- Nadelholz	15	4,3	15,5	0,21	1,2	0,33	12
Strohballen kubisch	15	4,0	14,4	0,15	1,7	0,47	17
Heizöl extraleicht		11,9	42,8	0,84	0,1	0,03	1
Steinkohle	6	8,3	29,9	0,87	0,1	0,03	1,4

#### 4.5.2 Heiz- und Brennwerte der Energiepflanzen

Der Heizwert bezeichnet die Wärmemenge, welche bei der vollständigen Oxidation des Brennstoffs ohne Berücksichtigung der Kondensationswärme (Verdampfungswärme) des im Abgas befindlichen Wasserdampfs freigesetzt wird.

Biogene Festbrennstoffe sind im Vergleich zu fossilen Energieträgern, wie bspw. Steinkohle durch niedrigere Heizwerte gekennzeichnet. Mit zunehmender Feuchtigkeit verringert sich der Heizwert (Abb. 17). Somit ist der Wassergehalt die wesentliche Einflussgröße, die den Heizwert biogener Festbrennstoffe bestimmt. Weiterhin beeinflusst der Wassergehalt die Lagerungseigenschaften (s.o.). Bei Wassergehalten über 16 % werden in der Regel biologische Abbauprozesse in Gang gesetzt, die mit einem Verlust an Heizwert einhergehen. Insgesamt schwankt der Wassergehalt biogener Festbrennstoffe zwischen ca. 10 und 65 %. Diese Schwankungen sind abhängig von der Biomasse, der Jahreszeit und dem Zeitraum zwischen der Verfügbarmachung und der energetischen Nutzung. So liegt der Wassergehalt von Pappeln aus Kurzumtriebsplantagen zum Erntezeitpunkt bei ca. 50 %. Dies entspricht ca. 8,0 GJ/t bzw. 2,2 kWh/kg.

Der Heizwert wird wesentlich stärker vom Wassergehalt als von der Art der Biomasse beeinflusst. Deshalb werden die Heizwerte unterschiedlicher Brennstoffe stets für absolut trockene Biomasse verglichen. Trockenes Halmgut hat einen lediglich um 6 % bis 9 % geringeren Heizwert als trockenes Holz. Der Heizwert von Holzbrennstoffen liegt bei ca. 16,5 bis 17,5 MJ/kg. Als Faustregel gilt, dass 2,5 kg lufttrockenes Holz etwa einen Liter Heizöl (etwa 10 kWh) ersetzen können (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001).

Um den Jahresbrennstoffgehalt von Pflanzen auf die Fläche bezogen zu ermitteln, müssen der Masseertrag und der Heizwert miteinander multipliziert werden. Dieser Wert ist relevant, wenn überschlägig abgeschätzt werden soll, ob eine geplante Versorgungsaufgabe mit den vorhandenen Festbrennstoffen einer Region abgedeckt werden kann (FNR 2000). Tabelle 12 gibt einen Überblick über die typischen Massenerträge der wesentlichsten Energieträger.

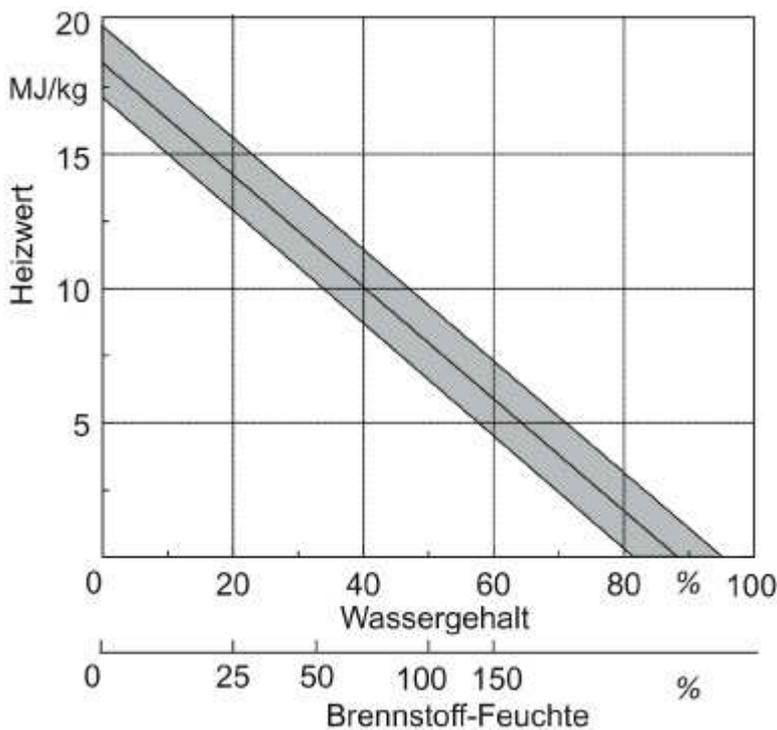


Abb. 17: Abhängigkeit zwischen Wassergehalt bzw. Brennstoff-Feuchte und Heizwert am Beispiel eines Holzbrennstoffs (FNR 2000)

Tab. 12: Typische (erntbare) Massen- und Energieerträge in der Land- und Forstwirtschaft (FNR 2000)

	Biomasse- Festbrennstoff	Zugrunde gelegter Massenanfall* in t/(ha a)	Mittlerer Heizwert Hu** in MJ/kg	Bruttojahres- Brennstoff- ertrag in GJ/(ha a)	Heizöl- Äquivalent in l/(ha a)
Rück- Stände	Waldrestholz	1	15,5	15,5	431
	Getreidestroh	5	14,5	72,5	2.014
	Rapsstroh	3,5	14,5	50,8	1.410
	Landschaftspflegeheu	4	14,5	58,0	1.611
Energie- pflanzen	Ganzpflanzengetreide (z.B. Triticale)	12	14,5	174	4.833
	Futtergräser (z.B. Rohrschwinkel)	8	14,5	116	3.222
	Miscanthus (ab dem 3. Jahr)	15	14,5	217,5	6.042
	Kurzumtriebsplantagen* (z.B. Pappeln und Wei- den)	12	15,5	186	5.167

\* : Dieser Brennstoff wird meist im feuchteren Zustand (45 – 55 % Wassergehalt) verwertet

\*\* : bei W = 15 %

#### 4.5.3 Weitere Eigenschaften von Holz- und halmartigen Brennstoffen

Der **Aschegehalt** eines Brennstoffes hat Auswirkungen sowohl auf die Umweltbelastungen als auch auf die technische Auslegung einer Feuerungsanlage. Mit zunehmendem Aschegehalt steigen die freigesetzten Staubfrachten bzw. der Aufwand für eine Entstaubung.

Hohe Aschegehalte beeinflussen auch den Heizwert negativ. Insgesamt liegt der Aschegehalt von Halmgütern höher als der von Holzbrennstoffen, der in der Regel bei 0,5 % der Trockenmasse liegt. Lediglich

bei Holz aus Kurzumtriebsplantagen liegt der Aschewert mit 2 % höher, da der Rindenanteil beim jungen Holz noch relativ hoch ist (FNR 2000).

Bei Halmgütern wie Stroh oder Chinaschilf können die Aschegehalte in der Trockenmasse bei ca. 3 bis 6 % liegen, also weitaus höher als im Vergleich mit naturbelassenen Hölzern. Der Aschegehalt stellt gemeinsam mit den folgenden Stoffen einen emissionsrelevanten Inhaltsstoff dar. Gehalte an Stickstoff, Schwefel und Chlor sind für Emissionen von  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  und HCl verantwortlich und deshalb unerwünschte Bestandteile eines Brennstoffes. Vor allem Halmgüter weisen gelegentlich höhere Chlorgehalte auf, bei denen das Chlorid über die Düngung in die Pflanze gelangt (FNR 2000).

Gegenüber Kohlebrennstoffen liegen der Stickstoff- und Schwefelgehalt bei biogenen Festbrennstoffen auffallend niedrig (mit leichten Vorteilen von Holz gegenüber Halmgütern).

Ebenso problematisch sind die geringen **Ascheerweichungstemperaturen** von Halmgütern im Vergleich mit Holz. Dadurch erhöht sich das Risiko der Versinterung und Verschlackung in der Feuerung und erweichte Asche kann im Feuerraum anbacken. Dabei wurden bspw. in strohgefeuerten Anlagen in Dänemark Probleme durch die höheren Alkali- und Chlorgehalte im Brennstoff festgestellt. Bei Dampf-Heizkraftwerken ist durch das Chlor ein verstärktes Auftreten von Hochtemperaturkorrosion an den Überhitzerheizflächen zu befürchten, die mit zunehmender Dampftemperatur ansteigt. Aus diesem Grund sollte die Frischdampftemperatur in Abhängigkeit vom Chlorgehalt verringert werden. Dies führt allerdings zu einer geringeren Stromausbeute.

Die bei Halmgütern im Vergleich zu Holz sehr niedrigen Ascheschmelzpunkte verlangen eine andere Verbrennungsführung, d.h. eine eher kalte Verbrennung, die jedoch die Gefahr erhöhter Kohlenmonoxidemissionen birgt (VETTER 2001).

In der Praxis hat die Nutzung **halmgutartiger Energiepflanzen** zur Stromerzeugung in Dampfkraftprozessen bisher keine nennenswerte Größenordnung erreicht. Dies ist größtenteils auf die im Vergleich zu Holz angeführten, sehr viel ungünstigeren Brennstoffeigenschaften zurückzuführen: Im Hinblick auf die feuerungstechnischen Wirkungsgrade ergeben sich zwar kaum Unterschiede zwischen Holz und Halmgütern, doch v. a. der Gehalt an kritischen Inhaltsstoffen bei Halmgütern führt zu folgenden Nachteilen (Vetter 2001, Weiss 2001):

- Bildung von emissionsrelevanten Inhaltsstoffen (im Wesentlichen N, Cl und Asche), sowie sehr hohe Staubbelastung. Bspw. steigen Stickstoffoxid-Emissionen bei Brennstoffen aus Einjahrespflanzen im Durchschnitt um das Zwei- bis Vierfache gegenüber Holz an, Staubemissionen um das Fünffache. Am drastischsten ist die Zunahme des Chlorgehaltes. Bei der Messung von anorganischen Chlorverbindungen wie HCl ergaben sich um das 16 bis 107fach erhöhte Werte im Vergleich zu Fichtenholz)
- Luftschadstoffe führen zu Korrosion und Verschlackung von Feuerraum oder Wärmeübertragungsflächen
- geringes Ascheerweichungsverhalten, dadurch Anbacken und Anhaften in der Anlage.

Emissionsschutzrechtlich wird der Einsatz von Halmgütern zur energetischen Nutzung erschwert. Aus der Novellierung der TA Luft 2002 ergeben sich verschärfte Grenzwerte für Staub, CO und  $\text{NO}_x$  (Weiss 2001).

#### 4.5.4 Kriterien für die energetische Nutzung halmgutartiger und holzartiger Brennstoffe

Aus den vorangegangenen Ausführungen lassen sich zusammenfassend folgende Kriterien, die beim Einsatz von Holz- und halmgutartigen Brennstoffen berücksichtigt werden müssen, ableiten:

Im Hinblick auf den Anbau und die Ernte:

- hohe Trockenmasseerträge
- Standortgerechtigkeit (klimatische Faktoren, Bodenbeschaffenheit)
- Erntezeitpunkt

Im Hinblick auf die Verbrennungsführung:

- Aufbereitungsmöglichkeiten (Ballengut, Häckselgut, Pellets)
- Heiz- bzw. Brennwert
- Emissionen
- Ascheverwertbarkeit

Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit:

- Bereitstellungskosten für Anbau, Pflege, Ernte, Lagerung

Dabei sind diese Anforderungen ineinander verzahnt. So werden bspw. sowohl die Verbrennungseigenschaften als auch die Schadstoffemissionen durch die Aufbereitungsmöglichkeiten (Ballen- oder Pelletform) beeinflusst, diese sind wiederum eng mit den Bereitstellungskosten und somit der Wirtschaftlichkeit verbunden.

##### ***Anbaukriterien***

Bezogen auf den Anbau von Pflanzen die in Verbrennungsanlagen eingesetzt werden, müssen folgende Anforderungen berücksichtigt werden (E.ON -KRAFTWERKE 2003)

- hohe Trockenmasseerträge
- benötigte terminierte Anbaureife
- geringe Wassergehalte
- geringe Aschegehalte
- geringe Schwefelgehalte
- geringe Stickstoffgehalte

Wie schon erwähnt, stellt auch Chlor einen problematischen Inhaltsstoff dar. Wenn ausreichend Chlor zur Verfügung steht, reichert es sich in den Pflanzen bis zur Reife auch über den pflanzenphysiologischen Bedarf hinaus an. Es ergeben sich Ansatzpunkte für eine Senkung des Chlorgehaltes durch die Wahl des Erntezeitpunkts. Ganzpflanzengetreide sollte daher zur Totreife geerntet werden (VETTER 2001).

Herkömmlich angebautes Back- und Futtergetreide wird nach dem Eiweißgehalt bewertet. Dieser ist von der Menge und dem Zeitpunkt der Düngung abhängig. Bei der thermischen Nutzung von Getreidepflanzen ist ein hoher Eiweißgehalt unerwünscht, weil dadurch hohe Mengen an NO<sub>x</sub>-Verbindungen entstehen.

Daher müssen zur energetischen Nutzung spezielle Sorten mit niedrigen Eiweißgehalten und hohen Biomasserträgen ausgewählt bzw. gezüchtet werden (SCHEFFER 2002).

Einer Empfehlung der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft entsprechend sollten aufgrund von Schadstoffausstößen zunächst vorrangig Ganzpflanzengetreide (Triticale) sowie Miscanthus zur Verbrennung genutzt werden. Bei der Strohfeuerungsanlage in Schkölen wurden in den letzten Jahren zahlreiche Versuche zur Eignung verschiedener Pflanzen als Brennstoff durchgeführt (HERING 2001). Tabelle 13 zeigt die eingesetzten und empfehlenswerten Brennstoffe in den Strohheizwerken Schkölen und Jena-Zwätzen. Als besonders günstig erwiesen sich nach dieser Zusammenstellung Triticale (Stroh und Ganzpflanze), Winterweizenstroh und Ölleinstroh.

Tab. 13: Zur Wärmeerzeugung und Versuchszwecke eingesetzte Fruchtarten in den Strohheizwerken Schkölen und Jena-Zwätzen 1994-2001 (SCHEFFER 2002)

Fruchtarten	Schkölen		Jena	
	Stroh	Ganzpflanze	Stroh	Ganzpflanze
Winterweizen	o	x	o	
Wintertriticale	o	o	o	o
Winterroggen		x		
Bergroggen		x	x	
Sommergerste	x			
Hafer	x		x	
Raps	x			
Öllein	o		x	
Hanf	x		x	
Landschaftspflegeheu			x	
Feldgras	x		x	

x: eingesetzte Brennstoffe

o: empfehlenswerte Brennstoffe

#### 4.6 Fazit

Der Dampfkraft-Prozess ist das Verfahren mit dem die Stromerzeugung fester Biomassen derzeit technisch und ökonomisch gesichert realisiert werden kann. Dabei können sowohl KWK-Anlagen als auch reine Stromerzeugungsanlagen zum Einsatz kommen. Häufig gebietet jedoch die „energetische Vernunft“, eingesetzte Brennstoffe optimal zu nutzen und somit auch die Abwärme sinnvoll zu verwerten. Auch unter wirtschaftlichen Aspekten ist dies, ähnlich wie bei den Biogasanlagen, meist unumgänglich.

Bei den zum Einsatz kommenden Biomassen sind die Techniken für Holzverbrennung weitgehend ausgereift und unter technischen als auch ökonomischen Gesichtspunkten realisierbar. Der Brennstoffbedarf für diese in erster Linie mit Altholz betriebenen Anlagen wird mit 120.000 bis 180.000 t/a angegeben. Zum Einsatz können etwa 34 % des technischen Erzeugungspotenzials an Alt- und Industrieholz genutzt werden, die bis 2004 etwa 600 MW elektrischer Leistung produzieren. Unter technischen Aspekten ist eben-

falls die Verwendung von Waldrestholz, Kurzumtriebsplantagenholz und Landschaftspflegeholz denkbar. Allerdings steht die Bereitstellung der Biomasse in engem Zusammenhang mit der Wirtschaftlichkeit der Anlagen.

Problematisch ist die Verwendung von Halmgütern aufgrund der verbrennungstechnisch ungünstigen Eigenschaften und der damit verbundenen höheren Investitionskosten. Hier fehlen bislang die technischen Anlagenvoraussetzungen, um eine entsprechende Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten. Durch bestimmte Anbauverfahren können diese ungünstigen Eigenschaften zwar verringert werden, allerdings fehlt es hier noch an systematischen Untersuchungen. Halmgutartige Brennstoffe haben daher bislang in der Praxis keine nennenswerte Größenordnung erreicht (HARTMANN 2001).

Vorstellbar ist jedoch die Mitverbrennung von Halmgütern in großen Kohlekraftwerken, bei einer ökonomisch tragfähigen Bereitstellung von Biomasse in einem Umkreis von 50 km. Unter wirtschaftlichen Aspekten ist insgesamt ein hoher Energieertrag, bzw. -gewinn bei niedriger Anbauintensität anzustreben. Aus Sicht der Landwirtschaft und zur Erhaltung ländlicher Strukturen sollte bei der Mitverbrennung von großen Mengen halmgutartiger Biomasse darauf geachtet werden, dass die Wertschöpfung aus der Produktion nachwachsender Rohstoffe bei den landwirtschaftlichen Betrieben verbleibt.

## **5 Fördermaßnahmen und politische Rahmenbedingungen sowie ihre Auswirkungen auf Anbau und Nutzung von Biomasse hinsichtlich naturschutzrelevanter Gesichtspunkte**

Bislang erfolgt die Biomasseverwertung im Rahmen der Nutzung vorhandener Reststoffe aus der Forst- und Landwirtschaft, der Landschaftspflege und dem Altholzbereich.

Inwiefern sich in Zukunft räumliche Auswirkungen der Biomassenutzung ergeben, vor allem was den Umfang des Energiepflanzenanbaus anbelangt, ist auf energie- und wirtschaftspolitischer Ebene abhängig von folgenden Faktoren:

- Energiepolitische Weichenstellung
- Förderung und Marktsituation im Energiesektor
- Förderung und Marktsituation in der Landwirtschaft

Derzeit können die räumlichen Auswirkungen der Biomassenutzung als gering angesehen werden, da die Biomassenutzung in Deutschland noch von geringer Bedeutung ist. Betrachtet man die Situation am Beispiel des Bundeslandes Niedersachsen, so lässt sich zunächst eine geringe Anzahl von Anlagen zur Stromerzeugung feststellen. Bislang existieren etwa 150 Biogasanlagen in Niedersachsen, in Südniedersachsen sind es bspw. nur 17 Biogas- bzw. Hackschnitzelanlagen. Weiterhin existieren eine Reihe von Holzhackschnitzelanlagen zur Wärmeerzeugung, der Großteil bewegt sich in einem Leistungsbereich von weniger als 150 kW thermischer Leistung (WITTENBECHER 2003). Im Vergleich dazu hat z.B. Oberösterreich mit einer Einwohnerzahl von nur 1,4 Millionen bereits ca. 17.000 Holzheizanlagen installiert (WITTENBECHER 2003). Gleichwohl kommt der Biomassenutzung nach der Windkraft in Deutschland das größte Wachstumspotenzial zu.

Im Folgenden werden alle politischen Rahmenbedingungen als auch gesetzlichen Bestimmungen und Förderprogramme, die sich auf den Anbau und die Nutzung von Biomasse auswirken, dargelegt. Auch wird ein kurzer Überblick über die genehmigungsrechtlichen Bestimmungen zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen gegeben. Im Anschluss erfolgt eine bewertende Einschätzung im Hinblick auf die absehbare Entwicklung bei der Errichtung neuer Anlagen. In diesem Zusammenhang werden auch die räumlichen Auswirkungen besonders im Hinblick auf den zu erwartenden Umfang des Energiepflanzenanbaus eingeschätzt.

### **5.1 Politische internationale Ausbauziele für Erneuerbare Energien**

#### ***Kyoto-Protokoll***

Vor dem Hintergrund des Klimaschutzes verpflichteten sich die Industriestaaten im Kyoto-Protokoll von 1997, ihren Ausstoß von Treibhausgasen im Zeitraum 2008 bis 2012 gegenüber dem Jahr 1990 um durchschnittlich 5,2 % zu senken. Für die EU-Mitgliedsstaaten wurden 1998 im Rahmen der EU-weiten Lastenteilung ("burden-sharing") verbindliche Quoten festgelegt. Daraus ergab sich für die BRD von 2008 bis 2012 eine Senkung um 21 % gegenüber 1990 ((KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN 1997, STAIB 2001).

#### ***Weißbuch der Kommission zu erneuerbaren Energien***

Im November 1997 veröffentlichte die Europäische Kommission ihr Weißbuch "Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger" (KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN 1997). Im Gegensatz

zu vielen anderen politischen Erklärungen setzt das Weißbuch eindeutige quantitative Ziele. So wird eine Verdopplung des Anteils der Erneuerbaren Energien (EE) am Bruttoenergieverbrauch von etwa 6 % im Jahre 1995 auf 12 % im Jahr 2010 angestrebt. Zwar sind dies keine rechtsverbindlichen Vorgaben, jedoch sollen damit klare politische Signale gesetzt werden.

Weiterhin werden Richtwerte für Einzeltechnologien gesetzt: So soll der Anteil der Biomasse an der gesamten Energieversorgung von 3,3 % auf 8,5 % ansteigen. Die Hälfte des Zuwachses soll dabei über die Nutzung von Energiepflanzen abgedeckt werden, während die andere Hälfte auf bislang ungenutzte Potenziale land- und forstwirtschaftlicher Abfälle entfällt (STAIB 2001). Dies lässt einen bedeutenden Anstieg des Anbaus von Energiepflanzen erwarten.

Integraler Bestandteil der EU-Gemeinschaftsstrategie ist die *Campaign for Take-Off* (Kampagne für den Durchbruch erneuerbarer Energien), durch die so genannte Schlüsselbereiche, insbesondere die Biomassenutzung, gefördert werden, wobei sich die Anwendungen auf die Bereiche Wärme, Elektrizität und Transport erstrecken. Bei den biogenen Festbrennstoffen liegen die Zielvorgaben bis Ende 2003 bei 10.000 MW<sub>th</sub> für Blockheizkraftwerke auf Biomassebasis und bei einer Million mit Biomasse beheizten Wohnungen. Weiterhin sollen Biogasanlagen mit einer Leistung von 1000 MW<sub>th</sub> gefördert werden (KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN 1997).

### ***EG-Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energien***

Vor dem Hintergrund des Klimaschutzes wurden politische Ausbauziele innerhalb der EU und Deutschlands formuliert. Um den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung im Elektrizitätsbinnenmarkt zu steigern, wurde am 27. September 2001 vom Rat der Europäischen Union die Richtlinie für erneuerbare Energien (EE-Richtlinie) verabschiedet, die am 27. Oktober in Kraft trat (EU-RICHTLINIE 2001/77/EG). Dadurch wurde für den Strombereich ein gemeinsamer Rahmen innerhalb der EU geschaffen, um den Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten EU-Energieverbrauch auf 12 % bis zum Jahre 2010 zu verdoppeln. Die EE-Richtlinie fordert die einzelnen Staaten auf, wirksame Instrumente einzusetzen, um den Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energien gemeinschaftsweit von 14 % im Jahre 1997 auf 22 % für 2010 anzuheben.

Daraus ergaben sich Richtziele für die einzelnen Mitgliedsstaaten, die den Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch festlegten. Für Deutschland besteht das Richtziel in einer Steigerung auf 12,5 % bis zum Jahr 2010. Dies entspricht einer Verdopplung von rund 6,5 % gegenüber dem Jahr 2000 (EEG 2000). Dabei liegt es in der Hand der Mitgliedsstaaten mittels welcher Instrumente sie diese Ziele erreichen. Mit dem nachfolgend beschriebenen Erneuerbare-Energien-Gesetz hat die Bundesrepublik ein Instrumentarium geschaffen, um dieses Ziel zu erreichen.

## **5.2 Programme und Gesetze auf Bundesebene**

### ***Nationales Klimaschutzprogramm der Bundesregierung***

Im Oktober 2000 verabschiedete die Bundesregierung ein nationales Klimaschutzprogramm (INTERMINISTERIELLE ARBEITSGRUPPE CO<sub>2</sub>-REDUKTION 2000), mit dem Ziel, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß um bis zu 70 Millionen Tonnen zu reduzieren. Gleichzeitig soll der Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch bis 2010 auf 4 % verdoppelt und darüber hinaus weiter drastisch erhöht werden. Ausdrück-

lich gefordert wird darin „eine verstärkte Nutzung regenerativer Energien aus Biomasse“. Bereits im Jahr 1995 hatte sich die Bundesrepublik dazu verpflichtet, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2005, im Vergleich zu 1990, um 25 % zu senken (STAIB 2003).

**Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)**

Das zum 01.04.2000 in Kraft getretene Gesetz zum Vorrang erneuerbarer Energien (EEG 2000) löste das Stromeinspeisegesetz (StrEG) ab und regelt die Vergütungstarife regenerativer Energien in das Stromnetz. Es zielt auf eine Verdopplung des Stromanteils aus regenerativen Energiequellen bis zum Jahre 2010 (vgl. §1 EEG). Im Vergleich zum Vorgängermodell schreibt es sehr viel höhere und für die jeweiligen Energiequellen unterschiedliche Vergütungssätze vor, außerdem versucht es, einen fairen Belastungsausgleich auf Seiten der Netzbetreiber herzustellen (KLINSKI 2002).

Unter anderem regelt es die Verstromung von Biomasse und die Vergütung durch Elektrizitätsversorgungsunternehmen, die Netze für die allgemeine Versorgung betreiben (vgl. §5 EEG). Darunter fallen Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung bis einschließlich 20 MW als auch Deponie- und Klärgasanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung bis einschließlich fünf MW.

Je nach Leistungsgröße der Anlage wurden bislang unterschiedliche Vergütungssätze für eine Dauer von 20 Betriebsjahren gewährleistet (vgl. §9 EEG). Jährlich zum 01. Januar werden die Vergütungen für ab dem 01.01.2003 neu in Betrieb genommene Anlagen um jeweils ein Prozent gesenkt. Tabelle 14 listet die bisherigen nach § 5 EEG garantierten Mindestvergütungssätze auf.

Tab. 14: Mindestvergütungssätze für Biomasseanlagen bis 2003 nach dem EEG (2000)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Bis 500 kW</b> Cent/kWh	10,1	10	9,9	9,8	9,7	9,6	9,5	9,4	9,3
<b>Bis 5 MW</b> Cent/kWh	9,1	9	8,9	8,8	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4
<b>Bis 20 MW</b> Cent/kWh	8,6	8,5	8,4	8,4	8,3	8,2	8,1	8	7,9

Mit der Verkündung im Bundesgesetzblatt trat am 1. August 2004 das neue EEG in Kraft (EEG 2004). Damit werden die Vergütungen für Stromeinspeisungen erhöht (Tab. 15). Da zum Inkrafttreten des neuen Gesetzes das vorliegende Projekt bereits abgeschlossen war konnten die Änderungen in der vorliegenden Arbeit nicht mehr berücksichtigt werden. Es werden daher nur einige wenige wichtige Punkte ergänzt. Ansonsten wird auf den aktuell gültigen Gesetzestext verwiesen.

Die Vergütungssätze erhöhen sich um 2 Cent je Kilowattstunde, wenn der Strom in einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage gewonnen wird. Wird der Strom über Biogas im Kraft-Wärme-Kopplungsverfahren gewonnen, erhöht sich die Vergütung sogar um weitere 2 Cent je Kilowattstunde. Die genauen Förderbedingungen sind im EEG (2004) nachzulesen. Jährlich zum 01. Januar werden die Vergütungen für ab dem 01.01.2005 neu in Betrieb genommene Anlagen um jeweils 1,5 Prozent gesenkt.

Tab. 15: Mindestvergütungssätze für Biomasseanlagen ab 2004 (nach EEG 2004)

Anlagengröße	Vergütung allgemein Cent/kWh	Vergütung Biomasse* Cent/kWh	Vergüt. Holzverbrennung** Cent/kWh
bis 150 kW	11,5	17,5	14,0
bis 500 kW	9,9	15,9	12,4
bis 5 MW	8,9	12,9	11,4
ab 5 MW bis 20 MW	8,4	8,4	8,4

\* gilt nur bei ausschließlicher Verwendung von Gülle und von Pflanzenbestandteilen die in landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betrieben und im Rahmen der Landschaftspflege anfallen.

\*\* Wenn die Anlage auch Altholz der Kategorie AIII und AIV (Altholzverordnung 2002) beträgt die Vergütung lediglich 3,9 Cent je Kilowattstunde.

### ***Biomasse-Verordnung***

Während das Stromeinspeisegesetz (StrEG) die Definition des Begriffes Biomasse der Praxis überließ, sollte für das Nachfolgemodell die Grundlage geschaffen werden, ein möglichst breites Spektrum an potenziellen Energieträgern aus Biomasse zu erfassen, um dem klimapolitischen Interesse Rechnung zu tragen. Gleichzeitig sollte für die potenziellen Investoren von Anlagen die rechtsverbindliche Vergütungsfähigkeit des von Ihnen erzeugten Stroms gewährleistet werden (KLINSKI 2002).

So regelt die Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung bzw. kurz BiomasseV, in Kraft seit dem 28.06.2001) für den Anwendungsbereich des EEG, welche Stoffe als nutzbare Biomasse zur Stromerzeugung gelten. Außerdem werden die technischen Verfahren der Stromerzeugung und deren Umweltaforderungen bestimmt. Mit der Biomasseverordnung wurde es möglich, für Anlagen ab 5 MW eine Einspeisevergütung zu erhalten, da die entsprechenden Regelungen zuvor unter dem Vorbehalt des Erlasses der Verordnung standen (HENTSCHEL 2002).

Zunächst bietet die Verordnung eine allgemeine Definition für Biomasse im Anwendungsbereich des EEG. Der Begriff umfasst sämtliche Substanzen, die ausschließlich aus Stoffen pflanzlicher und/oder tierischer Herkunft bestehen oder deren Energiegehalt ausschließlich auf solche Stoffe zurückzuführen ist. Diese Definition wird durch einige speziellere Bestimmungen ergänzt, die jedoch nicht als abschließender Katalog zu verstehen sind (§2 BiomasseV) (KLINSKI 2002). Auch werden einige, theoretisch als Biomasse in Betracht kommende Stoffe ausgeschlossen, um bspw. umweltpolitisch unerwünschte Belastungen zu vermeiden oder um notwendige Abgrenzungslinien zu anderen erneuerbaren oder fossilen Energieträgern zu ziehen (§3 BiomasseV).

Weiterhin bestimmt die BiomasseV in § 2 Abs.3 Nr.5, dass als Biomasse auch "durch anaerobe Vergärung erzeugtes Biogas" anzuerkennen ist. Die Anerkennung als Biogas ist dann ausgeschlossen, wenn gemischte Siedlungsabfälle oder Gewässerschlämme der Gärsubstanz beigefügt wurden.

Für die Erzeugung von Biogas können alle Stoffe eingesetzt werden, für welche die BiomasseV auch im Übrigen anwendbar ist. Dies betrifft neben Abfällen aus der Land- und Forstwirtschaft auch alle Pflanzen, einschließlich des hierfür angebauten Getreides (vgl. § 2 Abs. 2 Nr.1 und 2 BiomasseV).

Nachfolgend werden die §§ 2 und 3 der Biomasseverordnung wiedergegeben (BIOMASSEVERORDNUNG 2001):

### *§ 2 Anerkannte Biomasse*

(1) Biomasse im Sinne dieser Verordnung sind Energieträger aus Phyto- und Zoomasse. Hierzu gehören auch aus Phyto- und Zoomasse resultierende Folge- und Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle, deren Energiegehalt aus Phyto- und Zoomasse stammt.

(2) Biomasse im Sinne des Absatzes 1 sind insbesondere:

1. Pflanzen und Pflanzenbestandteile,
2. aus Pflanzen oder Pflanzenbestandteilen hergestellte Energieträger, deren sämtliche Bestandteile und Zwischenprodukte aus Biomasse im Sinne des Absatzes 1 erzeugt wurden,
3. Abfälle und Nebenprodukte pflanzlicher und tierischer Herkunft aus der Land-, Forst- und Fischwirtschaft,
4. Bioabfälle im Sinne von § 2 Nr. 1 der Bioabfallverordnung,
5. aus Biomasse im Sinne des Absatzes 1 durch Vergasung oder Pyrolyse erzeugtes Gas und daraus resultierende Folge- und Nebenprodukte,
6. aus Biomasse im Sinne des Absatzes 1 erzeugte Alkohole, deren Bestandteile, Zwischen-, Folge- und Nebenprodukte aus Biomasse erzeugt wurden.

(3) Unbeschadet von Absatz 1 gelten als Biomasse im Sinne dieser Verordnung:

1. Altholz, bestehend aus Gebrauchtholz (gebrauchte Erzeugnisse aus Holz, Holzwerkstoffe oder Verbundstoffe mit überwiegendem Holzanteil) oder Industrierestholz (in Betrieben der Holzbe- oder -verarbeitung anfallende Holzreste sowie in Betrieben der Holzwerkstoffindustrie anfallende Holzwerkstoffreste), das als Abfall anfällt, sofern nicht Satz 2 entgegensteht oder das Altholz gemäß § 3 Nr. 4 von der Anerkennung als Biomasse ausgeschlossen ist,
2. aus Altholz im Sinne von Nummer 1 erzeugtes Gas, sofern nicht Satz 3 entgegensteht oder das Altholz gemäß § 3 Nr. 4 von der Anerkennung als Biomasse ausgeschlossen ist,
3. Pflanzenölmethylester, sofern nicht Satz 4 entgegensteht,
4. Treibsel aus Gewässerpflege, Uferpflege und -reinhaltung,
5. durch anaerobe Vergärung erzeugtes Biogas, sofern zur Vergärung nicht Stoffe nach § 3 Nr. 3, 7, 9 oder mehr als 10 Gewichtsprozent Klärschlamm eingesetzt werden.

Satz 1 Nr. 1 gilt für Altholz, das Rückstände von Holzschutzmitteln enthält oder das halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung enthält, nur sofern es in Anlagen eingesetzt wird, deren Genehmigung nach § 4 in Verbindung mit § 6 oder § 16 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes zur Errichtung und zum Betrieb spätestens drei Jahre nach Inkrafttreten dieser Verordnung erteilt ist; als Holzschutzmittel gelten insoweit bei der Be- und Verarbeitung des Holzes eingesetzte Stoffe mit biozider Wirkung gegen Holz zerstörende Insekten oder Pilze sowie Holz verfärbende Pilze, ferner Stoffe zur Herabsetzung der Entflammbarkeit von Holz. Auf den Einsatz von Gas aus Altholz gemäß Satz 1 Nr. 2 findet Satz 2 entsprechende Anwendung. Satz 1 Nr. 3 gilt nur bei einem Einsatz in Anlagen, die spätestens drei Jahre nach

Inkrafttreten dieser Verordnung in Betrieb genommen werden oder, sofern es sich um nach den Vorschriften des Bundes-Immissionsschutzgesetzes genehmigungsbedürftige Anlagen handelt, deren Genehmigung nach § 4 in Verbindung mit § 6 oder § 16 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes zur Errichtung und zum Betrieb erteilt ist.

(4) Stoffe, aus denen in Altanlagen im Sinne von § 2 Abs. 3 Satz 4 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes Strom erzeugt und vor dem 1. April 2000 bereits als Strom aus Biomasse vergütet worden ist, gelten in diesen Anlagen weiterhin als Biomasse. Dies gilt nicht für Stoffe nach § 3 Nr. 4. § 5 Abs. 2 findet keine Anwendung.

### *§ 3 Nicht als Biomasse anerkannte Stoffe*

Nicht als Biomasse im Sinne dieser Verordnung gelten:

1. fossile Brennstoffe sowie daraus hergestellte Neben- und Folgeprodukte,
2. Torf,
3. gemischte Siedlungsabfälle aus privaten Haushaltungen sowie ähnliche Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen,
4. Altholz
  - a) mit einem Gehalt an polychlorierten Biphenylen (PCB) oder polychlorierten Terphenylen (PCT) in Höhe von mehr als 0,005 Gewichtsprozent entsprechend der PCB/PCT-Abfallverordnung vom 26. Juni 2000 (BGBl. I S. 932),
  - b) mit einem Quecksilbergehalt von mehr als 0,0001 Gewichtsprozent,
  - c) sonstiger Beschaffenheit, wenn dessen energetische Nutzung als Abfall zur Verwertung auf Grund des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes ausgeschlossen worden ist,
5. Papier, Pappe, Karton,
6. Klärschlämme im Sinne der Klärschlammverordnung,
7. Hafenschlick und sonstige Gewässerschlämme und -sedimente,
8. Textilien
9. Tierkörper, Tierkörperteile und Erzeugnisse im Sinne von § 1 Abs. 1 des Tierkörperbeseitigungsgesetzes, die nach dem Tierkörperbeseitigungsgesetz und den auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsverordnungen in Tierkörperbeseitigungsanstalten zu beseitigen sind, sowie Stoffe, die durch deren Beseitigung hergestellt worden oder sonst entstanden sind,
10. Deponiegas,
11. Klärgas.

## **5.3 Förderprogramme des Bundes und der Länder**

Für die Markteinführung erneuerbarer Energien ist im Wesentlichen die staatliche, finanzielle Förderpraxis maßgeblich, um Kostenunterschiede gegenüber konventionellen Formen der Energiebereitstellung zu verringern (STAIß 2001). Um Anlagen zur Verstromung von Biomasse zu fördern, werden in Deutschland unterschiedliche Fördermaßnahmen angeboten. Dabei werden sowohl Fördermittel von Seiten des Bundes als auch seitens der einzelnen Bundesländer vergeben.

Im wesentlichen beruht die Förderpraxis auf vier Instrumenten:

- Investitionskostenzuschüsse
- Verbilligte Darlehen
- Steuervergünstigungen
- Betriebskostenzuschüsse / Einspeisevergütungen (z.B. über EEG)

Teilweise können sie auch miteinander kombiniert werden, so bspw. die Darlehensförderung für Biomasseanlagen in Verbindung mit der Einspeisevergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz.

Von 1991 bis 2000 wurden durch die Bundesländer insgesamt 1,3 Mrd. € an Fördermitteln für erneuerbare Energien zur Verfügung gestellt. Dabei zeigt die Länderförderung ein sehr heterogenes Bild: Bei der Breitenförderung lagen Nordrhein-Westfalen (mit 31 % aller bereitgestellten Mittel) und Bayern (20 % aller bereitgestellten Mittel) vorn. Betrachtet man die Struktur der Länderförderung nach Technologien für Erneuerbare Energien, so werden seit 1998 die meisten Gelder für die Nutzung von Biomasse bereitgestellt. Im Jahr 2000 waren es ca. 29,9 Mio. € (STAIB 2001).

### ***Marktanreizprogramm „Erneuerbare Energien“ des Bundeswirtschaftsministeriums***

Mit Wirkung vom 01.01.1999 legte die Bundesregierung in Verbindung mit der ökologischen Steuerreform ein Marktanreizprogramm zur "Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien" auf. Dabei werden unterschiedliche Maßnahmen in den Bereichen Solar-, Biomasse- und Photovoltaikanlagen teils in Form von Zuschüssen teils in Form eines Teilschulderlasses in Kombination mit zinsgünstigen Krediten gefördert. Antragsberechtigt sind bislang Privatpersonen, freiberuflich Tätige sowie kleine und mittlere Unternehmen, die Eigentümer, Pächter oder Mieter von Anwesen sind, auf denen die Anlagen errichtet werden. Ebenfalls antragsberechtigt sind Energiedienstleister (Kontraktoren) für die Anlagen, die bei den vorstehend genannten Personen errichtet werden sollen. Diese Fördermaßnahmen können mit anderen Förderprogrammen kumuliert werden.

Mit der Änderung der Richtlinie vom 23.07.2001 wurden für Anlagen zur Biogasnutzung sowie für automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung von Biomasse zur kombinierten Wärme- und Stromerzeugung keine Teilschulderlasse mehr gewährt. Lediglich die vergünstigten Kredite standen weiter zur Verfügung.

Gemäß einer nochmaligen Änderung der Richtlinie vom 23.03.2002 gelten bis 2003 veränderte Förderkonditionen. Am 14.11.2003 hat das Bundesministerium für Umwelt-, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) in einem Informationsgespräch erneut geplante Änderungen des Marktanreizprogrammes vorgestellt, die am 13.12.2003 im Bundesanzeiger veröffentlicht wurden (RICHTLINIEN ZUR FÖRDERUNG VON MAßNAHMEN ZUR NUTZUNG ERNEUERBARER ENERGIEN 2003) und ab 2004 gültig sind. Nachfolgend werden die derzeit gültigen Konditionen aufgeführt, die Änderungen sind in Klammern dargestellt.

Für automatisch beschickte Biomassefeuerungsanlagen ab einer Nennleistung von 3 kW bis 100 kW thermisch wird künftig ein Mindestförderbetrag von 1.500 € (neu 1.700 €) bzw. 55 €/kW (neu 60 €) installierter Leistung bei einem Kesselwirkungsgrad von mindestens 85 % (neu 90 %) gewährt (maximaler Fördersatz pro Anlage 250.000 €). Neu ab 2004 ist, dass auch handbeschickte Anlagen bezuschusst werden (50 €/kWh, mindestens 1.500 €, mindestens 90 % Kesselwirkungsgrad), weiterhin werden Anlagen zur kombinierten Strom-Wärme-Erzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung) ebenso wie Nahwärmenetze in Form eines Teilschulderlasses gefördert. Biogasanlagen bis zu einer installierten elektrischen Leistung von 70 kW werden mit einem Pauschalbetrag von 15.000 € als Teilschulderlass gefördert.

Für die Zuschussförderung ist das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) die zuständige Bewilligungsbehörde. Eine Kumulierung des Teilschulderlasses mit anderen öffentlichen Zuwendungen ist bis zu einer Höhe von 30.000 € zulässig. Der darlehensfinanzierte Teil des Förderprogramms wird von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) übernommen. Dabei werden Biogasanlagen, die eine installierte elektrische Leistung bis 70 kW haben im Rahmen des von der KfW festzulegenden Zusagevolumens mit Darlehen aus Eigenmitteln gefördert. Oberhalb der Leistungsgrenze von 70 kW kann ein Darlehen aus Eigenmitteln der KfW (ohne Teilschulderlass) gewährt werden, wobei sich keine Kumulierungsbeschränkung mit anderen Fördermitteln aus den bisherigen Regelungen ableiten lässt (KLINSKI 2002). Biomasseheizkraftwerke (nicht nach 17. BImSchV) erhalten ein zinsvergünstigtes Darlehen (derzeit 4,06%) (FICHTNER 2002).

Ab 2004 wird der Kreis der Antragsberechtigten erweitert, künftig erhalten auch Kommunen Zugang zu Fördermaßnahmen.

Bezüglich der Emissionswerte für Strohheizanlagen sind Förderungs-Begrenzungen (z.B. CO-Grenzwert von 250 mg/m<sup>3</sup> im Teillastbetrieb vorgesehen. Eine Auswertung verfügbarer Daten von Holzfeuerungskesseln vom Bundesverband BioEnergie ergab, dass dieser Wert nur von sehr wenigen (< 25 % der angebotenen Kessel) eingehalten wird. Aufgrund der technisch schwierigeren Verbrennung von Stroh wird nach Einschätzung des Verbandes durch diese Regelung die energetische Verwertung von Stroh und anderen ähnlichen Brennstoffen in kleineren Anlagen künftig wahrscheinlich keine nennenswerte Rolle im deutschen Markt spielen (BUNDESVERBAND BIOENERGIE 2003, Internet).

Insgesamt standen aus dem Marktanreizprogramm 190 Mio. € für das Jahr 2003 zur Verfügung. 35 % der verfügbaren Mittel waren für die Errichtung von Biomasseanlagen vorgesehen (FNR 2003, Internet).

### ***Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“***

Die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes- GAK“ ist das wesentliche Element, welches die Agrarförderung der EU, des Bundes und der Länder koordiniert. Durch diese Maßnahme werden im Rahmen des Agrarinvestitionsförderungsprogramms 2002 (AFP) „Bereich Energieeinsparung und -umstellung“ einzelbetriebliche Investitionsvorhaben gefördert. Dazu gehört auch die Förderung von Biomasseanlagen. Zuwendungsempfänger sind landwirtschaftliche Unternehmen jeglicher Rechtsform (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER 2003, Internet).

In der Praxis gab es innerhalb der letzten Jahre im Zuständigkeitsbereich der Landwirtschaftskammer Hannover jedoch keine Anträge auf Förderung von Anlagen zur Verstromung von Biomasse. Dies lag bis 2001 an den Regelungen, welche die Rechtsform der Betreiber betraf: So wurden zwar Anlagen zur Stromerzeugung in landwirtschaftlichen Betrieben gefördert, diese durften den Strom als landwirtschaftliche Betreiber jedoch nicht ins öffentliche Netz einspeisen. Da dies für die Betriebe nicht wirtschaftlich war, wurde die Stromerzeugung auch von keinem Betrieb unter diesen Bedingungen praktiziert (KUGLER 2003, mündlich).

Ab 2003 ist durch das AFP 2003 eine Förderung von Maßnahmen zur Energieeinsparung und -umstellung auf alternative Energieträger förderfähig, wenn eine Einspeisung von Wärme- und Strom in das öffentliche Netz erfolgt. Gefördert werden Unternehmen des Land- und Gartenbaus jeglicher Rechtsform, die

Betreiber müssen jedoch mindestens 25 % der Umsätze aus dem landwirtschaftlichen Betrieb erwirtschaften (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER 2003, Internet).

## 5.4 Agrarpolitische Regelungen

### *Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU*

Die Gewinnung von Biomasse für energetische Zwecke auf landwirtschaftlichen Flächen ist ganz wesentlich von den agrarpolitischen Rahmenbedingungen auf EU-Ebene abhängig. Die dort gefällten Entscheidungen über die Ausgestaltung des Förderinstrumentariums und insbesondere die Festlegungen zu den jeweils aktuellen Förderprämien beeinflussen die relative Vorzüglichkeit des Biomasseanbaus gegenüber herkömmlichen Anbausystemen (Anbau von Brot- und Futtergetreide sowie nachwachsende Rohstoffe, Flächenstilllegung, Extensivierung für ökologische Zwecke).

Derzeit werden die Rahmenbedingungen noch von der so genannten Agenda 2000, dem Reformpaket von 1999 gesetzt. Die am 26.03.1999 durch den Europäischen Rat in Berlin getroffenen Beschlüsse werden noch bis 2006 die Anbaupalette und die Anbauintensität auf den europäischen Ackerflächen beeinflussen. Insbesondere wird der Umfang der Biomasseerzeugung für energetische Zwecke beeinflusst durch:

1. Die Höhe der Interventionspreise für Getreide, bzw. die aktuellen Marktpreise
2. Die Höhe des Stilllegungsanteils, die Stilllegungsregelungen und die Höhe der Stilllegungsprämie
3. Die Existenz sonstiger Förderinstrumente

Zu 1.

Der Anbau von Energiepflanzen konkurriert grundsätzlich mit den herkömmlichen landwirtschaftlichen Kulturen. Ausschlaggebend für die relative Vorzüglichkeit des einen oder des anderen ist dabei der zu erzielende Gewinn pro Flächen- bzw. Arbeitseinheit. Dieser wird ganz wesentlich durch die Marktpreise beeinflusst. Innerhalb der EU werden die Marktpreise nach unten durch so genannte Interventionspreise abgesichert, die den Erzeugern eine gewisse Sicherheit durch garantierte Mindestpreise und Aufkaufgarantien geben. Die derzeit zu erzielenden Preise für Brot- und Futtergetreide liegen über den Interventionspreisen und sind (insbesondere nach den schwierigen Erntejahren 2002 und 2003) so hoch, dass eine alternative Verwertung des Aufwuchses für energetische Zwecke auf den normalen Nutzflächen derzeit nicht rentabel erscheint. So lagen beispielsweise die durchschnittlichen Hektarerträge bei Getreide in 2003 um 12 % unter dem langjährigen Jahresmittel (BMVEL 2003, Internet).

Zu 2.

Ein wesentliches Steuerungsinstrument der EU-Marktpolitik ist die obligatorische Flächenstilllegung. Sie dient u.a. der Mengenbegrenzung des innerhalb der Gemeinschaft erzeugten Getreides. In den letzten Jahren lag der Mindeststilllegungssatz bei 10 % der Anbaufläche eines Betriebes (oberhalb einer bestimmten Betriebsgröße, die mit einer Erzeugung von 92 t Getreide festgelegt wurde). Die Einhaltung der obligatorischen Flächenstilllegung ist für die landwirtschaftlichen Betriebe eine Voraussetzung, um Preisausgleichszahlungen für die sonstigen Anbauflächen in Anspruch nehmen zu können. Für die Stilllegungsflächen werden darüber hinaus gesonderte Prämien gewährt.

Die Flächenstilllegung ist für den Anbau von Biomasse von großer Bedeutung, da auf diesen Flächen die Erzeugung von energetisch nutzbaren Pflanzen oder von nachwachsenden Rohstoffen, seit 1999 durch die VO (EG) 2461/99 Art. 3 Abs. 4, ausdrücklich erlaubt ist. Die Erzeuger können so den Aufwuchs zu Marktpreisen verkaufen und gleichzeitig die Stilllegungsprämie beziehen. Die Kombination des Erlöses

aus der energetischen Nutzung und der Prämie verbessert die zu erzielenden Ergebnisse dann so stark, dass ein Anbau speziell für die energetische Nutzung rentabel wird.

Zu 3.

Neben den Interventionspreisen und der Flächenstilllegung wird der Anbau von Biomasse derzeit auch durch einige weitere Bestandteile der Agenda 2000 und ihrer Umsetzung in Landesprogramme beeinflusst. Hierzu gehören vor allem investive Förderungen aus dem Bereich der Agrarinvestitionsprogramme.

### ***Geplante Veränderungen durch die Agenda 2007***

Ab 2007 werden die Förderinstrumente und die Prämiensätze gravierend umgestaltet werden. Die wesentlichen Punkte der nächsten Stufe der Agrarreform sind:

- Entkopplung der Prämienzahlungen von der Produktion
- Stärkung des ländlichen Raums durch die Modulation (Umschichtung von Fördermitteln aus dem Bereich Agrarmarktpolitik in die allgemeine Förderung des ländlichen Raums)
- Bindung der Zahlungen an Standards in den Bereichen Umweltschutz, Tierschutz und Lebensmittelsicherheit
- Umgestaltung der Flächenstilllegung und
- Einführung des CO<sub>2</sub>-Kredites

Besonders in der Frage der Entkopplung wurde den Mitgliedsstaaten ein erheblicher Spielraum zur Umsetzung zugestanden. Für Deutschland wurden folgende Maßnahmen beschlossen:

- Die Entkopplung beginnt im Jahr 2005, dabei werden alle Prämien vollständig einbezogen.
- Zwischen den Betrieben findet eine Umverteilung des Prämienvolumens statt, zwischen den Regionen soll eine zumindest begrenzte und verträgliche Umverteilung stattfinden.
- In einer Übergangsphase von 5 Jahren soll ein Kombinationsmodell angewendet werden
- Es wird eine einheitliche Flächenprämie auf Basis eines einheitlichen Regionalmodells eingeführt

Für 2004 wird das BMVEL einen Gesetzesentwurf vorlegen, der sich an diesen Eckpunkten orientiert.

Mit der Entkopplung wird der größte Teil der Direktzahlungen nicht länger an die tatsächliche Produktion gebunden sein. Dies bedeutet, dass Landwirte ihre betrieblichen Entscheidungen künftig stärker an den Marktgegebenheiten orientieren können und bei einer entsprechenden Rentabilität größere Anreize zum Anbau von Biomasse haben könnten, falls sich eine entsprechende Nachfrage und ein entsprechender Preis bilden. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass in der letzten Zeit festere bis steigende Weltmarktpreise für Brotgetreide zu beobachten sind, gegen die die Preise für Energiepflanzen konkurrieren müssten.

### ***CO<sub>2</sub>-Kredit / Änderung der Stilllegungsregelung in der GAP-Reform***

Im Zuge der Halbzeitbewertung der Agenda 2000 durch die EU-Kommission ist eine Änderung der Stilllegungsregelung geplant. Diese Änderung der Stilllegungsregelung sieht eine Dauerbrache (keine rotierende Brache) auf 10 % der Ackerflächen vor, die nicht für den Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt werden dürfen. Dadurch soll die Förderung des Energiepflanzenanbaus auf stillgelegten Flächen künftig

entfallen. Stattdessen soll als Beihilfe ein CO<sub>2</sub>-Kredit für jeden Biomasse-Erzeuger, der einen Vertrag mit einem Verarbeitungsbetrieb nachweisen kann, gewährt werden. Dabei sind bei einer EU-weiten garantierten Höchstfläche von 1,5 Mio. ha 45 € pro ha vorgesehen (@GRAR.DE 2002, Internet). Die aktuelle Diskussion dazu zeigt, dass es sowohl auf Länderebene als auch seitens der Landwirtschaft noch erheblichen Diskussionsbedarf gibt. So wird die veranschlagte Prämie von 45 € als zu gering betrachtet, um einen ausreichenden Anreiz zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen besonders auf ertragsschwachen Standorten zu bieten (MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT FORSTEN UND FISCHEREI, MECKLENBURG VORPOMMERN 2003, Internet), vor allem da diese in voller Konkurrenz zu anderen Marktfrüchten stünden.

Aktuell wird ein Vorschlag der Europäischen Kommission diskutiert, den Flächenstilllegungssatz noch im laufenden Wirtschaftsjahr 2003/2004 von 10 % auf 5 % abzusenken. Die EU-Agrarminister und der Deutsche Bauernverband (DBV) unterstützen diese Forderung. Ihrer Ansicht nach habe die zwangsweise Flächenstilllegung als Instrument der GAP ausgedient und sei mit den Reformbeschlüssen zur Entkoppelung der direkten Ausgleichszahlungen von der Produktion nicht mehr zu vereinbaren (LAND & FORST 2003d).

## **5.5 Weitere Fördermaßnahmen**

Im Folgenden wird ein Überblick über zusätzliche Maßnahmen gegeben, welche die Nutzung erneuerbarer Energien fördern sollen.

### ***ALTENER Programm***

Das Altener Programm ist ein Mehrjahresprogramm der EU zur Förderung neuer Energieträger und dient den übergeordneten Gemeinschaftszielen der CO<sub>2</sub>-Reduktion sowie der Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger innerhalb der Gemeinschaft, um das Richtziel von 12 % des internen Bruttoenergieverbrauchs bis zum Jahre 2010 zu erreichen. Altener stellt einen Baustein im Rahmenprogramm des Intelligent Energy-Europe dar, das bis 2006 läuft.

Altener setzt Altener I (ausgelaufen Dezember 1997) und Altener II (ausgelaufen Dezember 1999) fort und beinhaltet folgende Zielsetzungen: Es soll die rechtlichen, sozioökonomischen und verwaltungstechnischen Rahmenbedingungen für die Umsetzung eines gemeinschaftlichen Aktionsplans zur Förderung erneuerbarer Energieträger schaffen. Außerdem soll es Anreize für private und öffentliche Investitionen in die auf erneuerbaren Energiequellen basierende Energieerzeugung und -nutzung bieten. So fördert es die Forschung und Entwicklung u. a. im Bereich nachwachsender Rohstoffe. Dabei sind finanzielle Mittel in Höhe von 77 Mio. € vorgesehen (EUROPÄISCHE UNION 2003, Internet). Das Programm startet 2003.

### ***ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm***

Das Umwelt- und Energiesparprogramm der Bundesregierung wird von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) durchgeführt. Es fördert neben Maßnahmen zur Energieeinsparung und rationellen Energiegewinnung auch Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Dabei geht es vorzugsweise um die Förderung von Investitionen, die darauf abzielen, Umweltbelastungen im Produktionsprozess zu vermeiden oder zu vermindern (integrierter Umweltschutz). Gefördert werden freiberuflich Tätige sowie private gewerbliche Unternehmen mit einem Jahresumsatz von bis zu 250 Mio. € (BMU 2002).

### ***KfW Umweltprogramm***

Zum 15.07.2003 wurden das KfW-Umweltprogramm und das bisherige DtA-Umweltprogramm gebündelt (KfW 2003, Internet). Dieses Förderprogramm wird von der Kreditanstalt für Wiederaufbau durchgeführt und unterstützt Maßnahmen, die auch der Zielsetzung des ERP-Umwelt- und Energiesparprogramms entsprechen. Gefördert werden:

- In- und ausländische Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft (produzierendes Gewerbe, Handwerk, Handel, Unternehmen der Land- und Forstwirtschaft, sonstiges Dienstleistungsgewerbe),
- freiberuflich Tätige, z. B. Ingenieure, Architekten, Ärzte, Steuerberater,
- Betreibergesellschaften in der Entsorgungswirtschaft, Kooperationen (PPP-Modelle - Public Private Partnership),
- Unternehmen, an denen die öffentliche Hand, Kirchen oder karitative Organisationen beteiligt sind.

Im KfW-Umweltprogramm ist der Jahresumsatz des Unternehmens unerheblich für die Antragsberechtigung. Mit diesem Programm können bis zu 75 % der förderfähigen Investitionen in Deutschland (auch in Kombination mit dem ERP-Umweltprogramm) abgedeckt werden (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT 2002).

### ***Förderprogramm "Nachwachsende Rohstoffe"***

Produktions-, verwendungsorientierte sowie anwendungsbezogene Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben werden vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) gefördert. Außerdem wird Öffentlichkeitsarbeit im Bereich der stofflichen und energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen gefördert.

## **5.6 Genehmigungsrechtliche Bestimmungen für die Errichtung von Feuerungsanlagen**

Bedingt durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen muss klar zwischen nicht genehmigungspflichtigen Anlagen unterhalb einer Feuerungswärmeleistung von 100 kW thermisch (Kleinf Feuerungsanlagenverordnung) und genehmigungspflichtigen Anlagen oberhalb dieser Leistung unterschieden werden. Soweit entsprechende Anlagen genehmigungsbedürftig sind, jedoch keine Verbrennung von Altholz der Kategorien AIII oder AIV erfolgt, richten sich die Anforderungen des Bundes-Immissionschutzgesetzes nach der Technischen Anleitung Luft (TA Luft). Handelt es sich um nicht genehmigungsbedürftige Anlagen, so ist die Kleinf Feuerungsanlagenverordnung maßgebend (1.BImSchV).

### **5.6.1 Bundes-Immissionsschutzgesetz**

Besonders bedeutsam für die Errichtung von Feuerungsanlagen sind die immissionsschutzrechtlichen Genehmigungen durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG). Aufgrund der so genannten Konzentrationswirkung schließt diese Genehmigung andere anlagenspezifische Genehmigungsverfahren wie z.B. die Dampfkessel erlaubnis und die Baugenehmigung mit ein. Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen sind u.a. abhängig von der jeweiligen Feuerungswärmeleistung und dem einzusetzenden Brennstoff (FNR 2000). So werden Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe (wozu auch Halmgüter gerechnet werden) im Anhang zur 4. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) als Sonderbrennstoff gewertet. Anlagen für die Nutzung solcher Brennstoffe sind gemäß 4. BImSchV schon ab einer Feuerungswär-

meleistung von 0,1 MW genehmigungspflichtig. Holzfeuerungen sind dagegen noch bis 1000 kW genehmigungsfrei (SCHÜTTE 2001). In der TA Luft (s.u.) ist Stroh als zugelassener Brennstoff aufgeführt ebenso strohähnliche Brennstoffe. In Abschnitt 4.5.3. werden die Anforderungen an den Einsatz von Stroh und "anderen ähnlichen pflanzlichen Stoffen" beschrieben.

In der 1. BImSchV werden unter strohähnlichen Energiepflanzen Schilf, Miscanthus, Heu oder Maisspindeln genannt. Die Auslegung ob Getreide ein strohähnlicher Brennstoff ist, bleibt den Ländern überlassen. In einigen Bundesländern wird dies verneint ebenso vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und dementsprechend wird der Einsatz von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen abgelehnt (DEUTSCHER BAUERNVERBAND 2002, Internet).

### **5.6.2 TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft)**

Die TA Luft wurde im Sommer 2002 grundlegend novelliert und trat am 01.10.2002 in Kraft. Sie löste damit die Fassung aus dem Jahre 1986 ab.

Darin werden Immissionswerte für bestimmte Luftschadstoffe und Emissionsgrenzwerte für genehmigungspflichtige Anlagen festgelegt, die eine Feuerungswärmeleistung bis 50 MW erreichen. In Anlagen unter 15 kW sind nur Holz bzw. Holzpresslinge als biogene Brennstoffe zugelassen. Dadurch wird die Nutzung von Getreide als Brennstoff in Kleinfeuerungsanlagen praktisch ausgeschlossen. In Anlagen von 100 kW sind auch Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe als Regelbrennstoff zugelassen.

Ab einer Feuerungswärmeleistung von 50 MW treten die Bestimmungen der 13. BImSchV (Verordnung über Großfeuerungsanlagen) in Kraft.

Gegenüber der TA Luft 86 werden neben dem Einsatzstoff von Stroh auch ähnliche pflanzliche Stoffe explizit genannt, beispielhaft werden Getreideganzpflanzen, Gräser und Miscanthus aufgeführt. Dadurch sollen grundsätzlich alle pflanzlichen Stoffe mit erfasst werden, welche ähnliche Brennstoffeigenschaften wie Stroh aufweisen. Gegenüber der alten TA Luft ergeben sich vor allem verschärfende Emissionsbegrenzungen für Staub und HCl, während die Anforderungen an die Begrenzung von CO, NO<sub>x</sub> und andere organische Stoffe weitgehend unverändert blieb (WEISS 2001).

### **5.6.3 Altholzverordnung**

Auch wenn die vorliegende Untersuchung sich in erster Linie mit speziell angebauten Energieträgern befasst, soll hier auf eine wesentliche Neuregelung eingegangen werden, da sie sich mit einer Stoffgruppe befasst, die in großen Anlagen verstärkt zum Einsatz kommt. Die Verwendung von Altholz unterliegt strengen Auflagen und Regelungen. Anlagen, welche Hölzer mit Rückständen von Holzschutzmitteln einsetzen, dürfen in Betrieb gehen, wenn sie nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz genehmigt wurden und die Erlaubnis zur Errichtung und zum Betrieb spätestens drei Jahre nach Inkrafttreten der Biomasseverordnung erteilt wurde. Nur Kraftwerke, die demnach bis zum 31. Mai 2004 in Betrieb gehen, haben eine Chance auf Zulassung.

Außerdem besteht die Möglichkeit, dass in solchen Großanlagen neben Altholz auch andere Energiepflanzen zum Einsatz kommen.

Die Altholzverordnung, die am 01.03.2003 in Kraft getreten ist (ALTHOLZVERORDNUNG), regelt die energetische und stoffliche Verwertung und Beseitigung von Altholz. Dabei werden unterschiedliche

Kategorien von Altholz (AI bis AIV) aufgeführt. Konkret sollen Anforderungen an die Verwertung der betreffenden Altholzsortimente vorgegeben werden.

Im Sinne der Altholzverordnung bedeuten die Begriffe gemäß § 2 im Einzelnen:

1. Altholz:  
Industrierest- und Gebrauchtholz, soweit diese Abfall gemäß § 3 Abs. 1 KrW-/AbfG sind;
2. Industrierestholz:  
die in Betrieben der Holzbe- oder -verarbeitung anfallenden Holzreste einschließlich der in Betrieben der Holzwerkstoffindustrie anfallenden Holzwerkstoffreste sowie anfallende Verbundstoffe mit überwiegendem Holzanteil (mehr als 50 Masseprozent);
3. Gebrauchtholz:  
gebrauchte Erzeugnisse aus Massivholz, Holzwerkstoffen oder aus Verbundstoffen mit überwiegendem Holzanteil (mehr als 50 Masseprozent);
4. Altholzkategorie:  
*Altholzkategorie A I:*  
naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde,  
*Altholzkategorie A II:*  
verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel,  
*Altholzkategorie A III:*  
Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel,  
*Altholzkategorie A IV:*  
mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, Rebpfähle, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz;
5. PCB-Altholz:  
Altholz, das PCB im Sinne der PCB/PCT-Abfallverordnung ist und nach deren Vorschriften zu entsorgen ist, insbesondere Dämm- und Schallschutzplatten, die mit Mitteln behandelt wurden, die polychlorierte Biphenyle enthalten;
6. Holzschutzmittel:  
bei der Be- und Verarbeitung des Holzes eingesetzte Stoffe mit biozider Wirkung gegen Holz zerstörende Insekten oder Pilze sowie Holz verfärbende Pilze, ferner Stoffe zur Herabsetzung der Entflammbarkeit von Holz;
7. stoffliche Verwertung von Altholz:
  - a) Aufbereitung von Altholz zu Holzhackschnitzeln und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen,
  - b) Gewinnung von Synthesegas zur Herstellung von Methanol und
  - c) Herstellung von Aktivkohle/Industrieholzkohle;
8. energetische Verwertung von Altholz:  
Verwertung von Altholz im Sinne des § 4 Abs. 4 KrW-/AbfG;

9. Altholzbehandlungsanlage:

Anlage zur stofflichen oder energetischen Verwertung von Altholz sowie Anlagen zur Sortierung oder sonstigen Behandlung von Altholz einschließlich jeweils zugehöriger Lagerung;

10. Störstoffe:

anorganische oder organische holzfremde Stoffe, insbesondere Bodenmaterial, Steine, Beton, Metallteile, Papier, Pappe, Textilien, Kunststoffe oder Folien, die dem Altholz anhaften, beigemischt oder mit diesem verbunden sind, soweit diese die Verwertung behindern.

#### **5.6.4 Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV)**

Klärungsbedürftig scheint die Überwachungsbedürftigkeit der Holzasche-Abfälle zu sein, auch wenn diesem Punkt in der Praxis bislang wenig Bedeutung beigemessen wurde (KLINSKI 2002). So listet die am 01.01.2002 in Kraft getretene Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) alle Abfallarten nach Schlüsselnummern geordnet auf, gleichzeitig werden bestimmte Abfallarten als "besonders überwachungsbedürftig" erklärt.

Bei Aschen aus der Verbrennung von Altholz der Kategorie I (lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz) sowie aus der Verbrennung von naturbelassenem Holz ist die Voraussetzung einer Einstufung der Abfälle als besonders überwachungsbedürftig gemäß § 3 Abs.2 Nr.3 AVV fast ausnahmslos nicht erfüllt (KLINSKI 2002). Verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen ergaben jedoch eine Schwermetallbelastung von Asche aus naturbelassenem Holz (vor allem Chromverbindungen), die aus einer über Jahre andauernden Immissionsbelastung herrührt.

#### **5.6.5 Düngemittelverordnung (DüMV) und Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG)**

Eine ökologisch sinnvolle Nutzung der Asche kann im Aufbringen auf Böden bestehen, um damit den Nährstoffgehalt zu verbessern. Dem stehen jedoch die Vorschriften des Düngemittelrechtes entgegen, da die Düngemittelverordnung (DüMV) einen Düngemitteltyp dieser Art nicht kennt.

Im landwirtschaftlichen Bereich gibt es keine spezifischen Vorschriften über das Aufbringen dieser Stoffe. Das Düngemittelrecht formuliert hier jedoch gewisse Anforderungen im Rahmen der "guten, fachlichen Praxis", ohne konkrete stoffliche Bedingungen aufzustellen (KLINSKI 2002).

Die Ordnungsmäßigkeit und die Erfordernis der Schadlosigkeit der Verwertung muss nach den jeweiligen Umweltschutz-Fachgesetzen und hier besonders dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG, vgl. § 5 Abs. 3 Satz 3), geprüft werden. Danach hat die Verwertung der Abfälle nur dann Vorrang vor der Beseitigung, wenn sie "schadlos" erfolgt, d.h. keine Schadstoffanreicherung im Wertstoffkreislauf stattfindet. Dies bedeutet in der Praxis, dass im Einzelfall die zu erwartende Aufnahme von Schadstoffen im Boden, im Grundwasser und ggf. in den Pflanzen zu überprüfen ist (KLINSKI 2002).

### **5.7 Genehmigungsrechtliche Bestimmungen für Biogasanlagen**

#### ***Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) und Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)***

Je nach technischer Anlagenausstattung und eingesetzter Abfallmenge treffen unterschiedliche Genehmigungen nach 4. BImSchG, Anhang 1, zu. Bei der Verbrennung von Biogas zum Zweck der Energiegewinnung, sind Anlagen ab 10 MW Feuerungswärmeleistung, sowie Verbrennungsmotoranlagen für Biogas im vereinfachten Verfahren genehmigungsbedürftig (vgl. Nr. 1.2 b, Spalte 2 des Anhangs zur 4. BImSchV). In beiden Fällen muss eine standortbezogene Vorprüfung der UVP-Bedürftigkeit durchge-

führt werden. Bei nicht immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlagen ist lediglich eine Baugenehmigung (s.u.) erforderlich.

Bei der Herstellung von Biogas durch anaerobe Vergärung hängt die Genehmigungsbedürftigkeit der Anlage davon ab, ob die eingesetzten Stoffe als "Abfall" zu betrachten sind. Beim Einsatz von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen ist die Anlage ab einer Tagesdurchsatzleistung von einer Tonne im vereinfachten Verfahren und ab zehn Tonnen pro Tag im Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung genehmigungsbedürftig.

Bei der Vergärung von Stoffen wie Gülle und anderen landwirtschaftlichen Reststoffen aus der Tierhaltung ist bislang ungeklärt, ob es sich im Sinne der angesprochenen Vorschriften um "Abfälle" handelt. Rechtliche Grundlage hierfür ist wiederum das KrW-/AbfG (§ 3 Abs.1 Satz 1) (KLINSKI 2002).

### ***TA Luft***

Für genehmigungsrechtliche Anlagen sind die betreffenden Anforderungen der TA Luft einzuhalten. Die ab Oktober 2002 maßgebliche TA Luft 2002 enthält im Vergleich zu früher sehr viel mehr spezifische und schärfere Anforderungen für Biogasanlagen (KLINSKI 2002).

### ***Baugenehmigung nach Baugesetzbuch (BauGB) und Baunutzungsverordnung (BauNVO)***

Bei Biogasanlagen handelt es sich nach BauGB und BauNVO grundsätzlich um Anlagen gewerblicher Art, die in Gewerbegebieten zu platzieren sind. Häufig sollen jedoch Einzel- oder Gemeinschaftsanlagen auf eigenen landwirtschaftlichen Flächen errichtet werden. Hier richtet sich die Zulässigkeit nach § 35 BauGB.

In der Praxis treten häufig Probleme bei der baurechtlichen Prüfung des Standortes auf, insbesondere wenn es um die Errichtung kleinerer Anlagen im Rahmen von landwirtschaftlichen Betrieben oder Gemeinschaftsanlagen geht. So werden teilweise Anträge auf Erteilung von Baugenehmigungen außerhalb der geschlossenen Ortschaft abgelehnt (KLINSKI 2002).

## **5.8 Fazit**

Das Modell der Abnahme- und Vergütungspflicht durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz hat bislang als einziges der diskutierten instrumentellen Grundkonzepte zu einer erheblichen Ausweitung des Anteils an regenerativen Energien an der Stromerzeugung geführt und kann somit auch für andere Länder wegweisend sein (KLINSKI 2002).

Die großzügig bemessenen Vergütungssätze des Erneuerbare-Energien-Gesetzes haben in Kombination mit den vorgestellten Fördermaßnahmen, wobei hier vor allem das Marktanreizprogramm des Bundes zu nennen ist, zu einem verstärkten Ausbau von stromerzeugender Biomasseteknik geführt. Herstellerfirmen und Investoren von Anlagen erhalten durch die langfristig gesicherten Vergütungssätze eine hohe Planungs- und Investitionssicherheit. Demnach ist zu erwarten, dass durch die Einspeisevergütungen der Ausbau von Biomasseanlagen zur Stromerzeugung in den nächsten Jahren massiv gefördert wird, wenngleich dies vorrangig größere Anlagen, die mit billigen Brennstoffen betrieben werden, betrifft. Die Novellierung des EEG für 2004, die GAP-Reform und die geplanten Änderungen des Marktanreizprogramms zielen zwar auf eine verstärkte Biomassenutzung ab, für den Energiepflanzenanbau und den

Betrieb kleiner Anlagen beinhalten die Regelungen jedoch noch Hemmnisse, die einer langfristigen Wirtschaftlichkeit entgegenstehen.

Bezogen auf den Einsatz verschiedener Stoffgruppen wurde deutlich, dass für die jeweiligen Einsatzstoffe unterschiedliche Rechtsvorschriften gelten. Gerade im Bereich Altholznutzung und Biogas sind starke Impulse zur Errichtung neuer Anlagen zu verspüren (KLINSKI 2002).

Starke politische Impulse werden im Rahmen des Weißbuchs der EU-Kommission gesetzt: Die Hälfte des Zuwachses bei der Bioenergienutzung soll durch den Anbau von Energiepflanzen abgedeckt werden.

### ***Stromerzeugung durch Verbrennungsprozesse***

Gerade für größere Anlagen ist die Möglichkeit der Verstromung von Biomasse mittels Dampfkraftprozessen interessant. Der Zwischenbericht "Monitoring zur Biomasseverordnung" (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2002) geht davon aus, dass infolge der bisherigen Vergütungsregelung des EEG mit einer Anhebung der Leistungsgrenze der geförderten Anlagen und der Biomasse-Verordnung ein Zuwachs größerer Anlagen im Bereich zwischen 15-20 MW zu erwarten ist.

So schöpfen einige der neu geplanten und gebauten Anlagen die Vergütungsregelung von 20 MW voll aus. Meist wird Altholz der Kategorien AI – AIV (fallen unter 17. BImSchV) genutzt werden, um die benötigten Mengen zu gewährleisten. Der Altholzmarkt hat durch diese Situation eine hohe Dynamik erhalten, so dass sich das bekannt werden einer geplanten Anlage auf die Altholzpreise im Umkreis von 200 km auswirkt (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2002). Die Kapazität der in Projektierung befindlichen Anlagen übersteigt das insgesamt regelmäßig verfügbare Altholzpotezial bereits deutlich (KLINSKI 2002). Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die Nachfrage nach billigen Brennstoffen für größere Anlagen steigt.

Allerdings werden bei der Förderung der Marktdurchdringung der energetischen Nutzung von Stroh und ähnlichen halmgutartigen Brennstoffen noch erhebliche Defizite gesehen. Die bisherigen Regelungen des Marktanreizprogrammes werden als völlig unzureichend bewertet, um einen verstärkten Einsatz von Anlagen zur energetischen Nutzung von Stroh und anderen halmgutartigen Stoffen zu fördern (SCHÜTTE 2001). Auch die geplanten Änderungen des Marktanreizprogrammes werden aufgrund der Emissionsbegrenzung nicht zu einer Ausweitung der energetischen Nutzung von Stroh führen. Bislang liegen auch wenige Erfahrungen mit dem Einsatz dieser Brennstoffe zur Stromerzeugung vor, nahezu alle Untersuchungen beziehen sich auf die Nutzung dieser Stoffe zur thermischen Verwertung. Die Schwierigkeiten bei der Nutzung dieser Brennstoffe resultieren vor allem aus den brennstoffspezifischen Nachteilen von Halmgütern (vgl. Kapitel 3.5.4) und dadurch aus den Vorgaben des derzeitigen Emissionsrechts, die einige Besonderheiten und Verschärfungen gegenüber den "konventionellen" Holzbrennstoffen aufweisen (HARTMANN 2001).

Bei kleinen Anlagen liegt derzeit das Hauptaugenmerk auf der Anlagenoptimierung, so dass auch mit kleinen Anlagen elektrische Wirkungsgrade von 25% erreicht werden. Im Rahmen der EEG-Novellierung ist durch weitere Vergütungsstufen mit höheren Vergütungen eine stärkere Förderung kleiner Anlagen vorgesehen, die beschriebenen Vergütungskonditionen (verkürzter Förderzeitraum von 15 Jahren und Erhöhung des Degressionsatzes auf 15%) könnten aber zu Hemmnissen bei der Marktausweitung führen. Bemängelt wird eine fehlende Wärmevergütung, vergleichbar dem EEG für den Strommarkt. Die bei der Stromproduktion anfallende Wärmemenge sollte mit vergütet werden, um Anlagen wirtschaftlich attraktiver und energieeffizienter zu gestalten.

Problematisch könnten sich Kontrolldefizite bei der Entsorgung von Holzasche auswirken. Diesem Punkt wird in der Praxis noch keine Bedeutung beigemessen. Um einen Schadstoffeintrag bei der Ausbringung der Ascherückstände zu vermeiden, sollten diesbezüglich Regelungen getroffen werden.

### ***Stromerzeugung durch Biogasanlagen***

Insbesondere bei kleinen Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich ist nach Expertenmeinung mit einem Zuwachs in den nächsten Jahren zu rechnen, in gewissem Umfang jedoch auch bei mittleren und größeren Anlagen. Allerdings wird in der Praxis von einigen rechtlichen Reibungsflächen berichtet, die dieser angestrebten Entwicklung entgegenstehen könnten. Dies betrifft bspw. bauplanungsrechtliche Genehmigungen oder das Nebeneinander von Abfall- und Düngemittelrecht, die für die Gärreste von Biogasanlagen zur Anwendung kommen (KLINSKI 2002).

Weiterhin können im meist sehr kleinen Leistungsbereich der zumeist landwirtschaftlich betriebenen Anlagen die durch das EEG gebotenen Anreize ihre Wirkung ohne weitere Förderinstrumente nicht entfalten. Hier ist nach Einschätzung des Institutes für Energetik und Umwelt im Zwischenbericht „Monitoring zur Biomasseverordnung“ (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2002) trotz der EEG-Vergütung und der Förderung durch das Marktanzreizprogramm ein langfristig wirtschaftlicher Betrieb dieser Anlagen nicht möglich. Auch die neuen, im Rahmen der EEG-Novellierung geplanten erhöhten Vergütungen für ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnene Energie werden als unzureichend bewertet, um eine kostendeckende Nutzung und Erschließung von Energiepflanzenpotenzialen zu gewährleisten.

Durch die Möglichkeit nachwachsende Rohstoffe, die in Biogasanlagen verwertet werden, auf Stilllegungsflächen anzubauen, hat sich die Wirtschaftlichkeit der Rohstoffherzeugung verbessert. Hier besteht bislang für die Landwirte die Möglichkeit einer zusätzlichen Einnahmequelle. Eine Begrenzung der räumlichen Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus würde sich durch die geplante Reform der Agrarpolitik, insbesondere den CO<sub>2</sub>-Kredit ergeben, da geplant ist, die maximale Anbaufläche in diesem Zusammenhang auf 1,5 Mio. ha europaweit zu beschränken. Unter wirtschaftlichen Aspekten ist zu beachten, dass der Anbau von Energiepflanzen dadurch in voller Konkurrenz zum Anbau von Marktfrüchten stünde. Bei einer Vergütung von 45 € pro Hektar ist evtl. eine Wirtschaftlichkeit nicht mehr gewährleistet.

### ***Stromerzeugung durch Pflanzenöl und Pflanzenölmethylester***

Der Einsatz von Pflanzenöl und Pflanzenmethylestern (vgl. § 2 Abs. 3 Nr. 3 BiomasseV) zur Stromerzeugung hat durch die Biomasseverordnung keine weitreichenden Impulse erhalten. Ausschlaggebend dürfte in diesem Zusammenhang die weitaus höhere Anreizwirkung sein, die sich bei der Nutzung dieser Stoffe im Kraftstoffbereich ergibt (KLINSKI 2002). Daher gibt es in der Praxis bisher nur wenige Beispiele für Stromerzeugungsanlagen. Da Raps eine der meistangebauten Rohstoffe auf Stilllegungsflächen ist, könnte er in Zukunft in Konkurrenz mit dem Anbau von Energiepflanzen stehen.

## 6 Einschätzungen zum Biomassepotenzial in Deutschland

Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Einschätzungen des in Deutschland zur Verfügung stehenden Biomassepotenziales zur energetischen Nutzung im Überblick dargestellt. Regional konkretisierte und belastbare Daten konnten am Beispiel der Region Hannover zusammengestellt werden (vgl. Kap. 6). Sie umfassen das wirtschaftlich erschließbare Potenzial für holzartige Biomasse und ein Szenario zum Ausbaupotenzial für halmgutartige und Fermentationsbiomasse.

Aus der Relation von Energienachfrage und Biomasseangebot können Rückschlüsse auf die voraussichtliche Nutzungsintensität bei einzelnen Biomassefraktionen gezogen werden. Die Ergebnisse der Potenzialanalysen sind dazu im Zusammenhang mit den aktuellen Klimaschutzzielen der Bundesregierung zu betrachten. Diese sehen eine Steigerung des Anteils regenerativer Energien am Stromverbrauch auf 12,5 % bis zum Jahr 2010 vor (BMU 2002). In diesem Zusammenhang wird die „Förderung der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energie aus Biomasse“ im nationalen Klimaschutzprogramm der Bundesregierung ausdrücklich erwähnt. Konkrete Vorgaben über den Zuwachs an Stromproduktion aus Biomasse gibt es auf nationaler Ebene allerdings nicht. Auf EU-Ebene ist ein Zuwachs der Biomasse an der gesamten Energieversorgung von 3,3 % auf 8,5 % geplant (STAIB 2003).

Die Größenordnung und Intensität, in der die Nutzung von Biomasse aus der Land- und Forstwirtschaft erfolgt, sind wesentliche Faktoren zur Abschätzung möglicher Auswirkungen auf Natur und Landschaft. Um entsprechende Aussagen treffen zu können, sind daher in einem ersten Schritt die Potenziale unterschiedlicher Arten von Biomasse bezüglich ihrer Nutzung zur Energiegewinnung abzuschätzen. Zur umfassenden Übersicht über die Potenziale von Biomasse zur energetischen Nutzung auf bundesdeutscher Ebene wird an dieser Stelle auf die Studien von Fritsche et al. (2004) verwiesen, die erst im Mai 2004 fertig gestellt wurden, so dass sie in der vorliegenden Untersuchung nicht mehr aufgegriffen werden konnten. Stattdessen wurden neben einzelnen vorab herausgegebenen Angaben aus diesem Projekt vornehmlich andere Untersuchungen zur Einschätzung des Potenzials an Biomasse zur Energiegewinnung herangezogen. Anders als im Projekt „Stoffstromanalyse zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse“ (Fritsche 2004) ist das Ziel der vorliegenden Untersuchungen nicht die genauere Abschätzung des Biomassepotenzials in Deutschland. Eine grobe Einschätzung der Potenziale reicht daher aus, um das Ziel der vorliegenden Untersuchung zu erreichen, die Auswirkungen der energetischen Nutzung von Biomasse auf den Naturschutz auf regionaler, landschaftlicher, flächenbezogener und Biototyp-bezogener Ebene zu betrachten.

### 6.1 Definition des Potenzialbegriffes

Zu unterscheiden sind das theoretische, das technische, das wirtschaftliche und das erschließbare Potenzial zur Nutzung der Biomasse (FNR 2000).

**Theoretisches Potenzial:** Es beschreibt das innerhalb einer gegebenen Region in einem bestimmten Zeitraum theoretisch physikalisch nutzbare Energieangebot. Es wird ausschließlich durch die physikalischen Nutzungsgrenzen bestimmt. Auf Grund zahlreicher Einschränkungen (technisch, ökologisch, strukturell) kann es nur begrenzt genutzt werden.

**Technisches Potenzial:** Das technische Potenzial (Strom, Wärme) bildet den Anteil des theoretischen Potenzials ab, der unter den gegebenen technischen Restriktionen sowie ökologischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen erschlossen werden kann. Es beschreibt also den zeit- und ortsabhängigen, primär

aus technischer Sicht möglichen Beitrag einer Option zur Nutzung regenerativer Energien zur Deckung der Energienachfrage (FNR 2000). Im Unterschied zum wirtschaftlichen Potenzial ist es deutlich geringeren, zeitlichen Schwankungen unterworfen.

**Wirtschaftliches Potenzial:** Darunter versteht man den zeit- und ortsabhängigen Anteil des technischen Potenzials, welcher im jeweils betrachteten Energiesystem wirtschaftlich erschlossen werden kann. Es unterliegt sich ändernden wirtschaftlichen Randbedingungen (z.B. Ölpreis) und unterschiedlichen Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsberechnung.

**Erschließbares Potenzial:** Nicht alles wirtschaftlich erschließbare Potenzial wird erschlossen. Regionale Gegebenheiten, Ressourcenkonkurrenzen oder betriebsstrukturelle Hemmnisse schränken dieses Potenzial weiter ein. Daher beschreibt das erschließbare Potenzial den Anteil des wirtschaftlichen Potenzials, welcher derzeit unter realen Bedingungen erschlossen werden kann und ist in der Regel kleiner als das wirtschaftliche Potenzial.

In Potenzialerhebungen wird meist das technische Potenzial dargestellt. Es gibt die aus heutiger Sicht nutzbaren Energieerträge in einer für den Verbraucher verwendbaren Form an. Dabei sind bei der Ermittlung verschiedene Kriterien zu beachten (BMU 1999):

- Grenzen für Wirkungsgrade, Anlagengrößen und technische Entwicklungspotenziale der derzeit oder in absehbarer Zeit verfügbaren (marktgängigen) Nutzungstechniken,
- strukturelle Restriktionen (z.B. Nutzungseinschränkungen durch begrenzten Transportradius, Verfügbarkeit von Flächen beim Anbau von Energiepflanzen, nicht vorhandene Infrastruktur bspw. fehlende Wärmenetze) ökologische Restriktionen hinsichtlich der Flächenbeanspruchung (z.B. beim Anbau von Biomasse).

Auf Grund dieser Kriterien sind Angaben zu technischen Nutzungspotenzialen von zahlreichen Annahmen abhängig und stellen keine unverrückbare Größe dar. Sie weisen daher auch häufig eine große Bandbreite auf und können nicht ohne weiteres addiert werden (BMU 1999).

## **6.2 Potenziale holzartiger Biomasse in Deutschland**

Das insgesamt in Deutschland zur Verfügung stehende Potenzial holzartiger Biomasse wird nachfolgend getrennt nach Stoffquellen aufgeführt. Zur Einschätzungen des Potenzials sind in den letzten Jahren verschiedene Studien veröffentlicht worden, die je nach Erfassungsmethodik sowie den zur Verfügung stehenden Grunddaten zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. An dieser Stelle wird die Einschätzung des bundesweiten Potenzials holzartiger Biomasse am Beispiel von zwei Quellen dargestellt, auf die in der aktuellen Fachliteratur Bezug genommen wird. Aus dem Bereich der Forstwirtschaft sind dies Veröffentlichungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (DIETER & ENGLERT 2001). Im Bereich der Erneuerbaren Energien wird im Bericht in der Regel auf Zahlen von KALTSCHMITT & HARTMANN (2001) zurückgegriffen.

### ***Waldenergieholz***

Die wichtigste Fraktion für eine energetische Nutzung im Bereich der holzartigen Biomasse ist das Waldenergieholz. Es setzt sich aus Waldrestholz und Schwachholz (Durchforstungsholz) zusammen.

KALTSCHMITT & HARTMANN (2001) schätzen das technische Energiepotenzial für Waldenergieholz aus dem mittleren jährlichen Derbholzzuwachs (ca. 63 Mio. m<sup>3</sup>/a) auf rund 16 Mio. m<sup>3</sup>/a bzw. 142 PJ/a. Davon abgezogen wurde der Holzeinschlag (ca. 38 Mio. m<sup>3</sup>/a) und ein Anteil des Derbholzes von ca. 9 Mio. m<sup>3</sup>/a (ca. 83 PJ/a), der als Brennholz genutzt wird. Diese Angaben sind überschlägig ermittelte Werte. Sie unterstellen, dass der Überschuss des Derbholzzuwachses ausschließlich als Waldenergieholz genutzt werden kann. Der Feuchtegehalt des Holzes wird bei KALTSCHMITT & HARTMANN lediglich als Annahme zu Grunde gelegt, er ist für den Energieertrag jedoch von entscheidender Bedeutung. Mengenangaben von Holz zur energetischen Nutzung sollten deshalb immer in t Trockenmasse (atro) erfolgen (LANG 2003, mündlich).

Einschätzungen unter Angabe der Trockenmasse (atro) zum vorhandenen Energieholzpotenzial in Deutschland gibt eine Studie der Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (DIETER & ENGLERT 2001). Diese beruhen auf Daten der Bundeswaldinventur (1986-1990) und des Datenspeichers Waldfonds (VEB FORSTPROJEKTIERUNG 1987). Neben der Ermittlung des theoretischen Energieholzpotenzials enthält die Studie Angaben darüber, ab welchem Preis vorhandene Energieholzpotenziale dem Markt tatsächlich als Holzhackschnitzel kostendeckend zur Verfügung gestellt werden können. Dies entspricht dem wirtschaftlichen Potenzial (DIETER & ENGLERT 2001).

Die Studie beziffert das Energieholzpotenzial bei einer unteren Aufarbeitungsgrenze von 12 cm auf knapp 14 Mio. tatro, davon 4,3 Mio. tatro Schwachholz und 9,5 Mio. tatro Waldrestholz. Bei einer erweiterten Aufarbeitungsgrenze von 8 cm würde sich das Potenzial um 2,5 Mio. tatro Schwachholz auf insgesamt rund 16,5 Mio. tatro erhöhen. Daraus errechnet sich bei einem Heizwert von 5,12 kWh (LWF 2000a) ein Energiewert von rund 304 PJ/a. Eine so weit gehende Erschließung wird jedoch auf Grund der erhöhten Bereitstellungskosten derzeit als fraglich angesehen.

Die Nutzung des Potenzials ist abhängig vom gezahlten Preis und den Kosten für die Bereitstellung. Die Bereitstellungskosten von Waldenergieholz variieren wiederum in Abhängigkeit von Relief (z.B. Hanglage) bzw. der Holzart. Je flacher und regelmäßiger das Relief und je größer die Waldflächen, desto eher ist eine effiziente Vollerntetechnik einsetzbar (z.B. mit einem Hackschnitzel-Harvester). Dies wirkt sich günstig auf die Kosten aus. Da die Kosten für die Bereitstellung vom Volumen abhängig sind, die Preise sich jedoch nach der Masse richten, kann für Holzarten mit einer höheren Dichte (Laubholzarten, insbesondere Eiche und Buche) bei gleichem Volumen zur Zeit ein höherer Preis erzielt werden (DIETER & ENGLERT 2001).

Auf dem Expertenworkshop zur energetischen Nutzung von Biomasse, der u. a. im Rahmen des hier vorgestellten F&E-Vorhabens auf der INA Vilm vom 16. bis 19. Juni 2003 stattfand, wurde bezüglich des theoretisch zur Verfügung stehenden Waldenergieholzes darauf hingewiesen, dass die Grunddaten zu dem in Deutschland vorhandenen Holzpotenzial voraussichtlich zu niedrig angesetzt sind. Exakte und deutlich nach oben korrigierte Zahlen werden von der derzeit in der Ausarbeitung befindlichen neuen Bundeswaldinventur erwartet (LANG 2003, mündlich).

### ***Industrierestholz***

Bei der industriellen Weiterverarbeitung von Holz fallen ebenfalls Reststoffe an. DEIMLING & KALTSCHMITT beziffern diese für 1992 mit rund 6,7 Mio. t Trockenmasse pro Jahr. 4,5 Mio. t/a davon wurden zur Papier- und Spanplattenherstellung genutzt. Die übrigen 2,2 Mio. t/a stünden für eine energie-

tische Verwertung zur Verfügung. Sie entsprechen einem Energiepotenzial von etwa 40 PJ/a (DEIMLING & KALTSCHMITT 2001).

### ***Altholz***

In der am 1. März 2003 erlassenen Verordnung über die Entsorgung von Altholz (ALTHOLZVERORDNUNG vom 23.8.2002) wird das Altholzaufkommen in unterschiedliche Kategorien aufgeteilt. Mit Altholz befeuerte Kraftwerke können je nach technischem Standard der Anlage nur bestimmte Altholzkategorien verwerten.

Nach Auswertungen des Fraunhofer-Instituts für Holzforschung (MARUTZKY 2003) wird das Altholzaufkommen in Deutschland auf bis zu 100 kg pro Jahr und Einwohner geschätzt. Dies ergäbe ein jährliches Altholzpotezial zwischen 7,5 und 8,5 Mio. t. In ähnlicher Höhe, mit etwa 8 Mio. t pro Jahr bzw. 97 kg pro Einwohner, beziffert das INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT das Altholzpotezial in der Abfallwirtschaft. Dies entspricht in etwa einer Energieleistung von 112 – 128 PJ/a. Langfristig wird dort jedoch auf Grund der nachlassenden Bautätigkeit mit 85 kg pro Jahr und Einwohner gerechnet. Der derzeit tatsächlich erschließbare Altholzanteil wird mit 6,5 Mio. t Altholz angegeben. Dies entspricht ca. 80 – 112 PJ/a. Davon werden jedoch 2 Mio. t/a bisher noch deponiert (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2002). Andere Quellen beziffern den verwerteten Altholzanteil deutlich höher auf 6,2 bis 6,5 t jährlich (MANTAU & WEIMAR 2002). DEIMLING & KALTSCHMITT gehen von einem Energiepotenzial aus Altholz von etwa 81 PJ/a aus (DEIMLING & KALTSCHMITT 2001).

Laut MARUTZKY (2003) sind bisher 15 Heiz(kraft)werke nach EEG in Betrieb und weitere 15 in Planung. Nach einer aktuellen Umfrage von KÖPCKE & SCHMIDTFRERICK (2002) ist diese Einschätzung allerdings nach oben zu korrigieren. Derzeit befinden sich demnach mehr als 60 Biomassekraftwerke auf Altholzbasis in Planung. Die vorgesehene Gesamtkapazität von 640 MW ist damit doppelt so hoch wie die errechnete Gesamtleistung aus dem noch nicht gebundenen Altholzpotezial von etwa 300 MW (KÖPCKE & SCHMIDTFRERICK 2002). Es ist offensichtlich, dass es vor diesem Hintergrund zu einem verstärkten Wettbewerb auf dem Altholzmarkt kommen wird. Dies lässt die Nutzung von Waldenergieholz zur Deckung von Rohstofflücken wahrscheinlicher erscheinen, obwohl die Verbrennung von unbelastetem Waldenergieholz in den teuren Filteranlagen der Altholzkraftwerke ökonomisch wenig sinnvoll ist (DREHER 2003, mündlich).

Im Vergleich zu Altholz ist das Waldenergieholz der teurere Brennstoff. Dennoch gibt es bereits Kraftwerkbetreiber, die neben Altholz auch Waldenergieholz zufeuern. Dies rechnet sich bei einer effizienten Nutzung der Biomasse durch Kraft-Wärme-Kopplung (vergl. KÖPCKE & SCHMIDTFRERICK 2002).

### ***Landschaftspflegeholz***

Das auf öffentlichen und privaten Grünflächen und bei der Landschaftspflege anfallende Pflegeholz wird in den meisten Fällen lediglich deponiert und kompostiert, aber nicht energetisch genutzt. Nur zu geringen Teilen erfolgt im privaten Bereich eine Nutzung als Brennholz (DEIMLING & KALTSCHMITT 2001). Man geht derzeit jedoch davon aus, dass neben dem Markt für Kompostprodukte im Bereich der Landschaftspflege die energetische Nutzung des Holzes ausgebaut werden kann (HOLZABSATZFONDS 2001).

Die Nutzung des Landschaftspflegeholzes wird allerdings in der Fachliteratur zumeist als „spezielle Inselösung“ (MARUTZKY & SEEGER 1999) beschrieben. Das Material gilt als zu feucht und bei einem gerin-

gen Aufkommen lediglich saisonal nutzbar. DEIMLING & KALTSCHMITT führen Holz aus der Landschaftspflege unter dem Sammelbegriff „Sonstige holzartige Biomasse“ auf. Sie messen dem Potenzial keine große Bedeutung zu (DEIMLING & KALTSCHMITT 2000).

Im Gegensatz zum Waldenergieholz setzt sich das Aufkommen holzartiger Biomasse aus der Landschaftspflege aus zahlreichen Quellen mit vergleichsweise sehr geringen Masseanteilen zusammen. Die Ermittlung des tatsächlich vorhandenen Potenzials ist entsprechend schwierig. Die Verteilung im Raum ist außerdem sehr heterogen. Genaue Werte über den Holzertrag müssen auf regionaler Ebene erfasst werden. In einer reich mit Hecken und Feldgehölzen strukturierten Landschaft kann beispielsweise wesentlich mehr Holz gewonnen werden als in strukturarmen Regionen mit geringem Gehölzbestand (WIEHE 2003).

Die Niedersächsische Energieagentur hat trotz dieser Schwierigkeiten versucht, Näherungswerte für das bundesweite Potenzial für Holz aus der Landschaftspflege zu errechnen. Grundlage für die Berechnung bildet eine Untersuchung der Feldgehölze in Baden-Württemberg, deren statistische Daten und Erfahrungen auf die gesamte Fläche des Bundeslandes umgerechnet wurden (MEINHARDT 2000).

Die Niedersächsische Energieagentur hat diese Ergebnisse auf die Fläche Niedersachsens übertragen und mit dort vorliegenden Einzelerhebungen abgeglichen. Mit der gleichen Methode wurde das technische Potenzial für die gesamte Bundesrepublik berechnet. Das Ergebnis zeigt eine Spanne von mindestens 4,6 Mio. t bis maximal 9,22 Mio. t anfallendes Landschaftspflegeholz pro Jahr. Die Minimalmenge entspricht dabei 50 % des errechneten technischen Potenzials, die Maximalmenge entspricht dem gesamten technischen Potenzial (BUDDENBERG & KRALEMANN 2002). DEIMLING und KALTSCHMITT geben dagegen für ganz Deutschland einen Wert von 1 Mio. Schüttraummeter (Srm) pro Jahr an (DEIMLING & KALTSCHMITT 2001). Umgerechnet entspricht dies etwa 200.000 bis 300.000 t pro Jahr.<sup>1</sup> Diese Werte unterscheiden sich signifikant und verdeutlichen, wie schwierig die theoretische Berechnung des Potenzials für Holz aus der Landschaftspflege ist.

### **6.3 Landwirtschaftliche Biomassepotenziale in Deutschland**

Für das in Deutschland anfallende Biomassepotenzial aus der Landwirtschaft werden die folgenden Stoffquellen getrennt dargestellt: Stroh als halmgutartiger Energieträger, Gülle und Mist, bei denen durch mikrobielle Umsetzung Biogas entsteht, sowie das Energiepflanzenpotenzial zur Biogasgewinnung. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass entsprechend der energetischen Nutzung (Vergärung oder Verbrennung) Verwertungskonkurrenzen entstehen können.

#### ***Stroh als halmgutartiger Energieträger***

Halmgutartige Energieträger stammen hauptsächlich aus der Landwirtschaft. Man kann prinzipiell unterschiedliche Arten halmgutartiger Biomasse unterscheiden. So werden bspw. Getreideganzpflanzen speziell zur Energienutzung angebaut, während Stroh als Nebenprodukt anfällt. Gräser können sowohl als Energiepflanzen angebaut werden, als auch in Form von Grasschnitt aus der Grünlandpflege und -nutzung anfallen.

In Bezug auf die Menge fällt neben Holz am häufigsten Stroh an. Analog zum Holz, welches unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit nur in begrenzten Mengen entnommen werden kann, kann auch die

---

<sup>1</sup> Annahme: 1 Srm entspricht 200-300 kg

Entnahme von Stroh aus dem Stoffkreislauf nur in begrenztem Umfang erfolgen, da eine bestimmte Strohmenge u.a. zur Erhaltung der Humusbilanz notwendig ist (VETTER 2001).

Das voraussichtlich erschließbare Strohaufkommen ist dabei von der konkurrierenden Nutzung, den Wachstums- und den Erntebedingungen abhängig. Die derzeit vergleichsweise geringe Nutzung von Stroh liegt in den gegenüber Holz teilweise ungünstigen Brennstoffeigenschaften und den vergleichsweise starken Schwankungen der Verfügbarkeit begründet. Frankreich und Deutschland, die innerhalb Europas zusammen über etwa die Hälfte des erschließbaren Strohpotenzials verfügen, nutzen dieses bislang nur in einem zu vernachlässigendem Umfang (THRÄN & KALTSCHMITT 2001). Über Kennwerte zum Korn-/Strohverhältnis, die je nach Getreideart variiert, lässt sich die jährlich anfallende Menge an Stroh ermitteln. So wurde für das Jahr 1999 in Deutschland ein Aufkommen von rund 43 Mio. t Frischmasse bei einem geschätzten Trockenmassegehalt von 86 % und einer Anbaufläche von 6.264.000 ha angegeben (LEIBLE et al. 2003).

Tab. 16: Abschätzung der für eine außerlandwirtschaftliche Nutzung verfügbaren Strohmenge in Deutschland (LEIBLE et al. 2003)

	<b>Strohmenge</b> (in Mio. t Frischmasse)
<b>(1) Strohaufkommen</b>	42,7
<b>(2) Strohverwendung in der Viehhaltung</b>	
Verfütterung:	1,9
als Einstreu: - Schafe, Pferde, Geflügel	1,5
- Rinder, Schweine*	7,4
Summe:	10,8
<b>(3) Strohmenge auf dem Feld verbleibend</b>	31,9
<b>(4) Verfügbare Strohmenge für außerlandwirtschaftliche Nutzung:**</b>	rd. 16 – 22
dies entspricht: in % vom Strohaufkommen	rd. 37 – 52 %
in % der auf dem Feld verbleibenden Strohmenge	rd. 50 – 70 %

\* unterstellter Anteil der Güllewirtschaft: 75 %; unterstellte Einstreumenge: rd. 6 kg Stroh pro Tag und GVE

\*\* Annahmen: je nach Fruchtfolge und Anbau von Zwischenfrüchten können 50 – 70 % des derzeit – nach der Berücksichtigung des Strohbedarfs in der Viehhaltung – auf dem Feld verbleibenden Strohs entnommen werden, ohne nachhaltige Beeinträchtigung der Humusbilanz. Wenn 70 % der Strohmenge in der Einstreu (Berücksichtigung von Rotteverlusten) wieder als Festmist auf das Feld zurückgelangt, verbleiben somit insgesamt rd. 37 – 52 % des Strohaufkommens auf dem Feld.

Während die Verwendung von Stroh als Futtermittel jährlich vom BMVEL abgeschätzt wird und für 1999 mit 1,87 Mio. t angegeben wird, bleibt die Verwendung von Stroh zur Einstreu eine unbekannte Größe (LEIBLE et al. 2003). Die Mindestmenge an Stroh, die aus Gründen der Fruchtfolge (Humusbilanz) auf dem Feld verbleiben muss, kann unter Zugrundelegung vereinfachter Restriktionen abgeschätzt werden. So wird davon ausgegangen, dass 70 % des abgeführten Strohs, das als Futtermittel oder zur Einstreu verwendet wird, wieder zurück auf das Feld gelangen. Unter Zugrundelegung bestimmter Annahmen, die den Strohbedarf in der Viehhaltung auf 10,8 Mio. t einschätzen und den Anteil an Stroh, der für eine ausgeglichene Humusbilanz auf dem Feld verbleiben sollte, mit 37 – 52 % angeben, errechnet sich eine

Menge von 16 – 22 Mio. t Stroh, die bundesweit für eine außerlandwirtschaftliche Nutzung (hier energetische Nutzung) zur Verfügung stehen (LEIBLÉ et al. 2003). Der mittlere Heizwert für Stroh liegt nach Angaben des INSTITUTES FÜR ZUKUNFTSENERGIESYSTEME (2002) bei 17,5 MJ/kg. Bei 16 Mio. t Stroh errechnet sich daraus ein technisches Potenzial von 272 PJ/a. Nach KALTSCHMITT (2001) kann das zur Verfügung stehende Energiepotenzial lediglich auf 104 PJ/a geschätzt werden. Er geht von einem technisch gewinnbaren Strohanfall von rund 39 Mio. t/a aus, sieht jedoch nur ein Fünftel davon als energetisch nutzbar an. Die Bandbreite der Angaben zum verfügbaren Potenzial variiert demnach erheblich (s. auch Fritsche 2004).

In Tabelle 16 wird das nach LEIBLÉ (2003) ermittelte Mengenaufkommen an Stroh, Verwendung in der Viehhaltung und im landwirtschaftlichen Stoffkreislauf sowie der sich daraus ergebenden energetisch zur Verfügung stehenden Menge aufgeschlüsselt.

### ***Energiepflanzen***

Um das Potenzial für Energiepflanzenanbau abzuschätzen, muss zunächst die maximal zur Verfügung stehende Anbaufläche ermittelt werden. Neben pflanzenbaulichen Aspekten werden die jeweiligen technischen Potenziale aus dem Energiepflanzenanbau primär durch die landwirtschaftlichen Nutzflächen, die für einen Energiepflanzenanbau verfügbar sind und nicht für die Nahrungsmittelproduktion benötigt werden, bestimmt. Weiterhin sind die erzielbaren flächenspezifischen Trockenmasserträge sowie die Heizwerte entscheidend.

Nach Angaben des BMU (1999) stehen von insgesamt 11,8 Mio. ha Ackerland ca. 1,5 Mio. ha Fläche, nach Angaben von DEIMLING & KALTSCHMITT (2001) max. 2 Mio. ha Fläche für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung. Dabei handelt es sich einerseits um Stilllegungsflächen und andererseits um Flächen, die zusätzlich aus der Nahrungsmittelproduktion ausgekoppelt werden können. Konkurrenznutzungen für die Pflanzenölgewinnung sind hier nicht berücksichtigt.

Für Energiepflanzen zur Festbrennstoffgewinnung wird von einem technischen Potenzial von 350 bis max. 400 PJ/a ausgegangen. Dieses errechnet sich, wenn man den Anbau von verschiedenen Energiepflanzen zugrunde legt. Bei einem alleinigen Anbau von Ganzpflanzengetreide ist mit einem Energiepotenzial von maximal 350 PJ/a zu rechnen, bei Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*) mit maximal etwa 420 PJ/a, und für Kurzumtriebsplantagen werden maximal ca. 400 PJ/a angegeben (DEIMLING & KALTSCHMITT 2001).

Energiepflanzen können auch als Substrat zur Biogasgewinnung angebaut werden. Das INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT hat auf Grundlage der Annahmen, dass 2 Mio. ha Anbaufläche verfügbar sind und der Anbau in einem Zwei-Kultursystem erfolgt, ein Energiepotenzial von maximal knapp 236 PJ/a errechnet (INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT 2002; s. Kapitel 9.5).

### ***Gülle und Mist***

Neben Energiepflanzen besitzen Mist und insbesondere Gülle ein hohes Potential zur Erzeugung von Biogas. Insgesamt beträgt das Biogaspotenzial in Deutschland rund 23 – 25 Mrd. m<sup>3</sup>/a. Der landwirtschaftliche Sektor trägt nach Angaben des BIOMASSE-INFOZENTRUMS mit rund 85 % den größten Anteil zum potenziellen Biogasaufkommen bei (BIOMASSE INFO-ZENTRUM 2002c). Die Abschätzungen zum Güllaufkommen orientieren sich am Viehbestand von Rindern und Schweinen, während der Bestand an Pferden, Schafen und Geflügel kaum maßgeblich ist. In Deutschland hat sich der Viehbestand an Rindern

und Schweinen bis 1999 um 5,5 % von 14,8 Mio. auf 13,49 Mio. GVE<sup>2</sup> verringert. Diese Entwicklung kennzeichnet die Verlagerung in der Tierhaltung hin zu größeren Beständen, gleichzeitig hat sich vermutlich die Bedeutung strohloser Haltungsverfahren (Güllewirtschaft) in der Rindvieh- und Schweinehaltung weiter verstärkt (LEIBLE et al. 2003). Geht man von einem durchschnittlichen Anteil der Güllewirtschaft von 75% aus, so schätzen LEIBLE et al. (2003) das jährliche Gülleaufkommen auf 180 Mio. t ein. Das BIOMASSE INFO-ZENTRUM (2000c) geht von einem Biogasertrag aus Gülle von 5.750 Mio. m<sup>3</sup>/a aus.

KALTSCHMITT (1993) hat errechnet, dass mit dem technisch nutzbaren Aufkommen an Gülle und Mist ein energetisches Potenzial von 80,9 PJ pro Jahr zur Verfügung stünde, dafür wäre der Betrieb von 220.000 Biogasanlagen erforderlich. Allerdings muss dabei die einzelbetriebliche Situation berücksichtigt werden, die gerade bei sehr kleinen Tierbeständen eine wirtschaftliche Lösung erfordert (SCHULZ & EDER 2001).

#### **6.4 Zusammenfassende Betrachtung der Energiepotenziale von Biomasse**

Das Potenzial an Biomasse in Deutschland ist wie im obigen Abschnitt dargelegt wird, sehr hoch. Das technische Potenzial, welches alleine aus biogenen Festbrennstoffen (ohne Berücksichtigung gasförmiger Energieträger und dem ungenutzten Holzzuwachs aus deutschen Wäldern) in Deutschland zur Verfügung steht, beläuft sich auf etwa 774 PJ/a (DEIMLING & KALTSCHMITT 2001). KALTSCHMITT & HARTMANN (2001) gehen von etwa 191 PJ/a aus, die derzeit von fester Biomasse zur Primärenergieversorgung gestellt werden, wobei der Großteil aus Brennholz, Waldrestholz und Industrierestholz gebildet wird, während Stroh nur einen sehr kleinen Beitrag von ca. 2,8 PJ/a leistet. Der überwiegende Teil der Biomasse-Energieerzeugung wird zur Wärmeproduktion genutzt, dabei werden ca. 187 PJ oder knapp 90 % aller regenerativ erzeugten Energien durch biogene Festbrennstoffe produziert (BIOMASSE INFO-ZENTRUM 2002a). Ohne Berücksichtigung der Brennholznutzung, die mit etwa 85 PJ/a veranschlagt wird, ergibt sich daraus ein Anteil von ca. 14 %, der vom zur Verfügung stehenden Potenzial genutzt wird.

Die bisherigen Nutzungsanteile der verschiedenen Potenziale sind sehr unterschiedlich. Energiepflanzen entziehen sich, mit Ausnahme von Mais und neuerdings auch Gras, zur Kofermentation in Biogasanlagen, einer gegenwärtigen Nutzung fast vollständig, da es bisher auf Grund der hohen Produktionskosten keinen Markt gibt. Inwiefern sich das mit dem neuen EEG (2004) ändern wird bleibt abzuwarten. Waldrestholz wird dagegen zu nahezu zwei Fünfteln zur Deckung der in Deutschland gegebenen Energienachfrage in kleinen bis kleinsten Anlagen eingesetzt. Industrierestholz, welches zur energetischen Verwertung zur Verfügung steht, wird nahezu komplett entweder in den Betrieben selbst oder in der unmittelbaren Umgebung genutzt (DEIMLING & KALTSCHMITT 2001).

Insgesamt trägt Biomasse (inklusive der gasförmigen Energieträger) zu ca. 1,78 % zum Primärenergieverbrauch bei (STAIB 2003). Betrachtet man die beachtlichen technischen Potenziale, so könnte Biomasse einen erheblich größeren Beitrag zum Ersatz der derzeitig eingesetzten fossilen Primärenergieträger leisten. DEIMLING & KALTSCHMITT (2001) geben an, dass ca. 5,2 % der fossilen Energieträger durch Biomasse ersetzt werden könnten. Das Erzeugungsziel der Bundesrepublik bis zum Jahre 2010 vier Prozent

---

<sup>2</sup> Eine Großvieheinheit (GVE) ist ein Umrechnungsschlüssel für die verschiedenen Nutztierarten auf Basis des Lebendgewichtes der einzelnen Tierarten. Eine GVE entspricht ca. 500 kg Lebendgewicht.

des Primärenergieverbrauchs aus regenerativen Energien bereitzustellen, könnte bei einer verstärkten Potenzialausschöpfung demnach zu einem Großteil aus Biomasse abgedeckt werden.

### ***Brennstoffkosten***

Mit entscheidend für das Erreichen der gesteckten Ziele zur energetischen Nutzung von Biomasse ist das Verhältnis der Brennstoffkosten fossiler und nachwachsender Energieträger. Die bekannten Reserven fossiler Energieträger werden über kurz oder lang ausgeschöpft sein, während das Aufspüren und die Förderung neuer Vorkommen entweder sehr kostenintensiv, oder aus ökologischen Gründen nicht zu verantworten ist. Ein kontinuierlicher Preisanstieg für Öl und Gas ist somit wahrscheinlich vorprogrammiert, weshalb der heimische Energieträger Holz zumindest mittelfristig vergleichsweise immer kostengünstiger werden wird. Beim Heizöl sind derzeit deutliche Preisschwankungen zu beobachten, die vor allem von der Jahreszeit (bzw. vom Bedarf) und natürlich vom Rohölpreis abhängen. Hier bietet sich ein Vergleich mit Holzpellets an: Von September 2000 bis März 2002 lag der durchschnittliche Heizölpreis hierzulande zwischen 0,32 € und 0,55 € pro Liter, was Brennstoffkosten von 3,2 – 5,5 Cent/kWh ergab. Im ersten Halbjahr 2002 betragen die Preise für Holzpellets bundesweit durchschnittlich zwischen 175 € und 210 € pro Tonne, die entsprechenden Brennstoffkosten 3,5 – 4,2 Cent/kWh. Waren die Kosten pro Kilowattstunde für Gas, Heizöl und Holzpellets im Jahr 2002 noch ungefähr gleich, wird sich das zukünftig zugunsten des Energieträgers Holz ändern (BRENNSTOFFSPIEGEL, Internet).

Energiepflanzen entziehen sich auf Grund der sehr hohen Energieträgerkosten zum gegenwärtigen Zeitpunkt einer Erschließung der Potenziale. Stroh steht als Nebenprodukt der Getreideproduktion zwar zu vergleichsweise niedrigen Kosten zur Verfügung, allerdings ist die Anlagentechnik nur sehr eingeschränkt verfügbar (vgl. Kap.4.2).

## 7 Energieholznutzung und Naturschutz in der Forstwirtschaft

Ausgehend von den aktuellen Tendenzen zur Ausweitung der energetischen Nutzung von Waldholz ist zu diskutieren, inwieweit ein Anstieg der Entnahmemengen zur Produktion von Wärme und Strom dauerhafte Auswirkungen auf das Ökosystem Wald oder einzelne seiner Bestandteile hat. Dabei ist zu prüfen, ob für Belastungen, die aus Sicht des Naturschutzes über das Niveau der bereits bestehenden forstwirtschaftlichen Einwirkungen hinaus gehen und naturschutzfachliche Mindestanforderungen über die Gute fachliche Praxis in der Forstwirtschaft konkretisiert und gesichert werden können.

Dazu soll an den aktuellen Stand der naturschutzfachlichen Diskussion angeknüpft werden. Insbesondere wird auf den im Rahmen eines vom BfN geförderten F+E-Vorhabens erarbeiteten „Kriterienkatalog zur Guten fachlichen Praxis in der Forstwirtschaft“ von WINKEL & VOLZ (2003) zurückgegriffen. Allerdings ist der Aspekt einer zukünftigen energetischen Nutzung von Waldholz in der Forschungsarbeit von WINKEL & VOLZ (2003) nur am Rande thematisiert worden.

Folgende Bereiche, in denen durch eine energetische Nutzung Veränderungen zu erwarten sind, werden deshalb auf Grundlage des bei WINKEL & VOLZ (2003) dargestellten Diskussionsstandes eingehender betrachtet:

- Integrativer/segregativer Naturschutz
- Nährstoffkreisläufe
- Walderschließung
- Bodenverdichtung
- Erstaufforstung, Bestandsbegründung und Waldumbau

Nach einer kurzen Erläuterung des naturschutzfachlichen Rahmens werden dazu die möglichen Auswirkungen einer intensivierten bzw. veränderten Holznutzung diskutiert. Anschließend wird geprüft, inwieweit die Kriterienvorschläge zur Guten fachlichen Praxis in der Forstwirtschaft nach WINKEL & VOLZ (2003) vor diesem Hintergrund ausreichend konkret formuliert sind bzw. ob sie modifiziert oder erweitert werden sollten.

### 7.1 Integrativer Naturschutz im Wirtschaftswald

Naturschutzziele auf bewirtschafteten Flächen beinhalten eine Vielzahl unterschiedlicher Anforderungen an die Forstwirtschaft, die unter der Bezeichnung „Integrativer Naturschutz“ zusammengefasst sind. Das Spektrum reicht vom Erhalt angemessener Alt- und Totholzanteile, Nist- und Höhlenbäumen, Kleinstbiotopen und weiteren naturschutzrelevanten Kleinstrukturen bis hin zur vielfältigen Gestaltung und Pflege von Waldrändern.

Die Umsetzung dieser Forderungen in der Praxis variiert in Abhängigkeit von Standort-, Besitz- und Bewirtschaftungsverhältnissen, auf die im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht im Einzelnen eingegangen werden kann. Die aktuelle Diskussion zur Guten fachlichen Praxis in der Forstwirtschaft verdeutlicht, welche Konflikte sich aus den gegensätzlichen Zielen des ertragsorientierten Wirtschaftens und Naturschutzinteressen ergeben (vgl. WINKEL & VOLZ 2003: 61ff). Die verstärkte Nutzung von Waldenergie-

holz kann zu weiteren Beeinträchtigungen von Lebensraumfunktionen im Wirtschaftswald führen. Sie sollte daher in die naturschutzfachliche Diskussion zu den bekannten Konfliktfeldern einfließen.

### **7.1.1 Altholzbestände**

Alte Baumbestände und alte bzw. abgestorbene Einzelbäume sind wesentliche Elemente für arten- und strukturreiche Waldgesellschaften. Den Nutzen für einzelne Tierarten bzw. Artengruppen belegen zahlreiche Untersuchungen (vgl. WINKEL & VOLZ 2003: 50ff).

Eine an dieser Stelle genannte Forderung des Naturschutzes bezieht sich auf die Verlängerung der Umtriebszeiten, um das Durchschnittsalter der Bestände anzuheben und dadurch den potenziellen Altholzanteil zu erhöhen. Zusätzlich werden positive Auswirkungen auf den Totholzanteil und bei der Verfügbarkeit von Nist- und Höhlenbäumen erwartet.

Die Länge der Umtriebszeiten ist primär von der Stammholznutzung abhängig. Im Gegensatz zu den weltweit dominierenden, preisgünstigen schwächeren Massenwaren aus kurzumtriebigen Wirtschafts- bzw. Plantagenwäldern zielt die mitteleuropäische Waldwirtschaft auf die Erzeugung qualitativ hochwertiger, starker Hölzer. Trotz der dadurch bedingten längeren Umtriebszeiten erreichen die Baumarten im Wirtschaftswald ihr natürliches Alter in der Regel bei weitem nicht (WINKEL & VOLZ 2003: 62).

In der aktuellen Diskussion um die energetische Nutzung holzartiger Biomasse steht aus wirtschaftlichen Gründen das bei der Durchforstung anfallende Schwachholz sowie das Waldrestholz im Mittelpunkt. Das höherwertige Stammholz wird dennoch generell einer stofflichen Nutzung zugeführt. Ein Wettbewerb zwischen stofflicher und energetischer Nutzung ist für das Stammholz derzeit nicht zu erwarten (MARUTZKY 2003). Erst wenn alle vergleichsweise preiswert zu erschließenden Potenziale abgeschöpft wären, könnte eine energetische Nutzung von Stammholz attraktiv werden. Auch der Import von Holzhackschnitzeln ist als potenziell günstigere Alternative zuvor in Betracht zu ziehen.

Es ist derzeit generell nicht davon auszugehen, dass die Nutzung holzartiger Biomasse unmittelbare Auswirkungen auf die Stammholzproduktion und somit auf die Länge der Umtriebszeiten haben wird. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass bei einer entsprechenden regionalen Nachfrage ein Trend zur großflächigen und effizienten Neuanlage bzw. -nutzung von Kurzumtriebsplantagen einsetzt. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass diese wirtschaftlich betrieben werden können (siehe auch Kapitel 7.4).

#### ***Gute fachliche Praxis „Mindestalter von Endnutzungsbeständen“***

Die in Kriterium 7 zur Guten fachlichen Praxis festgelegten Mindestalter für die Endnutzung von Baumbeständen schließen, bis auf die genannten Ausnahmen, die frühzeitige Endnutzung von Beständen zur energetischen Verwertung, zumindest für einige Baumarten, explizit aus. Nutzungen vor Erreichen des Mindestalters sind jedoch für Fehlbestockungen und schmale Waldstreifen entlang von Straßen und Kanalböschungen denkbar.

**Kriterium 7: [Mindestalter von Endnutzungsbeständen]**

Endnutzungen von Nadelbaumbeständen unter 50 Jahren und Laubbaumbeständen unter 70 Jahren mit Ausnahme von Niederwaldbeständen, sonstigen Stockausschlagsbeständen, Weichlaubholzbeständen und erheblich geschädigten Beständen sind nicht Kennzeichen Guter fachlicher Praxis in der Forstwirtschaft. Dieses Kriterium gilt nicht für Endnutzungen von standortfremden Reinbeständen, die dem Umbau dieser Bestände in standortgemäße Waldbestände dienen (WINKEL & VOLZ 2003: 63).

Ein weiter gehender Regelungsbedarf durch die Gute fachliche Praxis wird hinsichtlich der Umtriebszeiten nicht gesehen, da diese in der Regel von der Stammholzproduktion abhängig sind und dieses Marktsegment mittel- bis langfristig einer stofflichen Verwertung vorbehalten bleibt.

**7.1.2 Totholz, Nist und Höhlenbäume**

Bisher wurden bei Durchforstungs- oder Erntemaßnahmen qualitativ minderwertige oder absterbende Bäume nach der Abwägung von Kosten und Nutzen durch den Bewirtschafter ggf. im Bestand belassen. Eine energetische Nutzung bietet jedoch zukünftig einen zusätzlichen Anreiz, diese potenziellen Nist- und Höhlenbäume bzw. stehendes oder liegendes Totholz gewinnbringend zu verwerten. Qualitätsdefizite wie z.B. durch Wuchsform oder niedrige Astansätze sind bei dieser Entscheidung im Gegensatz zur stofflichen Verwertung nicht von Bedeutung. So weist beispielsweise das Merkblatt Nr.10 der LWF zur „Bereitstellung von Waldhackschnitzeln“ auf eine Mehrausbeute bei Hackschnitzeln gegenüber der Industrielohnnutzung hin. Zusätzlich können demnach dürres, faules und zu krummes Holz sowie nicht marktgängige Sortiment und Kronen zu Holzhackschnitzeln verarbeitet werden (LWF 2002). Im Vordergrund steht eine möglichst effiziente Bergung von großen Holzmassen pro Flächeneinheit und die gute Auslastung der eingesetzten Erntemaschinen. Je höher der Grad der Mechanisierung eines Verfahrens ist, desto höher sind die Investitionskosten und desto teurer wirken sich unerwünschte Wartezeiten aus (LWF 2002). Das könnte dazu führen, dass insbesondere auch stehendes Totholz und andere größer dimensionierte Anteile aus dem vorhandenen Totholzspektrum bzw. vorhandene und potenzielle Nist- und Höhlenbäume für die Verarbeitung als Holzhackschnitzel relevant werden. Gerade diese Anteile sind jedoch von besonderer hoher naturschutzfachlicher Bedeutung (WINKEL & VOLZ 2003). Kleineres sowie zerstreut im Bestand liegendes Totholz, bzw. bereits stärker zersetzte Fraktionen mit hohem Feuchtegehalt kommen für eine energetische Nutzung aus Kosten- bzw. Qualitätsgründen dagegen kaum in Frage.

***Gute fachliche Praxis „Integrativer Naturschutz“***

WINKEL & VOLZ (2003) formulieren zu diesem Themenbereich zwei Kriterien. Das Kriterium Nr. 8 bezieht sich auf den Schutz von Nist- und Höhlenbäumen sowie die Nutzung von Horstbäumen. Das Kriterium Nr. 9 schließt neben dem Totholz auch den Erhalt von Biotopen, Kleinstrukturen und seltenen Baumarten ein.

**Kriterium 8: [Schutz von Biotopbäumen]**

Nist- und Höhlenbäume sind bei der forstlichen Nutzung in Abwägung ihres naturschutzfachlichen Wertes mit sonstigen forstbetrieblichen Zielsetzungen zu schonen. Insbesondere ist auf eine forstliche Nutzung von Höhlenbäumen im Zeitraum zwischen dem 1.3. und dem 31.8. gänzlich zu verzichten (WINKEL & VOLZ 2003: 66).

Die Notwendigkeit, den Schutz von Biotopbäumen im Rahmen der Guten fachlichen Praxis explizit hervor zu heben, erhält vor dem Hintergrund einer möglichen energetischen Nutzung eine erhöhte Dringlichkeit. Zusätzlich ist zu diskutieren, ob die in Kriterium Nr. 8 genannte Abwägung des naturschutzfachlichen Wertes mit sonstigen forstbetrieblichen Zielsetzungen nicht durch einen generellen Verzicht einer energetischen Nutzung von Biotopbäumen und Totholz (Kriterium Nr. 9) zu erweitern ist.

#### **Kriterium 9: [Integrativer Naturschutz im Wirtschaftswald]**

Wälder sollen auch außerhalb von ausgewiesenen Naturwaldzellen und außerhalb ausgewiesener Vorrangflächen einen in Menge und Qualität ausreichenden Bestand an Alt- und Totholzanteilen aufweisen. Darüber hinaus sind Vorkommen seltener Baumarten, Lichtungen, Waldwiesen und Saumbiotope zur Sicherung der Lebensräume wildlebender Tiere, Pflanzen und sonstiger Organismen in ausreichendem Umfang zu erhalten. Insbesondere sind im Rahmen der Guten fachlichen Praxis Maßnahmen zu unterlassen, die zu einer erheblichen Verschlechterung des naturschutzfachlichen Wertes derartiger Strukturen führen (WINKEL & VOLZ 2003: 70).

Eine energetische Waldholznutzung könnte den Bestand von Alt- und Totholzanteilen weiter einschränken. Deshalb ist die konsequente Umsetzung von Kriterium Nr. 9 im Rahmen der Guten fachlichen Praxis für die energetische Nutzung von Waldholz einzufordern und zu unterstützen. Bei der Umsetzung bedarf es auf Länderebene jedoch der Konkretisierung, welche Mengen und Qualitäten für welche Standorte und Bestände als „ausreichend“ angesehen werden. Weiterhin besteht Bedarf an Vorschlägen, wie der Schutz von Alt- und Totholzanteilen sowie Kleinstrukturen in der forstlichen Praxis umgesetzt und kontrolliert werden kann. Hier besteht konkreter Forschungsbedarf.

#### **7.1.3 Pflege von Waldrändern**

Waldränder sind Grenzlinienbiotope, die in der Kulturlandschaft zumeist durch menschliche Eingriffe entstanden sind und durch andauernde Pflegeeingriffe in ihrem Zustand gehalten werden (SCHERZINGER 1996). Die Pflege erfolgt bisher durch die Waldbesitzer oder angrenzende Nutzer (in der Regel Landwirte), die je nach Bedarf und verfügbarer Arbeitszeit die angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen bzw. Zufahrten von Bewuchs freihalten. Abgesehen von einer Schutzfunktion für nahe am Waldrand stehende Bäume war ein ökonomischer Nutzen daraus bisher nicht zu ziehen.

Eine Vermarktung des Schnittgutes könnte bei vorhandenen, reich strukturierten Waldrändern z.B. in Verbindung mit der Energieholznutzung angrenzender Bestände, zu einem deutlich intensivierten und rationalisierten Rückschnitt von Waldrandstrukturen führen. Dabei besteht u.a. die Gefahr, dass Waldränder aus Kosten- und Zeitgründen maschinell begradigt werden und homogene, abrupte Übergänge entstehen. Auch eine selektive und vielfältige Pflege im Sinne des Naturschutzes ist aus den oben genannten Gründen ohne explizite Vorgaben und die praktische Begleitung von Maßnahmen nicht vorauszusetzen.

Andererseits sind vielerorts Waldränder oft wenig strukturiert und ungepflegt, so dass die Energieholznutzung auch die Chance bieten kann, durch eine stärkere Waldrandpflege eine bessere Auflichtung und Verjüngung dieser Strukturen und damit eine Aufwertung aus Sicht des Arten- und Biotopschutzes sowie des Landschaftsbildes zu erreichen. Insbesondere auf sauren Böden stockende Laub- und Nadelwälder besitzen meist keinen gestuften Waldrand. Der Übergang vom Wald zur angrenzenden Fläche ist abrupt und offen (RODE 1997). Hier bietet sich die Chance der Entwicklung Strauch-dominiertes, zonierter Waldränder, deren Aufwuchs energetisch verwertet werden kann. Insbesondere licht- und wärmeliebende

Arten könnten davon profitieren und einer Überalterung von Waldrändern würde vorgebeugt werden (RODE 1997). Ähnlich positive Aspekte ließen sich ggf. bei einer stärkeren Nutzung bzw. Pflege von Hecken, Straßenrändern und Uferböschungen etc. erzielen.

### ***Gute fachliche Praxis „Pflege von Waldrändern“***

Die von WINKEL & VOLZ (2003) in Kriterium Nr. 10 vorgeschlagene „besondere Beachtung der ökologischen Funktionen von Waldrändern“ wird durch eine mögliche Nutzung des Schnittgutes in ihrer Bedeutung gestärkt. Dies gilt ebenso für die Formulierung, dass Maßnahmen, die zu einer Verschlechterung der ökologischen Funktionen eines Waldrandes führen nicht Bestandteil der Guten fachlichen Praxis in der Forstwirtschaft sind.

#### **Kriterium 10: [Waldränder]**

Die besondere Beachtung der ökologischen Funktionen der Waldränder ist ein Kriterium Guter fachlicher Praxis in der Forstwirtschaft. Maßnahmen, die zu einer Verschlechterung dieser ökologischen Funktionen führen, sind nicht Bestandteil der Guten fachlichen Praxis in der Forstwirtschaft (WINKEL & VOLZ 2003: 72).

Dem Kriterium sollte ergänzend hinzugefügt werden, dass eine forstwirtschaftliche Nutzung gleichzeitig zu einer Entwicklung von strukturreicheren Waldrändern genutzt werden sollte, um die Naturschutz- und Erholungsfunktion im Sinne einer multifunktionalen Waldnutzung zu verbessern.

## **7.2 Nährstoffkreisläufe und Holzentnahme**

Ein intakter Nährstoffhaushalt des Waldbodens ist die Voraussetzung für gesunde und stabile Wald-Ökosysteme. Er bildet gleichermaßen die Grundlage für eine nachhaltige Holzwirtschaft. Das natürliche Gleichgewicht im Stoffhaushalt der Waldböden wurde und wird jedoch seit Jahrhunderten durch anthropogene Einwirkungen beeinträchtigt. War es bis ins vorletzte Jahrhundert die übermäßige Entnahme von Biomasse in Form von Holz, Feinreisig und Laub (u.a. KÜSTER 1999), führt heute der Eintrag von Schwefel- und Stickstoffverbindungen aus der Luft zu zum Teil irreversiblen Veränderungen der Systeme (u.a. KÖLLING 2000, RODE 1999, TENHUNEN et al. 2001).

Folge ist ein anhaltender Trend der fortschreitenden Versauerung von Böden bei gleichzeitiger Eutrophierung durch zunehmende Stickstoffeinträge vor allem aus den Bereichen Landwirtschaft und Verkehr. Hohe N-Einträge können an einigen Standorten zu einer Stickstoffsättigung der Böden und des Bestandes führen. Überschüssige Stickstoffanteile werden dann über das Sickerwasser als Nitrat ausgewaschen und belasten das Grundwasser (u.a. GENSIOR und KÖLLING 2002).

Durch den Säureeintrag aus der Luft kommt es auf vielen Standorten zu Verlusten an Pflanzennährstoffen (vor allem Calcium, Magnesium, Kalium) durch Auswaschung ins Grundwasser. Können diese Stoffe nicht durch die Verwitterung nachgeliefert werden, verringert sich das Nährstoffangebot. Der pH-Wert nimmt ab und die Wachstumsbedingungen verschlechtern sich (KÖLLING 2000). Bei fortschreitender Versauerung werden zunehmend Aluminium- und Mangan-Ionen freigesetzt, die wurzelschädigend wirken (GUSSONE 1991). Gleichzeitig nimmt die Verfügbarkeit basischer Kationen ab. Insbesondere bei Magnesium aber auch bei Kalium, Phosphor und Calcium kann es in sauren Böden zu Mangelerscheinungen kommen.

nungen kommen (u.a. RUNGE & RODE 1991, RODE 1996). Durch eine nicht standortgerechte übermäßige Entnahme von Biomasse wird dieser Mangel verstärkt. Langfristige Folgen sind nachhaltige Veränderungen des Bodens und eine nachlassende Produktivität des Standorts.

Besonders auf basenarmen Standorten, wie bodensauren Buchenwäldern oder Eichen- und Kiefernbeständen armer pleistozäner Sande, dürfte sich eine übermäßige Holzentnahme besonders negativ auf den Nährstoffhaushalt des Systems und auf die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung auswirken. Die Folgen der verstärkten Holzernte ist insbesondere auf diesen Standorten mit deutlichen Nährstoffdefiziten bei der Calcium-, Magnesium- und Kaliumversorgung der Pflanzen, verbunden mit einer Bodenversauerung zu rechnen. Als Gegenmaßnahme wird eine Einstellung der Nutzung von Brenn- und Industrieholz vorgeschlagen (RADEMACHER et al. 1999, 2001). BAUDISCH et al. (2003) empfehlen, für nährstoffarme Standorte in Bayern auf die Nutzung der Kronen im Regelfall zu verzichten.

In Einzelfällen können durch eine intensive Holznutzung mit Stickstoff- und Kaliumerträgen belastete Standorte, für die aus naturschutzfachlicher Sicht der Erhalt einer natürlichen Basenarmut angestrebt wird, durch einen kontinuierlichen Nährstoffentzug positiv beeinflusst werden (REIF et al. 2001). Doch sollte in solchen Fällen der naturschutzfachliche Nutzen gegenüber möglichen Nährstoffimbilanzen vor allem im Verhältnis zu Magnesium und zu negativen Auswirkungen durch das Ausschließen der Zersetzerkette abgewogen werden.

Die Übernutzung der Systeme ist umso stärker, je mehr Fraktionen der vorhandenen Biomasse entnommen werden. Insbesondere die Voll- und Ganzbaumernte wird sehr kritisch betrachtet, da hierbei neben den größeren Holzanteilen zusätzlich die Blatt- und Nadelmasse sowie Feinreisig und Reisig aus dem Bestand entnommen wird. Beide Fraktionen weisen im Vergleich zum Stamm-, Derb- und Reisholz deutlich höhere Konzentrationen an Nährstoffen auf (RODE & SCHMITT 1995) und sollten daher auf jeden Fall im Bestand verbleiben (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001, LWF 2002, DIETER & ENGLERT 2001).

Aus naturschutzfachlicher Sicht sind in jedem Fall Wurzelstöcke bzw. –stubben im Bestand zu belassen, da ihre Rodung neben einem unzulässig hohen Nährstoffentzug eine starke Schädigung des Waldbodens nach sich ziehen würde. In der Regel ist die Verfügbarmachung des Stubbens sehr aufwendig und verbleibt daher aus ökonomischen Gründen (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001). Andererseits finden sich bereits Anfang der 80er Jahre Hinweise auf die Entwicklung einer maschinellen Erntetechnik in Finnland und Schweden, die speziell auf die Baum- und Stockrodung ausgerichtet ist, um die Ausbeute holzartiger Biomasse zu steigern (KREUTZER 1980).

Zusätzlich zur Energieholznutzung ist auch im Bereich der Holzwerkstoff- sowie der Papier- und Zellstoffindustrie mit einer steigenden Rohstoffnachfrage bei Industrieholz- und Schwachholzsportimenten zu rechnen. Grund ist u.a. die Ausweitung der Produktionskapazitäten durch den Bau neuer Zellstoffwerke (MARUTZKY 2003). Durch diese Konkurrenzsituation kann sich der Druck auf den Biomasseentzug aus Wäldern verstärken.

Gleichzeitig nimmt auf Seiten der Forstbetriebe, in jüngerer Zeit auch immer stärker bei den staatlichen Forstbetrieben, der Druck zu kostendeckendem Arbeiten im Bereich der Holzproduktion stark zu. Zur Wirtschaftlichkeit müssen neben Kostensenkungen auch Erlössteigerungen beitragen. Diese werden durch eine immer weitere Optimierung der Holzerntetechnik (Stichwort: Harvester; s. Kapitel 7.3) und der Logistikkette in der Holzernte erbracht. Früher nicht kostendeckend aufzuarbeitende Holzsortimente können jetzt die erforderlichen Deckungsbeiträge erbringen (ANONYMUS 2003, mündlich).

### 7.2.1 Handlungsbedarf zum Erhalt stabiler Nährstoffverhältnisse

Vor diesem Hintergrund ist zu überprüfen, in welchem Umfang einzelne Standorttypen für eine verstärkte Holzentnahme zusätzlich zur Stammholznutzung geeignet sind, ohne eine dauerhafte Beeinträchtigung der Nährstoffgehalte im Boden und damit eine Verminderung der Nachhaltigkeit der Produktivität zu verursachen. Zur Frage, welche Nährstoffmengen bei der Entnahme von Waldenergieholz tatsächlich dem Kreislauf entzogen werden und unter welchen Standortbedingungen dies zu kritischen Beeinträchtigungen der Nährstoffbilanz führt, besteht weiterer Forschungsbedarf.

Standorts- und Forsteinrichtungskarten bieten zwar Anhaltspunkte für die vorhandenen Nährstoffverhältnisse, diese sind jedoch nach Ansicht der Bayerischen Landesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (LWF) um detailliertere Daten zum Stoffhaushalt zu ergänzen (KÖLLING 2000). Eine Methodik zur Analyse und systematischen Zuordnung von Standorten zu Stoffhaushaltstypen ist dem LWF-Bericht Nr. 22 (KÖLLING 2000) zu entnehmen. In der Untersuchung werden die Schwefel- und Stickstoffanteile im Bestandsniederschlag sowie die Verhältnisse von Nährelementen und Aluminiumkonzentrationen in der Bodenlösung von Ober- und Unterboden im Wurzelraum herangezogen. Zu den daraus abgeleiteten Standorttypen werden u.a. Empfehlungen zu Art und Umfang waldbaulicher Maßnahmen gegeben sowie Nutzungsgrenzen angedeutet (KÖLLING 2000). In diesem Zusammenhang sollte untersucht werden, inwieweit die Methodik zur forstlichen Standortanalyse angepasst werden muss, um an den jeweiligen Nährstoffhaushalt des Standortes angepasste Entnahmemengen von Biomasse in Form von Stammholz und Holz zur Energieproduktion festzusetzen und diese in regelmäßigen Zeitabständen anzupassen. Hierzu können ggf. zunächst bereits heute durchgeführte Bodeninventuren herangezogen werden.

Vor einer sich stärker ausweitenden Nutzung von Waldenergieholz sollten auf Standorttypen bezogene Entnahmehöchstgrenzen zu benannt werden, an denen sich die Holzentnahme in der forstwirtschaftlichen Praxis orientieren sollte. Die Methodik der Bayerischen Landesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (KÖLLING 2000) stellt dafür ein gutes Beispiel dar, das für die breite Praxis weiter entwickelt werden könnte.

### 7.2.2 Gute fachliche Praxis – Kriterium „Düngung des Waldes“

Im Rahmen der Diskussion zu den Kriterien der Guten fachlichen Praxis bildet der Aspekt der Düngung im Zusammenhang mit der Holznutzung bei WINKEL & VOLZ (2003) den Schwerpunkt.

#### **Kriterium 16: [Düngung des Waldes]**

Forstliche Düngung orientiert sich am Prinzip der Standörtlichkeit. Sie kommt daher nur zum Einsatz, um anthropogen verursachten Nährstoffmangel zu beheben und dient nicht einer Melioration der charakteristischen, standörtlich natürlichen Ertragskraft. Vor dem Hintergrund der Eutrophierungsproblematik ist die Verwendung von stickstoffhaltigen Düngern kein Bestandteil der Guten fachlichen Praxis in der Forstwirtschaft. Ausnahmen (beispielsweise in Waldschadensgebieten) bedürfen einer Genehmigung (WINKEL & VOLZ 2003: 110).

Zur Umsetzung des Prinzips der Standörtlichkeit innerhalb der Guten fachlichen Praxis ist der Erhalt stabiler Nährstoffkreisläufe sicher zu stellen. Eine Holzentnahme zur energetischen Nutzung muss sich

dabei an der Nährstoffverfügbarkeit der Standorte orientieren, da in vielen Beständen ein stärkerer zusätzlicher Nährstoffentzug die Nachlieferungskapazitäten des Bodens übersteigen würde. Mittel- bis langfristig wäre ein Mangel verfügbarer Pflanzennährstoffe die Folge.

Es sollte in Bezug auf das Kriterium „Düngung des Waldes“ klar herausgestellt werden, dass sich eine Düngung des Waldes ausschließlich auf den Ausgleich anthropogen verursachten Nährstoffmangels und Versauerung durch die allgemeine diffuse Schadstoffbelastung und nicht auf eine übermäßige Nutzung von Waldenergieholz bezieht.

In solchen Fällen wären ansonsten regelmäßig Ersatzdüngungen erforderlich, um die Ertragskraft der Bestände aufrecht zu erhalten. Mit regelmäßigen Düngungen würde sich die Forstwirtschaft jedoch vom Prinzip der Standörtlichkeit lösen und sich landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsprinzipien annähern, welche die Standorte an die Produktionserfordernisse anpassen und nicht umgekehrt. Denn der Übergang von Ersatzdüngung zu Standortmelioration ist fließend und würde sich einer Kontrolle weitgehend entziehen.

Diese Vorstellung scheint zwar für die Wirtschaftswälder derzeit kaum realistisch, dennoch sollte die weitere Entwicklung im Falle einer deutlich ansteigenden Nachfrage insbesondere bei den Wäldern und Forsten in Privatbesitz aufmerksam beobachtet werden.

Des Weiteren ist zu fordern, dass die energetische Nutzung von Wurzelstubben, Wurzelstöcken, Feinreisig, Laub sowie die Ganzbaumernte aus Sicht einer schonenden und naturverträglichen Waldbewirtschaftung grundsätzlich unterbleiben sollte und eine diesbezügliche Festsetzung als Kriterium in die Gute fachliche Praxis der Forstwirtschaft zu übernehmen ist.

### **7.3 Bodenschutz und Walderschließung**

Die Auswirkungen der Walderschließung werden naturschutzfachlich unterschiedlich bewertet. Bei WINKEL & VOLZ (2003) wurden die folgenden Punkte als naturschutzfachlich ungünstig angeführt:

- die Fragmentierung und Verinselung durch den Wegebau (Barrierewirkung)
- die „Zugangsfunktion“ der Waldwege, welche eventuell störungsempfindliche Bereiche für Erholungssuchende erschließen
- faunistische und floristische Veränderung durch standortfremdes Baumaterial
- negative Auswirkungen auf den Wasserhaushalt durch die Anlage von Gräben
- Zerstörung oder Beeinträchtigung seltener Biotope

Als positive Aspekte wurden genannt:

- die Schaffung von lichten Sonderbiotopen und die
- Vernetzungswirkung von Wegen zwischen verschiedenen Biotopen

Der Grad der Walderschließung in Deutschland ist im internationalen Vergleich als hoch einzustufen (REIF et al. 2001). Dementsprechend wird vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF 1997) die Erschließung der Wälder in Westdeutschland als „ausreichend“ angesehen. Auch WINKEL & VOLZ (2003: S. 47) messen der naturschutzfachlichen Problematik der Walderschließung eine rückläufige Bedeutung zu, da diese zumindest in den alten Bundesländern als abgeschlossen

gelten kann und eine weitere Verdichtung des Wegenetzes an ökonomische Grenzen stößt. Lediglich für Ostdeutschland bestand aus Sicht des BMELF (1997) in den 90er Jahren noch Ergänzungsbedarf.

Der Ausbaustand des Waldwegenetzes ist auch im Hinblick auf eine großflächige Nutzung von Waldenergieholz ausreichend obwohl ggf. mehr Holz aus dem Wald entnommen werden kann. Nach einer Einschätzung von HARTMANN & STREHLER (1995) beträgt der potenziell nutzbare Anteil an Waldenergieholz in der Regel mehr als 50 % der Gesamtholzmasse. Allerdings sind 25 - 30 % der Gesamtmasse Wurzelstock und Stubben, deren Nutzung ökologisch sehr bedenklich ist. Bei einer Nutzung des insgesamt vorhandenen Potenzials würde dies eine Verdopplung der Holzmasse bei Bergung und Transport bedeuten. Ließe man die Wurzelstöcke unangetastet, könnte etwa 20 % mehr Holz zusätzlich zur Stammholzernte verwertet werden. Für die Bergung dieser zusätzlichen Holzmenge können zunächst die vorhandenen Wege genutzt werden.

Der steigende Kostendruck wird allerdings zu einer vermehrten Mechanisierung der Ernteverfahren führen, um die Erzeugung von Holzhackschnitzeln kostengünstig realisieren zu können. Die Folge davon ist zwar nicht zwangsläufig eine Ausweitung des Wegenetzes. Es ist jedoch mit der Anlage eines dichten Rasters von regelmäßigen und dauerhaften Erntegassen zur Feinerschließung der Bestände zu rechnen. Dies würde die Waldstrukturen nachhaltig verändern.

#### ***Gute fachliche Praxis „Walderschließung“***

Das Kriterium zur Guten fachlichen Praxis bei der Walderschließung ist bei WINKEL & VOLZ (2003) recht allgemein gehalten.

#### **Kriterium 6: [Walderschließung]**

Bei der Erschließung des Waldes sind im Rahmen der Guten fachlichen Praxis das Landschaftsbild, der Waldboden und der Bewuchs zu schonen sowie weitere Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege zu beachten. Grundsätzlich sollte auf die Befestigung von Waldwegen mit Schwarzdecken verzichtet und der Bau von Wegen in sehr steilem Gelände vermieden werden (WINKEL & VOLZ 2003: 48).

In Bezug auf die genannten Aspekte zur Walderschließung ist im Zusammenhang mit der Fortentwicklung der Guten fachlichen Praxis zur energetischen Waldholznutzung zu klären, inwieweit eine Feinerschließung durch Erntegassen von diesem Kriterium mit eingeschlossen ist. Beispielsweise ist eine Vermeidung der Anlage von Erntegassen in steilem Gelände zur Verhinderung von Bodenerosion analog zum Bau von Wegen als Mindeststandard der Guten fachlichen Praxis sinnvoll.

Unabhängig von den in Kriterium Nr. 6 genannten Aspekten ist aus naturschutz- und landschaftsästhetischer Sicht zu überlegen, ob bestimmte Waldstandorte von einer weiteren Feinerschließung auszuschließen und in ihrem naturnahen Zustand und großflächigen Zusammenhang zu belassen sind. Diesbezügliche Regelungen könnten über die Ausweisung von Schutzgebieten bzw. die Anpassung von Schutzgebietsverordnungen außerhalb der Guten fachlichen Praxis verwirklicht werden. Darüber hinaus besteht allerdings Handlungsbedarf, die Grenzen der Feinerschließung im Rahmen der Guten fachlichen Praxis in Abhängigkeit von Standort, Art und Größe der Bestände generell festzusetzen.

Des Weiteren besteht Unklarheit darüber, in welchem Umfang mit zusätzlichen Flächen zur Zwischenlagerung und Verarbeitung von Waldenergieholz innerhalb der Wälder zu rechnen ist. So besteht z.B. Flächenbedarf für die ökonomisch sinnvolle Erzeugung von Holzhackschnitzeln direkt im Wald, da sich dadurch das Transportvolumen erheblich verringern lässt. In der Folge sind zusätzliche Belastungen (Lärm, Schadstoffemissionen, Fahrzeugbewegungen) durch die maschinelle Verarbeitung im Wald zu erwarten. Ebenso könnten durch die größere Beanspruchung die qualitativen Anforderungen an das Wegenetz weiter ansteigen. Dies könnte ggf. breitere Wege mit stabilem Belag erfordern und somit im Widerspruch zu den grundsätzlichen Anforderungen zur Befestigung von Waldwegen mit Schwarzdecken im Kriterium Nr. 6 stehen.

### ***Bodenverdichtung durch Befahren des Waldbodens***

Die Intensität einer Bodenverdichtung durch das Befahren von Waldböden ist, neben den standörtlichen und klimatischen Bedingungen, von der eingesetzten Erntetechnik und der Art der Waldbewirtschaftung abhängig. Das Befahren von Waldböden durch Forstmaschinen wird aus naturschutzfachlicher Sicht sehr kritisch gesehen. Eine aus dem Befahren resultierende Verdichtung des Oberbodens führt zu dauerhaften Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen. Die Belüftung der tieferen Bodenschichten wird stark herabgesetzt, die Aktivität der Bodenlebewesen gehemmt. Das Wurzelwachstum wird vermindert, die Durchwurzelung konzentriert sich in den oberflächennahen Bodenschichten, dadurch wird wiederum die Anfälligkeit gegenüber Sturmwurf erhöht (vgl. WINKEL & VOLZ 2003).

Auch in einer aktuellen Studie im Rahmen des Förderschwerpunktes „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“ des BMBF wird darauf hingewiesen, dass die Beeinträchtigungen der Böden durch leistungsstarke Forstmaschinen größer sei als bisher angenommen und sich die Schäden durch Fahrzeugtechnik und Schutzmaßnahmen nicht ausreichend kompensieren lassen. Durch den Einsatz steigfähiger Vollerntemaschinen steigt zudem die Erosionsgefahr, da die Erntegassen in der Falllinie angelegt werden müssen (BAUMGARTEN et al. 2003).

Eine zunehmende Biomassenutzung und der damit verbundene Transportzuwachs aus den Waldbeständen legt nahe, dass ein verstärkter maschineller Arbeitseinsatz zu einer zunehmenden Beeinträchtigung von Waldböden führen wird. Auf die Bewirtschaftung über Erntegassen kann beim Einsatz von leistungsstarken Erntemaschinen zur Schonung der Waldböden nicht verzichtet werden. Trotz der durch die Feinerschließung über Erntegassen zu erwartenden Schäden ist diese einer flächigen Befahrung unbedingt vorzuziehen, um nachhaltige Verdichtungsschäden von Waldböden auf ein Minimum zu beschränken.

An dieser Stelle sollen zwei voll mechanisierte Verfahren bei der Holzernte beispielhaft aufgeführt werden:

#### *Einsatz des Harvesters:*

Der Einsatz von Maschinen über Erntegassen bietet sich vor allem für große Hiebflächen an. Bisher wurde der nicht genutzte Schlagabraum als Unterbau, die so genannte Armierung, der Erntegasse genutzt, um die Schäden durch eine Bodenverdichtung zu verringern. Bei der energetischen Nutzung besteht das Problem, das große Anteile des Schlagabraumes nun ebenfalls einer Nutzung zugeführt werden können und das Material dann für die Armierung der Erntegasse fehlt (LWF 2002). Zudem führt der Harvester-Einsatz zu einer kleinflächigen Umlagerung und Konzentration von Nährstoffen auf die Erntegassen (vgl. WINKEL & VOLZ 2003). Ein Bedarf zur Armierung von Erntegassen und die möglichen Auswirkungen

einer kontinuierlichen Nährstoffumlagerung sind je nach Standort und Bodenverhältnissen unterschiedlich zu bewerten.

#### *Einsatz des Hackschnitzel-Harvesters:*

Beim Einsatz eines Hackschnitzel-Harvesters werden die geernteten Bäume direkt in einem Arbeitsgang zu Holzhackschnitzeln verarbeitet. Durch die Nutzung kompletter Bäume (Vollbaumnutzung) entfällt der Aufwand für das Entasten, so dass auch kleine Fraktionen ohne zusätzlichen Aufwand direkt vor Ort durch den Häcksler gezogen werden. Diese Erntetechnik kann zu starken Nährstoffausträgen führen, da nährstoffreiche Fraktionen wie Laub, Nadeln oder Reisig komplett mit genutzt werden. Der verstärkte Einsatz solcher Systeme ist aus Sicht einer rationellen Holzernte zur energetischen Nutzung z.B. bei Durchforstungsholz nahe liegend. Deshalb ist bei einer verstärkten Nutzung von Waldenergieholz mit einer hohen Wahrscheinlichkeit von einem verbreiteten Einsatz des Hackschnitzel-Harvesters auszugehen. Dadurch würden die in Kapitel 7.1 bereits beschriebenen Probleme erheblich verschärft.

#### ***Gute fachliche Praxis „Befahren des Waldbodens“***

Der Kriterienvorschlag von WINKEL & VOLZ (2003) bestätigt die oben getroffene Forderung, auf eine flächige Befahrung von Waldbeständen grundsätzlich zu verzichten und diese ausschließlich durch festgelegte Erntegassen zu bewirtschaften. Demnach wird das flächige Befahren von Waldbeständen eindeutig als nicht im Sinne einer Guten fachlichen Praxis in der Forstwirtschaft ausgewiesen (WINKEL & VOLZ 2003).

#### **Kriterium 4: [Befahren des Waldbodens]**

Flächiges Befahren der Waldböden, darunter fällt auch eine über die Zeit changierende Befahrung, ist kein Kriterium Guter fachlicher Praxis in der Forstwirtschaft. Die Befahrung von Waldböden sollte sich auf wiederauffindbare (bzw. dokumentierte) Erschließungslinien beschränken (WINKEL & VOLZ 2003: 46).

Das Zusammenwirken einzelner Faktoren bei der Holzernte kann im Rahmen des vorliegenden F+E-Vorhabens nicht im Detail vertieft werden. Die Ausschreibung einer naturschutzfachlichen Expertise zu den Auswirkungen bei der Waldenergieholzernte in der forstwirtschaftlichen Praxis wird jedoch empfohlen.

#### **7.4 Hinweise zu Erstaufforstung, Bestandsbegründung und Waldumbau**

Bei der Neubegründung oder Erstaufforstung von Waldflächen könnte zukünftig der Aspekt einer energetischen Nutzung eine größere Rolle spielen. Voraussetzung dafür sind allerdings stabile Absatzmöglichkeiten am Markt, die ein Gewinn bringendes Wirtschaften ermöglichen. Unter dieser Voraussetzung ist die Anlage von Wäldern zur Energieproduktion in Verbindung mit einer möglichst zeit- und kostensparenden Erntetechnik und deutlich kürzeren Umtriebszeiten als bei der Stammholznutzung als alternative Bewirtschaftungsvariante durchaus wahrscheinlich.

Privatforsten sind dabei im Gegensatz zu den Landesforsten in der Regel nicht an langfristige Waldbauprogramme, wie z.B. das niedersächsische Programm zur „Langfristigen ökologischen Waldentwicklung“ (LÖWE), gebunden und könnten daher flexibler auf die Anforderungen des Marktes rea-

gieren und ihre Waldbausysteme schneller auf eine gezielte Energieholzproduktion umstellen (ANONYMUS 2003).

Sollten Monokulturen im Gegensatz zu Mischwäldern deutliche ökonomische Vorteile für die Biomassenutzung bieten, könnte diese Bewirtschaftungsform im Gegensatz zum derzeitigen Trend des ökologischen Waldumbaus bei der Stammholzproduktion, für die Biomassenutzung wieder an Bedeutung gewinnen. Ein Argument für die Wirtschaftlichkeit von Monokulturen könnte die Ernte im Kahlschlagverfahren sein, da auf diese Weise große Mengen an Biomasse in kurzer Zeit zur Verfügung gestellt werden.

Um den Zeitpunkt sowie Art und Umfang potenzieller Auswirkungen für Naturschutz und Landschaft genauer erfassen zu können, ist zu klären, unter welchen Marktbedingungen eine konsequente Ausrichtung von Beständen auf eine energetische Nutzung tatsächlich erfolgen würde und welche waldbaulichen Verfahren aus ökonomischer Sicht dazu am geeignetsten erscheinen. Aufgrund der derzeitigen Situation auf dem Altholzmarkt (vergl. Kapitel 6.2) sind kurz- und mittelfristig noch keine gravierenden Veränderungen durch Erstaufforstungen, Bestandsbegründung und Waldumbau für die Strom- und Wärmeproduktion zu erwarten.

Insgesamt steht eine energetische Nutzung dem ökologischen Waldumbau im Grundsatz nicht entgegen. Das gilt jedoch nur insofern, als sich die Waldenergieholznutzung einem Primat des naturnahen bzw. ökologisch ausgerichteten Waldumbaus unterordnet. Für den ökologischen Umbau von Waldbeständen, die qualitativ hochwertiges Stammholz produzieren, sind nach Einschätzung von LANG (2003, mündlich) durch die energetische Nutzung von Waldenergieholz keine zusätzlichen positiven Impulse zu erwarten.

## **7.5 Hinweise zum segregativen Naturschutz**

Die Naturschutz- und Waldgesetze der EU, des Bundes und der Länder sehen eine Reihe unterschiedlicher Schutzkategorien vor, die u.a. auf zahlreiche Waldflächen angewandt werden. Neben den generellen gesetzlichen Regelungen können in den jeweiligen Schutzgebietsverordnungen detaillierte Naturschutzziele benannt werden und daraus konkrete Vorgaben für die Forstwirtschaft abgeleitet werden. Leider sind bisher Ziele oft nur wenig konkret gefasst (WINKEL & VOLZ 2003).

Mit der Ausweitung der energetischen Holznutzung entstehen neue Vermarktungswege, über die ein erweitertes Spektrum von Holzfraktionen genutzt werden kann. Es sollte daher untersucht werden, ob bestehende Schutzgebietsverordnungen diese Nutzungsoptionen im Hinblick auf die jeweiligen Schutzziele berücksichtigen. Ist dies nicht der Fall müssen sie möglichst frühzeitig an diese Entwicklung angepasst werden, um klare Vorgaben für die Nutzung der Waldbestände innerhalb von Schutzgebieten zu geben.

In den jeweiligen Schutzgebietsverordnungen sollte zu definiert werden, in welchem Umfang eine Holzentnahme zur energetischen Nutzung zulässig ist und welche Holzfraktionen dafür in Frage kommen. Im Falle der Zulassung einer derartigen Holznutzung sollten zudem, orientiert an den jeweiligen Standortbedingungen, konkrete Entnahmemengen benannt werden und eine bodenschonende Erntetechnik bzw. Erntelogistik vorgegeben werden. Dazu gehört ggf. auch die Planung einer entsprechenden Infrastruktur bzw. wo und in welchem Umfang Ernteschneisen angelegt werden dürfen.

## 8 Energetische Nutzung halmgutartiger Biomasse und Naturschutz in der Landwirtschaft

Von den halmgutartigen Energieträgern, die in den letzten Jahren in der Fachliteratur diskutiert wurden, sind in erster Linie Stroh, Getreideganzpflanzen bzw. Getreidekörner für die energetische Nutzung als Festbrennstoffe von Bedeutung. Das liegt daran, dass für Getreidekulturen auf unterschiedlichsten Standorten umfangreiche praktische Erfahrungen vorliegen und die Landwirtschaftstechnik und -logistik auf diese Kulturen abgestimmt ist. Der Anbau von halmgutartigen Kulturen wie z.B. Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*), Sudangras (*Sorghum sudanense*) oder Rutenhirse (*Panicum virgatum L.*) beschränkt sich dagegen derzeit zum größten Teil auf Versuchsflächen. Diese Kulturen sind auf Grund geringer Praxiserfahrungen mit zusätzlichen ökonomischen Risiken und Aufwendungen belastet und deshalb für den großflächigen Anbau derzeit nicht relevant.

Beim Getreide sind vor allem Roggen, Triticale und Weizen als leistungsstarke Arten interessant (DEIMLING & KALTSCHMITT 2001). Neben der Nutzung von Ganzpflanzen kommt alternativ die separate Nutzung von Stroh und Korn in Betracht. Besonders Stroh ist für die energetische Nutzung sehr attraktiv, da es als Nebenprodukt bei der Getreideernte anfällt und im Verhältnis zu anderen halmgutartigen Stoffen relativ kostengünstig zur Verfügung steht (vgl. Kapitel 5.3). Durch eine Verwertung des Strohs als Brennstoff könnte ein zusätzliches Einkommen für die Landwirte erzielt werden, ohne das Anbauverfahren verändern zu müssen. Ein weiterer Vorteil im Gegensatz zu Dauerkulturen wie z.B. Feldgras, Chinaschilf oder Kurzumtriebsplantagen, ist die hohe Flexibilität einjähriger Kulturen. Diese ermöglicht den Landwirten je nach Marktlage sehr kurzfristige Umsteuerungen im Anbau (DBV 2002, Internet).

Die Verbrennung von Getreidekörnern wird von Seiten der Landwirtschaft ebenfalls als eine alternative Vermarktungsmöglichkeit gesehen. Die Vorteile des Korns gegenüber dem Stroh liegen unter anderem in der hohen Dichte und Homogenität des Materials. Dadurch lassen sich der Transport und die Dosierung in den Heizkraftwerken optimal umsetzen (BIOMASSE INFO-ZENTRUM 2002b).

### 8.1 Probleme der energetischen Nutzung

Trotz der genannten Aspekte hat sich die energetische Nutzung sowohl von Stroh als auch von Getreide in der deutschen Landwirtschaftspraxis derzeit kaum durchgesetzt (BEIER & DÖTSCH 2003). Die Verbrennung oder Vergasung von halmgutartigen Stoffen findet lediglich zu Forschungszwecken statt, beruht auf lokalen Modellvorhaben oder ist über Sondergenehmigungen begrenzt ermöglicht worden.

Ein wesentlicher Grund dafür sind die strengen emissionsrechtlichen Bestimmungen der neuen TA LUFT (2002) in Verbindung mit ungelösten technischen Problemen bei der Rauchgasreinigung von Anlagen zur Verbrennung halmgutartiger Stoffe. Auch die Eigenschaften der Brennstoffe verursachen Probleme, so führen beispielsweise hohe Chlorgehalte zur Korrosion der Anlagen. Insbesondere an den Wärmetauschern kann sich Salzsäure bilden (BRÖKELAND 2003, mündlich). Hinzu kommen übermäßige Stickoxidemissionen, die durch hohe Proteinanteile im Brenngut entstehen. Auch die Staubwerte sind problematisch und übersteigen die Grenzwerte der TA Luft von 50mg/m<sup>3</sup> bei weitem (vgl. Kapitel 4.8).

Vorhandene technische Lösungen, wie z.B. der Einbau von speziellen Elektro- und Gewebefiltern, sind im Vergleich zu holzartigen Brennstoffen mit deutlich höheren Kosten verbunden, so dass die Verbren-

nung halmgutartiger Biomasse zur Zeit kaum wirtschaftlich ist (DBV 2002, Internet). Des Weiteren gibt es technische Schwierigkeiten bei der Verbrennung selbst, wie z.B. die Verschlackung der Brennkammern durch niedrige Ascheerweichungstemperaturen oder die unvollständige Verbrennung halmgutartiger Stoffe (FISCHER 2003, vgl. Kapitel 3.5).

Zusätzliche Kosten können durch besondere Aufwendungen für Ernte, Transport und Lagerung halmgutartiger Brennstoffe entstehen (DEIMLING & KALTSCHMITT 2001), z.B. wenn ein witterungsfestes Zwischenlager benötigt wird. Leistungsfähige Verarbeitungsketten für Heu- und Strohballen sowie für Getreidekörner sind aus dem herkömmlichen Getreideanbau vorhanden. Bei der Verarbeitung von Pellets aus Halmgütern (z.B. aus Stroh oder Ganzgetreidepflanzen) stehen dagegen die Verfahren noch am Anfang der Entwicklung (BRÖKELAND 2003, mündlich).

Die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Energiegetreide wird unterschiedlich beurteilt. So weist beispielsweise der Deutsche Bauernverband darauf hin, dass die Brennstoffkosten von Qualitätsgetreide unter den Kosten von Heizöl liegen (DBV 2002, Internet). Dem gegenüber merkt KEYMER (2003) jedoch die vergleichsweise hohen Investitionskosten für Getreideheizkessel an. Rechnet man diese ein, ist die Verbrennung von Getreide erst ab einem Heizölpreis von 41 ct/l als wirtschaftlich zu bezeichnen. Zur Zeit liegt der durchschnittliche Preis pro Liter Heizöl frei Hof im Gebiet der Landwirtschaftskammer Hannover jedoch nur bei ca. 28 ct (LAND UND FORST 2003e). Im Verlauf des ersten Halbjahres 2004 zogen die Preise jedoch deutlich an, so sie Mitte 2004 bereits deutlich über 41 Cent pro Liter lagen.

Für die energetische Nutzung von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen bis 100 kW fehlt bisher die rechtliche Grundlage. Die Zulassung von „strohähnlichen pflanzlichen Stoffen“ für Kleinfeuerungsanlagen von 15-100 kW nach der 1. Bundes-Immissions-Schutz-Verordnung (BImSchV) lässt offen, ob Getreidekörner nach dieser Definition mit eingeschlossen sind. Getreide gilt deshalb nach der 1. BImSchV nicht als Regelbrennstoff für Kleinfeuerungsanlagen (DBV 2002, Internet). In genehmigungspflichtigen Anlagen nach der 4. BImSchV kann ab 100 kW eine Sondergenehmigung für die Verbrennung von Getreide erlassen werden (siehe auch Kapitel 4.7).

## **8.2 Perspektiven für die Verbrennung halmgutartiger Biomasse**

Trotz der genannten Hemmnisse sind zum Teil Lösungsansätze in Aussicht gestellt, die mittelfristig zu Kostenreduzierungen und wirtschaftlichem Einsatz von Feuerungsanlagen für halmgutartige Brennstoffe führen könnten. So gibt es Bestrebungen, die genehmigungsfreie Zulassung von Verbrennungsanlagen auszuweiten. Voraussetzung dafür ist, dass die Anlagen die Emissionswerte nach der novellierten TA Luft vom 1.10.2002 erfüllen, die für Anlagen nach der 4. BImSchV gültig ist. Ist diese Bedingung erfüllt, könnte die Verfeuerung von strohähnlichen Stoffen analog der Regelungen zu holzartigen Stoffen erfolgen. Das würde bedeuten, dass Strohfeuerungsanlagen von >100 kW bis 1 MW dann ebenfalls unter die 1. BImSchV fallen und somit keiner Genehmigungspflicht mehr unterliegen (BMU 2002). Dies würde erhebliche finanzielle und zeitliche Aufwendungen für Genehmigungsverfahren und Emissionsmessungen einsparen. Erst für Anlagen über 1 MW Leistung wäre eine Genehmigung nach der 4. BImSchV erforderlich. Dies könnte die Errichtung von Strohfeuerungsanlagen im mittleren Wirkungsbereich erleichtern. Es bleibt jedoch die technische Hürde, die Staubemissionen kostengünstig soweit zu senken, dass diese die strengen Grenzwerte von 50 mg/m<sup>3</sup> für Anlagen von 100 kW bis 1 MW und 20 mg/m<sup>3</sup> für Anlagen von > 1 MW erfüllen (FISCHER 2003). Gleichzeitig muss die Wirtschaftlichkeit der Anlagen

gewährleistet sein, bevor die energetische Nutzung von Stroh in die landwirtschaftliche Praxis Eingang finden kann.

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass die Verbrennung fester Biomasse am sinnvollsten zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden sollte, da sie dort den höchsten Wirkungsgrad erreicht. Die Produktion von Strom über Kraft-Wärme-Kopplung ist technisch anspruchsvoller, der Gesamtwirkungsgrad ist geringerer als bei der reinen Wärmeerzeugung. Am wenigsten effizient ist die alleinige Verstromung fester Biomasse. Sie erzielt den geringsten Wirkungsgrad und ist unter dem Gesichtspunkt eines Ressourcen schonenden Rohstoffeinsatzes nicht zu empfehlen (BRÖKELAND 2003, mündlich).

### **8.3 Auswirkung der Strohnutzung auf den Humusgehalt des Bodens**

Bei der energetischen Nutzung von Stroh als Nebenprodukt des Getreideanbaus zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion ist davon auszugehen, dass die gängigen, intensiven Anbauverfahren beibehalten werden, da das Korn weiterhin als Nahrungs- oder Futtermittel genutzt wird und deshalb die Qualitätsansprüche unverändert hoch bleiben.

Im Vergleich zu Raps-, Mais- und Leguminosenstroh hat Getreidestroh relativ geringe Nährstoffkonzentrationen und eignet sich deshalb besser zur Verbrennung (VETTER 2001). Dennoch enthält das bisher zu großen Anteilen auf dem Feld verbleibende Stroh wertvolle Nährstoffe wie z.B. Magnesium, Phosphat, Kalium und Stickstoff. Diese Stoffe sind für die Pflanzenernährung von großer Bedeutung. Des Weiteren trägt Stroh zur Humusbildung im Boden bei. Bei einer Strohentnahme werden diese Stoffe dem Standort entzogen und die Humusbildung wird vermindert (VETTER 2001). Werden die entzogenen Nährstoffe nicht ersetzt und humusbildendes Pflanzenmaterial z.B. über den Zwischenfruchtanbau zugeführt, kann es langfristig zu Nährstoffmangel bzw. zu einer Abnahme des Humusgehaltes im Boden kommen. Dieses ist mit einer nachhaltigen Landwirtschaft nicht vereinbar.

Die Auswirkungen einer dauerhaften Strohentnahme sind vom Standort und den dort innerhalb einer Fruchtfolge angebauten humusmehrenden bzw. humuszehrenden Kulturen abhängig. Zur Untersuchung möglicher Auswirkungen wurden beispielsweise 1994-95 Anbauversuche in der Rheinebene mit einer reinen Getreidefruchtfolge durchgeführt. Bei einem Anbau ohne jeden Humusersatz zeigte sich, dass bei der Ernte von Getreideganzpflanzen der Humusgehalt des Bodens kontinuierlich zurück ging (VETTER et al. 1998).

Die energetische Nutzung von Stroh und Ganzgetreide ist demnach in Abhängigkeit von Nährstoffverhältnissen und Humusanteilen und entsprechend der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft standortbezogen so anzupassen, dass eine für eine nachhaltige Bodenfruchtbarkeit ausreichende Menge an humusbildenden Substanzen auf der Fläche verbleibt.

### **8.4 Anbau von Energiegetreide als Festbrennstoff**

Unter Energiegetreideanbau versteht man einen auf die energetische Nutzung ausgerichteten Anbau von spezialisierten Energiegetreidesorten. Bei dem Anbau von Getreide zur energetischen Nutzung über Verbrennung ist die Verwendung neu zu züchtender Sorten, deren Ertragsausrichtung auf den Stärkeertrag und nicht auf den Eiweißgehalt ausgerichtet ist, sinnvoll. Dies ermöglicht einen verringerten Dün-

gereinsatz und könnte die Nährstoffüberschüsse in der Landwirtschaft abbauen (DBV 2002, Internet). Solche Sorten werden auch als Low-Input-Sorten bezeichnet.

Energiegetreide sollte im Gegensatz zu Brotgetreide möglichst niedrige Proteingehalte aufweisen, da diese bei der Verbrennung zur erhöhten Bildung von Stickoxiden führen. Eine Behandlung mit Fungiziden ist auf Grund der geringeren Ansprüche an die Kornqualität nur erforderlich, wenn die Gefahr von starken Ertragseinbußen besteht (DEIMLING & KALTSCHMITT 2001). Auf die Beseitigung von Wildkräutern kann auch bei Energiegetreide nicht verzichtet werden, da diese den Feuchtegehalt des Getreides erhöhen und sich negativ auf Verbrennung bzw. Lagerung auswirken. Dies gilt insbesondere, wenn Ernteverfahren ohne Schwadablage, d.h. ohne Zwischentrocknung auf dem Feld, angewandt werden und das Material zur Pelletierung genutzt werden soll (HARTMANN & STREHLER 1995). Zudem ist halmgutartige Biomasse nur mit einem Wassergehalt von weniger als 20 % gut lagerfähig (VETTER 2001).

Nach Ansicht von DEIMLING & KALTSCHMITT (2001) ist bei einem extensiveren Getreideanbau mit ausgewählten standfesten Sorten, weniger dichten Saatabständen und einer reduzierten Stickstoffdüngung der Einsatz von Halmverkürzern nicht mehr notwendig. Allerdings ist durch den Verzicht auf Halmverkürzungsmittel keine Steigerung des Strohertrags zu erwarten, da die längeren Halme keinen höheren Strohertrag erbringen als kürzere, die dafür dicker und stabiler sind.

Solange keine spezifischen Anforderungen z.B. an die Inhaltsstoffe von Energiegetreide seitens der Energieerzeuger vorgelegt werden (z.B. geringe Proteingehalte und Chloranteile) oder konkrete Abnahmeverträge für die Erzeugung von Energiegetreide vereinbart sind, besteht für einen gezielt auf die energetische Nutzung gerichteten Anbau halmgutartiger Energieträger kein Anlass. Dies gilt auch für die Züchtung und den Anbau von speziell zur Verbrennung geeigneten Sorten. Für die Landwirte ist es betriebswirtschaftlich günstiger, die gängigen Sorten anzubauen, um je nach Preislage entscheiden zu können, welcher Vermarktungsweg für sie am günstigsten ist.

## **8.5 Auswirkungen auf den Naturschutz**

Zu den Auswirkungen des Anbaus von Energiegetreide auf den Naturhaushalt, liegen den Autoren keine praktischen Erkenntnisse bzw. wissenschaftliche Studien vor. Es ist auch nicht bekannt, ob bereits neue, speziell gezüchtete Energiegetreidesorten existieren. Eine Bewertung des Anbaus kann deshalb zu diesem Zeitpunkt lediglich auf der Grundlage von Annahmen und Analogieschlüssen aus dem herkömmlichen Getreideanbau erfolgen.

Ein Anbau von Energiegetreide könnte demnach auf Grund der verminderten Qualitätsansprüche an das Korn grundsätzlich extensiver erfolgen. Dies würde u.a. einen geringeren Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln erfordern. Die Arbeitsintensität ist ggf. geringer, wenn sich dadurch komplette Arbeitsgänge auf der Fläche einsparen lassen. Die Regulation von Wildkräutern würde analog zum bisherigen Anbau durchgeführt werden. Ist der Anbau von Energiegetreide in eine intensive Fruchtfolge eingegliedert, in der die Flächen zeitweise auch zur Futter- oder Nahrungsmittelproduktion genutzt werden, verändert sich das Bewirtschaftungssystem nur unwesentlich. Es sind daher im langjährigen Mittel nur geringe Umweltentlastungen für die Fläche anzunehmen. Sollte ein Anbau von Energiegetreide in extensiver Form erfolgen und in eine Fruchtfolge eingegliedert sein, die vollständig auf eine energetische Nutzung ausgerichtet ist, sind positive Auswirkungen auf einzelne Arten oder Artengruppen bzw. die abiotischen Schutzgüter denkbar.

## 9 Anbau von Energiepflanzen zur Fermentation in Biogasanlagen und Naturschutz in der Landwirtschaft

Mit dem Anbau von Pflanzen für eine energetische Nutzung über den anaeroben Vergärungsprozess in Biogasanlagen, ergibt sich eine grundsätzlich neue Ausrichtung der Landwirtschaft hinsichtlich der Anbauziele. Qualitative Aspekte, die bei der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln entscheidend sind, wie z.B. der Eiweißgehalt im Korn, werden beim Energiepflanzenbau zur Fermentation durch quantitative Zielvorgaben abgelöst. Priorität für den Energieertrag hat in erster Linie der zu erzielende Trockenmasseertrag pro Hektar.

Für die Biogasproduktion ist generell eine Vielzahl unterschiedlicher Kulturpflanzen nutzbar. Lediglich Pflanzen mit hohen Lignin- und Celluloseanteilen sind für die anaerobe Vergärung weniger geeignet (vergleiche Kapitel 2.4). Die geringen technischen Vorgaben und die verminderten Qualitätsansprüche an die Kulturen lassen Raum für Überlegungen, ob durch veränderte Anbauverfahren von Energiepflanzen Synergieeffekte für den Naturschutz zu erzielen sind. Denkbar ist eine Erweiterung der landwirtschaftlichen Fruchtfolgen und die Verbesserung der Kulturartenvielfalt im Anbau. Weitere positive Effekte werden u.a. durch einen reduzierten Mineraldünger- oder Pflanzenschutzmitteleinsatz erwartet (siehe u.a. SCHEFFER 1995, 1998; KARPENSTEIN-MACHAN 1997; LEWANDOWSKI & KALTSCHMITT 1998).

Die Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf Natur und Landschaft sowie mögliche Synergieeffekte sollen anhand von Anbaubeispielen erörtert werden. Die Auswahl dieser Beispiele ergibt sich aus einer Kombination der zur Zeit für eine Biomasseproduktion am besten geeigneten und zum Teil schon im Anbau befindlichen Biomassefraktionen und den in Fachkreisen diskutierten ackerbaulichen Verfahren zum Energiepflanzenanbau. Die Optionen für eine energetische Nutzung von Dauergrünland werden separat betrachtet (siehe Kapitel 13.1).

Die Entwicklung des Energiepflanzenanbaus auf landwirtschaftlichen Flächen ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Davon sind insbesondere die folgenden zu nennen:

- technische: verfügbare Umwandlungstechnik, vorhandene Erntetechnik, Lagerkapazitäten,
- wirtschaftliche: Marktentwicklung im Bereich Energie- und Landwirtschaft,
- politische: Agrarpolitik und -förderung, Energiepolitik und -förderung,
- betriebswirtschaftliche: Erzielung von konkurrenzfähigen Deckungsbeiträgen
- betriebstechnische: Anbau, Ernte, Transport, Lagerung, Einpassung in bestehende Produktionsabläufe,
- standörtliche: Boden, Wasser, Luft, Klima, Nährstoffe,
- Know-how: Anbauerfahrungen,
- pflanzliche: hohe Trockenmasseerträge pro Hektar, vorliegendes Zuchtmaterial, geringer Faseranteil, wenig Lignin, hohe Zucker- und Stärkeanteile.

Die genannten Faktoren stehen in enger Beziehung zueinander und bilden ein dynamisches System. Eine exakte, langfristige Prognose für Art und Umfang des Energiepflanzenanbaus ist demnach kaum zu treffen. Der Ansatz der vorliegenden Untersuchung ist daher auf die Analyse der aktuellen Rahmenbedingungen ausgerichtet, unter denen ein Energiepflanzenanbau stattfinden kann. Er bezieht zudem die aktuellen Anbautendenzen ein, so dass die vorliegende Einschätzung sowohl kurz- als auch mittelfristige Entwicklungen in der Landwirtschaft umfasst.

## **9.1 Aktuell zur Fermentation genutzte Kulturen**

Die Auswertung von Fachliteratur und Hinweise aus der landwirtschaftlichen Praxis zur Eignung und Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Kulturen als Anbaubiomasse haben ergeben, dass von der Vielzahl möglicher Anbauoptionen derzeit im Wesentlichen drei Kulturen im Mittelpunkt des Interesses stehen: Mais, Futterrüben und Gräser (siehe Kapitel 2.5). Die Rahmenbedingungen für den aktuellen Einsatz dieser Kulturen zur Biogasproduktion sollen nachfolgend kurz skizziert werden.

### ***Futterrüben***

Betrachtet man die in Kapitel 2.7.2 genannten Nachteile für die Verwendung von Futterrüben<sup>3</sup>, so sind diese im Vergleich zu Mais deutlich weniger attraktiv. Belastend ist für die Anlagenbetreiber insbesondere die erforderliche, speziell auf Rüben ausgerichtete Anlagentechnik, da diese keine Flexibilität bei einem späteren Substratwechsel zulässt und höhere Investitions- und Betriebskosten zu Folge hat. Den Autoren liegen für die Nutzung von Rüben zur Biogaserzeugung bisher keine Angaben bzw. Praxisbeispiele vor. Es ist daher fraglich, ob der Anbau von Futterrüben zur Biogaserzeugung derzeit überhaupt in nennenswertem Umfang stattfindet, bzw. in naher Zukunft eine größere Bedeutung erlangen wird.

### ***Silomais***

Im Gegensatz dazu scheint sich der Anbau von Mais als Koferment zur Güllebehandlung derzeit am besten zu eignen bzw. zu rechnen. Er ist gut mechanisierbar, liefert hohe Energieerträge pro Hektar und lässt sich ohne großen Aufwand in die jeweilige Betriebsorganisation eingliedern. Dies ist insbesondere bei Rinder oder Schweine haltenden Betrieben der Fall, vorausgesetzt die klimatischen Bedingungen für den Maisanbau stimmen (KEYMER & SCHILCHER 2000). Diese Einschätzung wird durch das Landwirtschaftsministerium in Hannover geteilt. Nach Auskunft des Ministeriums wird bei der Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen fast ausschließlich auf den Maisanbau gesetzt (HÖHER 2003, mündlich). Allerdings sind insbesondere für die Mittelgebirgsregionen dem Maisanbau enge Grenzen gesetzt.

Ein wesentlicher Teil des Maisanbaus für Biogasanlagen findet in Niedersachsen derzeit auf Flächen statt, für die im Rahmen der EU-Agrarmarktordnung Flächenprämien bezahlt werden. Auf diesen Flächen lassen sich bei Einrechnung der höheren Getreideprämien im Vergleich zum Anbau auf Stilllegungsflächen (geringere Prämienansprüche) durch die Strom- und Wärmeproduktion z.T. höhere Deckungsbeiträge erwirtschaften (HÖHER 2003, mündlich). Der Anbau von Mais zur energetischen Nutzung wird aber lediglich auf den Stilllegungsflächen statistisch erfasst, so dass über den Gesamtumfang des Maisanbaus für energetische Zwecke keine Angaben vorliegen.

---

<sup>3</sup> ungenügend entwickeltes Mechanisierungsverfahren bei Ernte und Lagerung, spezielle Anlagentechnik verhindert späteren Substratwechsel, Vergärung erfordert spezielle Aufbereitung in einer Rübenmühle und teure Silierung und Lagerung im Hochsilo erforderlich.

Ein Beispiel für den Anbau von Mais auf Stilllegungsflächen und die Integration bei der Gülleverwertung in lokalen landwirtschaftlichen Strukturen, ist in LAND & FORST (2003a) aufgeführt: Zwei Landwirte produzieren in einer Gemeinschaftsanlage rund acht Mio. Kilowattstunden Strom pro Jahr. Die eingesetzte Gülle kommt zum Teil aus dem eigenen Betrieb, der Rest wird von anderen Landwirten aus der Region eingebracht. Neben 20 Hektar Mais im Eigenanbau kommen zusätzlich die Erträge von 40 Hektar Maisfläche im Ankauf aus der Region hinzu. Die anfallende Biogasgülle wird dementsprechend wieder auf diesen Flächen ausgebracht (LAND & FORST 2003a).

Eine Kalkulation von Deckungsbeiträgen für den Anbau von Silomais in Bayern (KEYMER & SCHILCHER 2000) zeigt, dass dieser schon bei mäßigen Erträgen positive Ergebnisse erzielen kann. Kalkulationsgrundlage war die Vergütung des erzeugten Stroms nach dem EEG (2000) von rund 10ct/kWh für Anlagen bis 500 kW. Auf Stilllegungsflächen können so bei einem Nettoertrag von 313 dt/ha ohne Prämie und abhängig vom Gasertrag Deckungsbeiträge zwischen ca. 150,- €/ha und 330,- €/ha erzielt werden. Bei einem hohen Nettoertrag von 449 dt/ha und einer hohen Gasausbeute kann der Deckungsbeitrag sogar bis über 650,- €/ha ansteigen. Auf Prämienflächen ist der Maisanbau konkurrenzfähig, selbst wenn man die Verdrängung der Marktfrucht mit einbezieht. Es können zwischen 300,- €/ha und 450,- €/ha bei mäßigen Erträgen und zwischen 450,- €/ha und knapp 700,- €/ha bei hohen Erträgen erwirtschaftet werden. Bei diesen Kalkulationen sind die laufenden Kosten für die Biogasanlage allerdings nicht eingerechnet (KEYMER & SCHILCHER 2000). Mit der Erhöhung der deutlichen Erhöhung der Einspeisevergütung nach der Neuregelung des EEG (2004) wird die Rentabilität dieser Form der energetischen Nutzung von Biomasse deutlich verbessert.

### ***Grasanbau und Grünlandnutzung***

Auch die Vergärung von Gras bietet bei der Ernte und Lagerung ähnliche Vorteile wie Mais. Allerdings liegen die Massen- und Energieerträge aus der Grünlandnutzung deutlich unter denen von Silomais. Trotzdem kann sich für einen landwirtschaftlichen Betrieb die Grasnutzung zur Vergärung in bestimmten Fällen lohnen, wenn z.B. Flächen zur Verfügung stehen, die nicht zur Futterproduktion genutzt werden (siehe Kapitel 13.1) bzw. für Maisanbau ungünstige Standortbedingungen vorliegen. Eine Beispielrechnung der Bayerischen Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur ermittelte für das Jahr 2000 einen Deckungsbeitrag von umgerechnet etwa 150,- €/ha bei einem mittleren Ertragniveau und 3-schüriger Mahd. Bei hohem Grasertrag sind demnach etwa 250,- €/ha zu erzielen. Voraussetzung für einen positiven Deckungsbeitrag sind allerdings bisher ungenutzte Kapazitäten in einer vorhandenen Biogasanlage (KEYMER & SCHILCHER 2000).

Eine optimale anaerobe Verwertung des Energiegehaltes in den Gräsern erfolgt nach LEMMER (2003) bei einem ausgewogenen C:N-Verhältnis. Bei der Nutzung von Gras sind dazu, analog zur Futterproduktion für die Milchviehhaltung, hohe Proteinanteile und geringe Ligninanteile anzustreben. Bei hohen Ligninanteilen, wie sie bei spät gemähtem Naturschutzgrünland auftreten, sinken die substratspezifischen Methanerträge.

Grasschnitt wird auf Grund der vergleichsweise geringen Methanerträge derzeit in Biogasanlagen lediglich in geringen Anteilen zur Kofermentation eingesetzt. In der Regel fällt das verwendete Gras im Betrieb als Nebenprodukt an und wird nicht explizit für die Vergärung angebaut.

## 9.2 Aktuelle Anbauvarianten für Energiepflanzen

Bei den Überlegungen zur Biomasseproduktion in der Landwirtschaft gibt es derzeit zwei übergeordnete Tendenzen: Einerseits die Maximierung von Biomasserträgen pro Flächeneinheit auf produktiven Standorten, andererseits die Minimierung von Arbeits- und Stoffeinsatz bei der Bestellung von Kulturen auf Standorten mit geringerem Ertragspotenzial. Während der Intensivanbau auf maximale Trockenmasseerträge pro Hektar abzielt, nimmt man auf weniger ertragreichen Böden bewusst geringere Erträge in Kauf und versucht durch reduzierte Aufwendungen positive Deckungsbeiträge zu erwirtschaften. Neben den Ertragszielen sind bei den extensiven Anbauvarianten zusätzliche Synergieeffekte im Bereich des Umwelt- und Naturschutzes erwünscht (BIOGASFORUM DES LANDWIRTSCHAFTSMINISTERIUMS HANNOVER 2003).

Bei den Anbauverfahren auf landwirtschaftlich besonders produktiven Standorten zeichnen sich drei unterschiedliche Varianten ab:

1. Integration von Energiepflanzenanbau in eine enge Fruchtfolge bei konventionellen Bewirtschaftungsweisen,
2. reiner Energiepflanzenanbau mit einer Hauptfrucht und spezialisierten Fruchtfolgen,
3. Energiepflanzenanbau mit mehreren Hauptkulturen im Jahr (Mehrkulturanbau)

Extensiver Energiepflanzenanbau könnte in zwei Varianten umgesetzt werden:

- Anbau annueller Kulturen in speziellen Energiepflanzenfruchtfolgen und Mischkulturen mit geringem Arbeits- und Stoffeinsatz,
- Anbau perennierender Kulturen mit geringem Arbeits- und Stoffeinsatz.

Die Erzeugung von Biogas könnte sich auch in ökologisch wirtschaftenden Betrieben umsetzen lassen. Nutzbare Biomasseanteile lassen sich aus dem Anbau von Zwischenfrüchten, dem Aufwuchs von Brachen, pflanzlichen Reststoffen und dem betriebseigenen Anfall von Wirtschaftsdünger erzielen. Der betriebliche Nährstoffkreislauf würde dabei erhalten bleiben, da die Biogasanlage lediglich ein zusätzliches Glied in der Nährstoffkette bildet. Die Nährstoffe können in Form der Biogasgülle wieder auf die landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden.

### ***Zusätzlich nutzbare Biomasse bei konventionellem Anbau***

Neben der Nutzung der Hauptfrucht könnten innerhalb der konventionellen Landbewirtschaftung noch weitere Biomassefraktionen für die energetische Verwertung erschlossen werden. Dies sind z.B.:

- Zwischenfrüchte,
- Nebenprodukte (z.B. Stroh, Maisspindeln, Rübenblatt),
- und Grünlandaufwuchs.

## 9.3 Ökologische Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus

Die Produktion von Energiepflanzen wird die landwirtschaftliche Anbaupraxis in den nächsten Jahren in zunehmendem Maße beeinflussen und verändern. Dabei könnte der Anbau von derzeit bereits zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion genutzten Kulturen für die Energieproduktion ausgeweitet werden oder

bestehende Kontingente alternativ zur Energieerzeugung genutzt werden. Landwirtschaftliche Betriebe werden zukünftig Flächen ausschließlich zur Energieproduktion nutzen, wodurch sich neue Anbausysteme ergeben werden (BIOGASFORUM DES LANDWIRTSCHAFTSMINISTERIUMS HANNOVER 2003).

Zudem ist ein Austausch gängiger Sorten durch Sorten wahrscheinlich, die spezielle Eigenschaften für die Energieproduktion (z.B. eine hohe Masseproduktion) besitzen. Diese können z.B. aus bisher nicht oder nicht mehr verwendeten Sorten in vorhandenen Genbanken selektiert werden, wenn diese Varianten Eigenschaften aufweisen, die sich besonders für den Anbau und die Nutzung als Energiepflanzen anbieten (SCHEFFER 2003, mündlich).

Neben kulturartenspezifischen Anbaueigenschaften und deren Wirkungen auf Natur und Landschaft, wird aus Sicht des Naturschutzes insbesondere die Änderung der Art und Intensität landwirtschaftlicher Produktionsverfahren insgesamt im Hinblick auf Synergieeffekte bzw. Konfliktpotenziale zu betrachten sein.

Zur Einschätzung möglicher Auswirkungen durch die Energiepflanzenproduktion in der Landwirtschaft wird von den aktuellen Konfliktfeldern zwischen Naturschutz und Landwirtschaft ausgegangen. Diese sind im Zusammenhang mit den neuen bzw. veränderten Anbauvarianten zu diskutieren und zu bewerten. Als vergleichender Maßstab wird die derzeitige konventionelle landwirtschaftliche Nutzung mit engen Fruchtfolgen und intensiven Bewirtschaftungsmethoden herangezogen.

Bei der Einschätzung der potenziellen Auswirkungen landwirtschaftlicher Anbauverfahren auf Natur und Landschaft wird die Einhaltung ökologischer Mindestanforderungen im Rahmen der Guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft explizit vorausgesetzt.

Die Einflussnahme der Landwirtschaft auf Natur und Umwelt ist sehr komplex. Die wichtigsten negativen Auswirkungen lassen sich wie folgt zusammenfassen (u.a. KNICKEL et al. 2001, SRU 1998):

- die **Bodenverdichtung** wirkt sich negativ auf die Bodenfunktionen und das Bodenleben aus. Sie ist abhängig von der Bodenart, dem Zeitpunkt und der Häufigkeit des Befahrens sowie von der Art der eingesetzten Maschinen (Gewicht, Bereifung),
- die **Bodenerosion** durch Wind und Wasser ist abhängig von der Bodenbedeckung und -bearbeitung, der Topografie, der Fruchtfolge und den kulturspezifischen Eigenschaften der angebauten Kulturen,
- **Pflanzenschutzmittel (PSM)** wirken negativ auf die Bodenfunktionen, die Artenvielfalt sowie die Belastung von Grundwasser und Oberflächengewässern,
- die **Eutrophierung** von Böden und die Auswaschung von Nitrat und anderen Nährstoffen in Grundwasser und Oberflächengewässer ist abhängig vom Einsatz von Düngemitteln, der Fruchtfolge, Pflanzenkulturen sowie von Ausbringungstechnik und -zeitpunkt,
- der **Verlust vielfältiger Lebensräume** in der Kulturlandschaft und
- der **Verlust von Artenvielfalt** ist von den oben genannten Auswirkungen abhängig.

Die genannten Aspekte werden mit den für den Energiepflanzenanbau aktuell genutzten Kulturen und Anbauverfahren fallbezogen dargestellt und zusammenfassend diskutiert. Eine Ausnahme bildet der Verlust vielfältiger Lebensräume in der Kulturlandschaft, da dieser nicht in direktem Zusammenhang mit den genutzten Kulturen und Anbauverfahren zur Fermentation steht und daher keine Unterschiede zur konventionellen Landwirtschaft zu erwarten sind. Hinzu können Auswirkungen auf das Landschaftsbild kommen.

Eine ausführliche Beschreibung der genannten Auswirkungen mit einem konkreten Bezug zur energetischen Nutzung von Biomasse findet sich u.a. bei KALTSCHMITT & REINHARDT (1997) sowie bei SCHEURLEN et al. (2003).

#### **9.4 Energiepflanzen im konventionellen Anbau am Beispiel von Silomais**

Beim konventionellen Anbau annueller Kulturen bleibt die Energiepflanzenerzeugung in die vorhandenen, betriebsüblichen Fruchtfolgen zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion integriert. In der derzeitigen Anbaupraxis für Fermentationsbiomasse werden dabei in erster Linie gängige Silomaisarten als Hauptfrucht angebaut und genutzt. Bei der Verwendung konventioneller Sorten, die nicht auf eine energetische Nutzung ausgerichtet sind, ist für die Vergärung ein Reifestadium nahe der Kornreife anzustreben. Das Ziel ist es, neben hohen Trockenmasseerträgen auch eine gute Futterqualität zu erreichen. Je höher die Futterqualität, desto höher ist auch die Gasausbeute pro dt/Trockenmasse und damit die Stromproduktion (KEYMER & SCHILCHER 2000, SCHEFFER 2002).

Mais wird oft im Wechsel mit Getreide und Rüben angebaut und gilt als tragendes Glied in der Fruchtfolge, da die Krankheiten der Hauptgetreidearten nicht übertragen und Rübennemethoden zurück gedrängt werden (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001). Da Mais selbstverträglich ist, wird er oft auf dem gleichen Feld ohne Ertragseinbußen über mehrere Jahre angebaut (STOCK & DIEPENBROCK 1999). Ertragsverluste durch Schädlinge, wie z.B. durch den aktuell nach Deutschland einwandernden Westlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera*), könnten durch eine regelmäßige, weite Fruchtfolge vermieden werden. Wird Mais in Monokultur angebaut, hilft jedoch nur eine Bekämpfung mit Pestiziden (LAND & FORST 2003b) oder im Extremfall ein mehrjähriges Anbauverbot in dem Befallsgebiet (SCHMIDT 2003).

##### ***Auswirkungen auf den Nährstoffhaushalt***

Die Zuführung von Stickstoff und anderen Pflanzennährstoffen wird in gleichem Maße wie bei Maisbeständen zur Futtermittelproduktion fortgeführt. Sie erfolgt zur Einsaat und später in einer zweiten Gabe bei einer Bestandshöhe von ca. 40 cm (STOCK & DIEPENBROCK 1999). Die Jungpflanzen können jedoch im Frühjahr nur wenig Stickstoff aufnehmen, es ist deshalb in diesem Zeitraum mit Stickstoffverlusten zu rechnen (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001). Maispflanzen in der Phase der Kornreifung nehmen ebenfalls nur noch geringe Mengen an Nährstoffen aus dem Boden auf. Zusätzlich wird durch den Humusabbau weiterer Stickstoff mineralisiert. Dadurch entsteht ein Stickstoffüberschuss, der im Herbst in das Grundwasser ausgewaschen wird (SCHEFFER 2002).

##### ***Auswirkungen auf den Boden***

Die Gefahr der Bodenerosion ist bei Mais als Reihensaat mit weiten Abständen, später Aussaat und später Bodenbedeckung als hoch einzuschätzen (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001). Insbesondere Hanglagen und schluffige Böden verstärken dieses Risiko (STOCK & DIEPENBROCK 1999). Durch den Anbau in Monokultur können sich negative, kulturspezifische Auswirkungen auf Natur und Landschaft

verstärken. Bei Mais betrifft dies u.a. die Erosion und Bodenverdichtungen (STOCK & DIEPENBROCK 1999).

### ***Einsatz von Pflanzenschutzmitteln***

Auch ohne den Anbau in Monokultur bleibt der Einsatz von PSM, auf Grund der mit dem Futterbau vergleichbaren Qualitätsanforderungen, bei der energetischen Nutzung von Mais unverändert bestehen. Setzt man gleich bleibende Qualitätsziele voraus, kann auf eine mechanische oder chemische Bekämpfung von Wildkrautaufwuchs wegen der langsamen Jugendentwicklung von Mais nicht verzichtet werden (STOCK & DIEPENBROCK 1999).

### ***Auswirkungen auf die Artenvielfalt***

Da sich das Anbauverfahren durch die energetische Nutzung von Silomais nicht grundlegend ändert, sind auch keine Veränderungen der kulturspezifischen Auswirkungen des Maisanbaus auf die biotischen Faktoren im Bestand zu erwarten.

## **9.5 Energiepflanzenanbau auf produktiven Standorten**

Auf Flächen, die ausschließlich zur Biomasseproduktion genutzt werden, kommen Energiepflanzen in spezialisierten Fruchtfolgen zum Einsatz, die sich von konventionellen Fruchtfolgen unterscheiden. Beim Energiepflanzenbau werden, im Gegensatz zur energetischen Nutzung von Kulturen aus konventionellem Anbau, speziell für diesen Zweck gezüchtete bzw. selektierte Kulturen zum Einsatz kommen. Ziel ist es, mit einer Hauptfrucht pro Jahr möglichst hohe Trockenmasseerträge zu erreichen. Hier bietet sich wiederum der Mais an, da für diese Pflanze reichhaltiges genetisches Material vorliegt (siehe Kapitel 10).

### **9.5.1 Maisanbau**

Bei Mais als Energiepflanze ist die Züchtung bereits so weit fortgeschritten, dass in den nächsten 5-10 Jahren mit dem Anbau von Sorten mit einem Leistungsvermögen von 30-35 Tonnen Trockenmasse pro Hektar zu rechnen ist (KESTEN 2003, mündlich). Mais hat als C4-Pflanze im Gegensatz zu Getreide und Raps den Vorteil, die intensive Sonneneinstrahlung während der Sommermonate effizient für das Massewachstum nutzen zu können (KESTEN 2003, mündlich).

Wachstumsstarke Sorten haben zudem eine verlängerte vegetative Phase, ein Fruchtansatz findet erst sehr spät statt. Die Pflanzen können vor Beginn der generativen Phase des Kolbenwachstums bereits geerntet werden (SCHEFFER 2002). Neuere Anbauversuche deuten jedoch darauf hin, dass sich bei Maissorten mit einem gewissen Kolbenansatz mehr Energie gewinnen lässt, als bei ausschließlich auf ein vegetatives Wachstum ausgerichteten Sorten (SCHEFFER 2003, mündlich).

Die Nährstoffansprüche bei Mais sinken gegen Ende der Vegetationsperiode merklich ab. Insgesamt benötigen die Pflanzen bei stärkerem Stoffumsatz zur Massebildung entsprechend höhere Nährstoffmengen. Eine bedarfsgerechte Düngung bedeutet in diesem Fall also höhere Düngergaben als im konventionellen Anbau bisher üblich, bei gleichzeitig höherem Nährstoffentzug durch die Pflanzen (SCHMIDT 2003, mündlich). Bei insgesamt höheren Düngegaben steigt generell das Risiko der Eutrophierung durch die Austragung größerer Stickstoff-Mengen, z.B. bei falsch bemessenen Düngegaben oder -zeitpunkten. Überhöhte Düngung zur Einsaat der Pflanzen oder gegen Ende der Vegetationsperiode können zu Nitrat-

auswaschungen ins Grundwasser führen, da die Pflanzen zu diesen Zeitpunkten nur begrenzt Nährstoffe aufnehmen können.

Ein großer Teil der Nährstoffe soll in diesem System durch die Ausbringung von Biogasgülle im Nährstoffkreislauf gehalten werden. Inwieweit es durch diesen Kreislauf in Verbindung mit zusätzlicher Düngung in der landwirtschaftlichen Praxis zu Belastungen durch Eutrophierungen kommt, kann nicht abschließend beurteilt werden. Durch die Ausbringung der Biogasgülle und der damit verbundenen Nährstoff-Rückführung auf die Flächen ist jedoch eine Reduzierung des Mineraldüngereinsatzes zu erwarten.

Bezüglich der Erosionsgefahr sowie der Bodenverdichtung ergeben sich voraussichtlich keine grundsätzlich vom konventionellen Anbau abweichenden Aspekte.

### ***Einsatz von Pflanzenschutzmitteln***

Für eine Verringerung des Herbizideinsatzes oder der mechanischen Beseitigung von Wildpflanzen liegen keine Anhaltspunkte vor. Da beim reinen Energiepflanzenanbau keine Regulierung der Wildpflanzen durch Fruchtfolgeaspekte bzw. frühzeitige Ernte wie bei einer Mehrkulturnutzung (s.u.) vorgesehen sind und das System ausschließlich auf den Ertrag des Energiemaisses ausgerichtet ist, müssen folglich auch Maßnahmen zur Bekämpfung von Wildpflanzen weiterhin durchgeführt werden. Der Einsatz von Herbiziden wird daher falls überhaupt nur geringfügig niedriger sein als beim konventionellen Anbau. Zu anderen PSM liegen ebenfalls keine Hinweise auf eine zu erwartende Veränderung des Einsatzes in der landwirtschaftlichen Praxis vor. Einerseits ist anzunehmen, dass PSM, die speziell für den Kornertrag von Bedeutung sind, weniger zum Einsatz kommen könnten. Andererseits werden PSM zum Schutz der ganzen Pflanze bei Bedarf wahrscheinlich weiterhin verwendet werden. Dies gilt insbesondere bei einem Maisanbau in Monokulturen, bei dem spezialisierte Krankheitserreger und Schädlinge besonders gute Verbreitungsbedingungen finden (siehe Kapitel 9.4)

### ***Auswirkungen auf die Artenvielfalt***

In Bezug auf die Artenvielfalt von Flora und Fauna ist durch den Anbau von Energiemais keine Verbesserung auf den Wirtschaftsflächen zu erwarten. Gezielte Untersuchungen zur Beurteilung der Auswirkungen eines gesteigerten Maiswachstums z.B. hinsichtlich einer verstärkten Beschattung und dadurch verursachten weitergehenden Unterdrückung von Wildpflanzen oder den Einfluss auf die Fauna, liegen den Autoren bisher nicht vor.

## **9.5.2 Energiepflanzenanbau in Mehrkulturnutzung**

Die so genannte Mehrkulturnutzung ist ein Anbaukonzept, das speziell auf den Anbau von Energiepflanzen ausgerichtet werden kann. Bei diesem Konzept werden in einem Jahr zwei oder mehr Kulturen pro Flächeneinheit angebaut und genutzt. In der Regel sind dies zwei Hauptfrüchte oder Hauptfrüchte in Kombination mit Zwischenfrüchten. Dies ist möglich, weil im Falle der energetischen Biomassennutzung die Erstkulturen in noch unreifem Zustand geerntet werden können und somit Vegetationszeit für den Anbau der Zweitkultur gewonnen wird. Die zweite Hauptfrucht wird dann direkt in die Stoppeln der ersten Frucht eingesät (SCHEFFER 1998). Ziel des Anbaues ist eine hohe Biomasseproduktion durch den Anbau zweier Kulturen innerhalb eines Jahreszeitraumes. Eine entsprechende Kultur stellt hohe Ansprüche an die Standortbedingungen und ist bislang nur auf sehr produktiven Standorten mit gleichzeitig günstigen Klimabedingungen (lange Vegetationsperiode) sinnvoll. Ansätze einer Mehrkulturnutzung auf ertragsärmeren Standorten liegen bislang nicht vor.

Für die Mehrkulturnutzung ist ein breites Spektrum an Pflanzen verfügbar. Als Erstfrucht eignen sich alle winterharten Kulturen. Neben heimischen Getreidearten wie Weizen, Roggen, Gerste oder Winterhafer, können Raps, Rüben, Futterpflanzen und Winterleguminosen als Erstkulturen angebaut werden. Geeignete Zweitkulturen sind insbesondere Mais, Hirse und Sonnenblumen, aber auch Hanf, Ölrettich oder Gräser (SCHEFFER 2003, mündlich). Der Mehrkulturanbau erfolgte bisher vor allem zu wissenschaftlichen Zwecken auf Versuchsfeldern in Form der Zweikultur-Nutzung nach SCHEFFER. (1995, 1998). Derzeit laufen zwei Demonstrationsprojekte, bei denen der Anbau von Energiepflanzen in der landwirtschaftlichen Praxis erprobt wird. Im Projekt „Bioenergiedorf Jühnde“ wird die gesamte Energieversorgung des Ortes auf nachwachsende Rohstoffe umgestellt. Neben der Energieholznutzung sollen auf ca. 100 – 150 Hektar u.a. Weizen und Mais zur Fermentation in einer Biogasanlage angebaut werden (LAND & FORST 2003c). Auch auf dem „Bioenergiehof Obernjesa“ werden seit 2002 auf ca. 50 Hektar Anbaufläche Energiepflanzen nach dem Mehrkulturnutzungssystem kultiviert (BIOENERGIEHOF OBERNJESA 2002, Internet).

Die Erträge der Zweikultur-Nutzung können nach SCHEFFER um mehr als 50 % über den Erträgen aus konventionellem Anbau, wie z.B. dem von Triticale, liegen. Dies entspricht Erträgen zwischen 20 und 25 t TM/ha, vorausgesetzt es bestehen gute standörtliche Bedingungen für die Nutzung von zwei Hauptkulturen. Vor allem sind für den Erfolg des Anbausystems eine lange Vegetationsperiode, ausreichende Niederschläge und gute Bodenqualitäten entscheidend (SCHEFFER 2003, mündlich).

#### ***Auswirkungen auf den Nährstoffhaushalt***

Eine ganzjährige Bedeckung mit Vegetation entzieht dem Boden kontinuierlich Stickstoff und verringert damit das Risiko der Nitratauswaschung ins Grundwasser. Sollten nach der überwinternden Erstkultur (z.B. Getreide) Stickstoff-Überschüsse im Boden vorhanden sein, so werden diese von der hoch produktiven Zweitkultur (z.B. Mais) genutzt.

SCHEFFER nennt hierzu ein Beispiel aus Südbaden. Nach dem Anbau von Wintergerste steigt der N-Gehalt des Bodens ohne Pflanzendecke auf 150 kg/ha an. Dieser Wert verringert sich ohne den Anbau einer weiteren Kultur durch Auswaschung bis in den November auf 80 kg/ha. Wird alternativ dazu Mais oder Zuckerhirse als Zweitkultur angebaut, bleiben trotz zusätzlicher N-Düngung von 100 kg/ha nur noch geringe Stickstoffgehalte von 30 bzw. 20 kg/ha übrig (SCHEFFER 2002). Durch die Auswahl bzw. die Neuzüchtung von Sorten, die auf eine energetische Nutzung ausgerichtet sind, ließe sich der Stickstoffbedarf von Energiepflanzen weiter senken (SCHEFFER 1995).

Die hohe Trockenmasseproduktion der Mehrkulturnutzung bedingt einen hohen Nährstoffexport von den Flächen. Durch die Rückführung der Biogasgülle versucht man den Nährstoffkreislauf jedoch möglichst geschlossen zu halten. Zusätzliche Stickstoffquellen sind durch den Anbau von Zwischenfrüchten zu erschließen. Zum Beispiel kann der Aufwuchs von Wintererbsen energetisch genutzt werden, er hinterlässt gleichzeitig eine gute Stickstoffversorgung für die Zweitkultur (SCHEFFER 2002). Das Prinzip der Rückführung von Nährstoffen aus der Vergärung bzw. Verbrennung von Biomasse und die energetische Nutzung von Zwischenfrüchten gilt jedoch nicht nur für die Mehrkulturnutzung, sondern ist auch für andere Anbauvarianten der Energiepflanzenproduktion praktikabel.

Neben dem Stickstoff sollte zusätzlich der Entzug von Makronährstoffen wie Phosphor, Kalium und Magnesium betrachtet werden. Zu den Auswirkungen unterschiedlicher Energiepflanzenkulturen auf die

Nährstoffgehalte im Boden wurden von 1994 bis 1998 Anbauversuche des Institutes für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB) durchgeführt. Unter anderem wurden auf drei Parzellen Mais, Wintergetreide und Hanf in jährlichem Wechsel angebaut (SCHOLZ et al. 1999). Jede dieser Parzellen wurde in vier unterschiedlichen Varianten gedüngt:

- a) 150 kg/N/ha
- b) Strohasche + 75 kg/N/ha
- c) Holzasche + 75 kg/N/ha
- d) Keine Düngung

Nach vier Jahren konnte festgestellt werden, dass sich bei den Phosphatwerten unabhängig von der Düngervariante nur geringfügige Veränderungen ergeben hatten. Die Werte verblieben i.d.R. auf hohem bzw. sehr hohem Niveau. Lediglich bei einzelnen Parzellen der oben genannten Kulturen war zum Teil ein leichter Phosphatbedarf im Rahmen der Erhaltungsdüngung vorhanden.

Bei den Kaliumgehalten lagen die Werte dagegen bei nahezu allen Parzellen, mit nur noch mittleren bis niedrigen Gehalten, deutlich unter den Ausgangsbedingungen. Sie müssen durch entsprechende Düngergaben ergänzt werden.

Für Stickstoff wurden bei den genannten Kulturen auch in den weniger oder gar nicht gedüngten Abschnitten durch die intensive Bodenbearbeitung und dadurch höhere N-Umsetzung auch häufig höhere Werte an mineralisiertem Stickstoff gemessen. Dem steht allerdings auch ein höherer Stickstoffentzug entgegen. SCHOLZ empfiehlt deshalb bei Stickstoff eine maßvolle, am Entzug orientierte Düngung und eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung, um Auswaschungsverluste zu minimieren (SCHOLZ et al. 1999).

### ***Auswirkungen auf den Boden***

Ein Beispiel für eine Mehrkulturnutzung ist der Anbau von Wintergetreide gefolgt von spät angebautem Mais. Das Getreide wird bereits im Herbst gesät und im Stadium der Milchreife geerntet. Der Wechsel der Kulturen sollte etwa in der zweiten Junihälfte stattfinden. Der Mais wird dabei direkt in die Stoppeln des Getreides eingebracht. Durch diese Art der Bewirtschaftung wird das Erosionsrisiko bei jungen Maispflanzungen deutlich vermindert. Da vor der Einsaat keine weitere Bodenbearbeitung erfolgt, kommt es zu keinen zusätzlichen Verdichtungen und Störungen des Bodenlebens. Durch diese Bodenruhe wird zudem der Humusabbau verlangsamt (SCHEFFER 1995). Inwieweit sich die Anzahl der für eine Mehrkulturnutzung benötigten Arbeitsgänge im Vergleich zum konventionellen Anbau verringert und ob dadurch eine Entlastung der Verdichtungsgefahr erfolgt, bleibt auf Grund fehlender konkreter Angaben offen. Ein ggf. höherer maschineller Bearbeitungsaufwand bei Einsaaten und Erntegängen wird jedoch vermutlich durch reduzierte Arbeitsgänge bei Düngung und PSM-Einsatz wieder ausgeglichen. Ein weiteres Ziel der Mehrkulturnutzung ist es, den Boden ganzjährig von Pflanzen bedeckt zu halten. Dies gibt einen zusätzlichen Schutz vor Bodenerosion. Gleiches kann durch den Anbau von Zwischenfrüchten auch in den anderen Anbauvarianten erreicht werden.

### ***Einsatz von Pflanzenschutzmitteln***

Auf den Einsatz von Fungiziden und Insektiziden kann im Rahmen dieses Anbauverfahrens vollständig verzichtet werden, da die Kulturen bereits zu einem Zeitpunkt geerntet werden, in dem die Schaderreger

den Ertrag erst wenig beeinflussen können. Eine Verwendung von Herbiziden ist vielfach ebenfalls nicht notwendig (SCHEFFER 1995). Werden auf einer Fläche über einen längeren Zeitraum ausschließlich nach dieser Methode Energiepflanzen angebaut, könnte nach eigen Jahren eine Ausbreitung von sich vegetativ vermehrenden Wurzelunkräutern wie Quecke und Ackerkratzdistel möglicherweise doch den zumindest gelegentlichen Einsatz von Herbiziden erfordern.

### ***Auswirkungen auf die Artenvielfalt***

Bei der Mehrkulturnutzung kann der Aufwuchs von Wildpflanzen in begrenztem Umfang toleriert werden (SCHEFFER 1995). Die Ertragsseinbußen bei den Kulturpflanzen werden durch die Biomasseproduktion der Wildpflanzen zum Teil wieder ausgeglichen, da Wildpflanzen ebenfalls problemlos als Biomasse in einer Biogasanlage genutzt werden können. Erst wenn der Schaden durch die Wildpflanzen größer ist als der Nutzen, sinken die Gesamterträge (KARPENSTEIN-MACHAN 1997). Weitere Schädigungen können durch eine starke Samenvermehrung oder den Wiederaustrieb von Wildgräsern entstehen. Insbesondere eine frühe Ernte der Erstkultur begünstigt den Wiederaustrieb von Wildgräsern in der nachfolgenden Kultur. Dort ist dann ggf. eine Regulierung von Wildpflanzen notwendig, die sich nicht allein durch Fruchtfolgen und abgestimmte Erntetermine erreichen lässt. Alternativ zur Anwendung von Herbiziden könnte sich u.a. die mechanische Bekämpfung der Wildpflanzen anbieten, da diese die Pflanzenbestände nicht vollständig vernichtet, sondern nur auf eine geringere Dichte reduziert werden (KARPENSTEIN-MACHAN 1997).

Die höhere Toleranz der Mehrkulturnutzung gegenüber Ackerwildkräutern und Wildgräsern verbessert grundsätzlich die Rahmenbedingungen für die an diese Bewirtschaftungsbedingungen angepassten Pflanzenarten. Zu konkreten Verschiebungen des Artenspektrums und der Veränderung von Dominanzverhältnissen bei Ackerwildkräutern und Wildgräsern durch veränderte Bewirtschaftungsbedingungen liegen den Autoren z.Zt. allerdings keine detaillierten Informationen vor. Allerdings ist zu vermuten, dass auf Grund der sehr frühen Ernte insbesondere krautige Arten, die eine relativ lange Zeit bis zur Samenreife benötigen, allmählich von den Äckern verdrängt werden. Ein dichter Aufwuchs von Hauptfrüchten im Zweifruktanbau könnte zudem lichtliebende Ackerwildkräuter unterdrücken und damit insgesamt das beim Verzicht von Herbiziden zu erwartende potenzielle Artenspektrum zusätzlich einschränken. Zur Klärung der langfristigen Auswirkungen eines Mehrkulturanbaus zur Produktion energetisch nutzbarer Biomasse sind gezielte Untersuchungen notwendig. Entsprechende Erkenntnisse fehlen bislang ganz.

## **9.6 Energiepflanzenanbau auf ertragsarmen Standorten**

Die intensive Bewirtschaftung auf ertragsarmen Standorten rechnet sich bisher für die Landwirte zumeist nur auf Grund hoher flächenbezogener Prämienzahlungen der EU. Durch die Umstellung der Prämienzahlungen von der flächenbezogenen auf eine betriebsbezogene Prämie im Rahmen der nächsten Stufe der Agrarreform, wird die Bewirtschaftung ertragsarmer Standorte für viele Betriebe in Zukunft voraussichtlich nicht mehr wirtschaftlich sein. Der Energiepflanzenanbau könnte daher eine Alternative darstellen, um diese Flächen weiterhin durch eine landwirtschaftliche Nutzung offen zu halten.

### ***Energieerträge und Naturschutz durch Low-Input – Low-Output-Strategie?***

Einen ersten Ansatz stellt der extensive Anbau von ein- oder mehrjährigen Energiepflanzen dar, bei dem der Stoffeinsatz z.B. durch die Einsparung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln für die angebauten Kulturen auf ein Minimum reduziert werden soll (Low-Input). Insbesondere durch den Einsatz von mehrjährigen Kulturen, wie z.B. perennierendem Roggen<sup>4</sup>, erhofft man sich zusätzliche Einsparungen durch den verringerten Arbeitsaufwand für Bodenbearbeitung und Saatgutausbringung. Bei der Ernte geht man, im Vergleich zu intensiven Anbauverfahren, von deutlich niedrigeren Erträgen aus (Low-Output). Insgesamt sollen so dennoch wirtschaftlich tragbare, d.h. deutlich positive Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden.

Für den Anbau sind spezielle Energiepflanzenfruchtfolgen vorgesehen. Ebenso werden Mischkulturen und eine ganzjährige Bodenbedeckung durch die Verwendung und Nutzung von Zwischenfrüchten angestrebt (BIOGASFORUM DES LANDWIRTSCHAFTSMINISTERIUMS HANNOVER 2003).

Für Anbausysteme auf armen Standorten wird vom BIOGASFORUM des Landes Niedersachsen ein synergetischer Ansatz angestrebt, der neben der Kostendeckung auch eine hohe ökologische Wertigkeit als Ziel für die bewirtschafteten Flächen beinhaltet. Der Anbau von Energiepflanzen könnte dann z.B. speziell auf Gebiete mit Nutzungseinschränkungen (z.B. Naturschutz- und Wasserschutzgebiete, aber auch kontaminierte oder Altlaststandorte) angepasst erfolgen (BIOGASFORUM DES LANDWIRTSCHAFTSMINISTERIUMS HANNOVER 2003).

Der Ansatz eines verminderten Betriebsmitteleinsatzes auf ertragsarmen Standorten befindet sich erst in der Entwicklungsphase. Das Landwirtschaftsministerium in Hannover erarbeitet derzeit zusammen mit den Mitgliedern des Biogasforums Vorschläge, welche Kulturen für einen Anbau zur energetischen Nutzung auf ertragsarmen Standorten in Frage kommen könnten. Zu den Vorschlägen müssten die vorhandenen Versuchsergebnisse und erste Praxiserfahrungen gesichtet und die zu erwartenden Kosten und Erträge in Form von Deckungsbeiträgen kalkuliert werden. Damit ließe sich herausarbeiten, inwieweit eine Wirtschaftlichkeit des Anbaus mit diesem Ansatz tatsächlich zu erreichen ist, bzw. welche Rahmenbedingungen dazu gegeben sein müssten.

### ***Die Verwendung von perennierendem Roggen***

Der im Verlaufe der Überlegungen oft für mehrjährige Ackerkulturen angeführte perennierende Roggen kann als ein Beispiel dafür dienen, dass die Suche nach tragfähigen Anbaualternativen bzw. darauf angepassten Sorten auf ertragsarmen Standorten eine große Herausforderung darstellt und bisher noch viele Fragen offen bleiben. Denn im Gegensatz zur fortschreitenden Entwicklung der oben genannten Nutzungsansätze findet die züchterische Entwicklung z.B. von darauf abgestimmten Roggensorten derzeit nur wenig Beachtung.

Die züchterische Bearbeitung von perennierendem Roggen zielte in den letzten Jahrzehnten ausschließlich auf die Verbesserung der Wiederaustriebsfähigkeit. Bisher erreicht dieser Roggen eine Wiederaustriebsrate von ca. 50 %. Perennierender Roggen lag mit dieser Rate, in Anbauversuchen der Universität Hohenheim von 1995-1997, knapp unter den Erträgen von gewöhnlichem Roggen mit 150 dt TM/ha. Die Züchtungsaktivitäten in diesem Bereich werden durch die Universität Hohenheim jedoch nur in sehr geringem Ausmaß aus rein wissenschaftlichem Interesse fortgeführt (MIEDANER 2003, mündlich).

---

<sup>4</sup> Perennierender Roggen ermöglicht eine mehrjährige Nutzung des Bestandes ohne Wiederaussaat. An der Universität Hohenheim wird z.B. mit einer Kreuzung aus Kulturroggen (*Secale cereale L.*) und einer Wildform (*Secale montanum*) geforscht.

Auch in der freien Wirtschaft wird die Weiterzüchtung entsprechender Sorten bislang nicht betrieben. So wird z.B. bei dem traditionsreichen Saatgutunternehmen Lochow-Petkus GmbH, einem der führenden Roggenzüchter, der perennierende Roggen auf Grund der negativen Einschätzung der Wirtschaftlichkeit züchterisch nicht bearbeitet. Einer energetischen Nutzung dieser Kultur wird nach Ansicht von WILDE in absehbarer Zeit keine praktische Bedeutung zugemessen (WILDE 2003, mündlich).

### **9.7 Naturschutzfachliche Einschätzungen zum Energiepflanzenanbau in der Landwirtschaft**

Der Anbau von Energiepflanzen zur Vergärung in Biogasanlagen weist derzeit, trotz der prinzipiell zur Verfügung stehenden Vielfalt nutzbarer Kulturpflanzen, eindeutig die Tendenz einer überwiegenden Verwendung von Silomais als nachwachsendem Rohstoff zur Kofermentation mit Gülle auf. Mehrkultursysteme, die auf einen vielfältigen Anbau in abgestimmten Fruchtfolgen setzen, werden nach dem aktuellen Informationsstand der Autoren von den Landwirten bisher kaum aus eigener Initiative nachgefragt und eingesetzt. Sie bleiben auf Modellprojekte beschränkt. Die Gründe dafür könnten unter anderem darin liegen, dass für den Mehrkulturanbau ein breiter Erfahrungshintergrund in der Praxis fehlt und damit das Vertrauen in ein neues Anbauverfahren erst langsam wachsen muss. Zudem scheint der Mehrkulturanbau im Vergleich zu Silomais eine anspruchsvollere Planung und Bewirtschaftung der Kulturflächen zu erfordern, so dass offensichtlich zunächst den bekannten und vermeintlich einfacheren Anbauverfahren mit einer Hauptkultur der Vorzug gegeben wird.

Bei einem intensiven Anbau von Silomais mit der Tendenz zur Monokultur sind keine Verbesserungen für den Naturschutz gegenüber bisherigen Anbauverfahren zu erwarten. Es überwiegen die Risiken. Vor allem sind dabei die einseitige Belastung des Bodens durch Verdichtungen und Erosion zu nennen. Aber auch auf die Gefahren einer verstärkten Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen und einer ggf. noch weiter eingeschränkten Biodiversität in der Agrarlandschaft ist hinzuweisen. Dies gilt insbesondere, wenn es in einigen Regionen durch den Anbau von Silomais als Futtermittel und Energiepflanze zur Dominanz von Maiskulturen kommt.

Das tatsächliche Ausmaß der Auswirkungen ist von den jeweiligen Standortbedingungen, der Bewirtschaftung und der Fruchtfolge abhängig. Dies gilt auch für den Anbau spezieller Energiemaissorten. Bei der Produktion zusätzlicher Pflanzenmasse entsteht ein erhöhter Bedarf an Düngemitteln, der das Risiko von Nitrateinträgen ins Grundwasser ebenfalls ansteigen lässt. Die stringente Einhaltung der Grundsätze der Guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft ist demnach obligatorisch einzufordern.

Ein Mehrkulturanbau kann auf guten Ackerstandorten im Vergleich zu konventionellen Anbauverfahren deutliche Vorteile für den Naturschutz bieten. In erster Linie sind dabei die Auswirkungen auf den abiotischen Bereich zu nennen, wie z.B. die schonende Bewirtschaftung des Bodens durch abgestimmte Fruchtfolgen, Direkteinsaat in die Stoppeln der Vorkultur und eine ganzjährige Bodenbedeckung. Weiterhin besteht die Chance, durch eine abgestimmte Fruchtfolge den Nitrataustrag in das Grundwasser zu verringern. Positiv anzumerken ist außerdem, dass durch frühe Erntetermine und verminderte Qualitätsanforderungen auf den Einsatz von Fungiziden und Pestiziden verzichtet werden kann.

Inwieweit ein Mehrkulturanbau durch die genannten Vorteile für die abiotischen Faktoren indirekt sowie direkt durch die erweiterte Kulturpflanzenvielfalt und den Mischanbau zum Erhalt oder gar der Steige-

rung der Biodiversität von Flora und Fauna in der Agrarlandschaft beitragen kann, ist bisher nicht näher untersucht worden. Gleiches gilt für die erweiterte Toleranz gegenüber Ackerwildpflanzen. Auch über die Auswirkungen des Mehrkulturanbaus auf gefährdete Arten liegen keine Informationen vor. Wahrscheinlich ist allerdings beim Verzicht auf PSM eine größere Artenvielfalt an Ackerwildkräutern und der Mesofauna im Vergleich zur konventionellen Landbewirtschaftung zur Lebens- und Futtermittelproduktion zu erwarten. Welche Artengruppen gefördert und welche (anderen) aber auch verdrängt werden, können nur bisher fehlende, gezielte Untersuchungen belegen. Insgesamt sind damit die genannten Veränderungen gegenüber den konventionellen Anbauverfahren überwiegend als positiv zu bewerten, da sie die Entwicklungspotenziale für Tier- und Pflanzenarten auf den Kulturflächen grundsätzlich erweitern.

Neben den ertragreichen Standorten gewinnt die Frage nach der zukünftigen Bewirtschaftung von ertragsarmen Standorten zunehmend an Bedeutung. Es ist naheliegend, dass der Anbau von Energiepflanzen, vor allem auf Grund der im Vergleich zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion niedrigeren Qualitätsanforderungen, auf diesen Standorten an Bedeutung gewinnen wird. Offen ist allerdings, mit welchen Kulturen und Fruchtfolgen und mit welcher Bewirtschaftungsintensität ein betriebswirtschaftlich tragbarer Energiepflanzenanbau etabliert werden kann. Der vom Landwirtschaftsministerium in Hannover diskutierte Ansatz, durch einen möglichst geringen Betriebsmitteleinsatz und geringer kalkulierte Erträge positive Deckungsbeiträge zu erreichen, könnte im Vergleich zur bisherigen intensiven Bewirtschaftung auf diesen Standorten neue Chancen für den Naturschutz eröffnen. Die Überlegungen für derartige Anbaustrategien stehen allerdings erst am Anfang, so dass bezüglich ihrer Realisierbarkeit noch viele Fragen offen bleiben.

Alle aufgeführten Bewirtschaftungsvarianten können durch den Anbau und die Nutzung von Zwischenfrüchten und Mischkulturen erweitert werden. Dies ist aus Sicht des Naturschutzes und zur Aufwertung des Landschaftsbildes insgesamt positiv zu bewerten, da die Kulturpflanzenvielfalt gestärkt und Boden sowie Grundwasser besser vor schadhaften Einflüssen (Erosion, Nährstoffauswaschung) geschützt werden.

## **10 Gentechnisch veränderte oder neu gezüchtete Pflanzen zur Biomasseproduktion sowie die Verwendung eingeführter, nicht einheimischer Pflanzen**

Im Nutzpflanzenanbau werden in der Regel nicht die gesamten Pflanzen, sondern lediglich die Fortpflanzungsorgane, wie z.B. Früchte und Speicherorgane, genutzt. Von Natur aus sind Pflanzen in aller Regel auf das generative Wachstum zur Erhaltung der Art durch Fortpflanzung und Samenproduktion ausgerichtet. Während die Hauptanteile pflanzlicher Biomasse in der vegetativen Wachstumsphase bis zur Milchreife bzw. Teigreife heranwachsen, setzt das verstärkte Ausreifen der Körner und Früchte bis zur Vollreife erst in der generativen Wachstumsphase ein.

Fruchterträge sowie Trockenmasseerträge sind multifaktorielle Eigenschaften, d.h. sie sind von mehreren genetischen Faktoren abhängig und bisher nicht durch die Veränderung eines bestimmten Gens gezielt zu beeinflussen. Konventionelle Züchtungsmethoden sind deshalb gegenüber gentechnischen Veränderungen im Vorteil (KESTEN 2003, mündlich.).

Die konventionelle Züchtung konzentrierte sich bislang auf die Förderung des generativen Wachstums und konnte dadurch die Fruchterträge sowie -qualitäten in den letzten Jahrzehnten enorm steigern. In der Gentechnik wurden bisher lediglich einzelne Merkmale gezielt verändert (z.B. Herbizidtoleranz, Pilzresistenzen).

Beim Anbau von Energiepflanzen zur energetischen Nutzung treten, im Gegensatz zur Nahrungsmittelproduktion, die Ansprüche an Qualität und Quantität der Fruchterträge als Ertragsziel in den Hintergrund. Entscheidend für den Energiepflanzenbau ist der Energieertrag pro Hektar durch die Produktion möglichst hoher Biomasseerträge. Hinzu kommen die Aspekte der optimalen Nutzbarkeit (Anbau, Ernte, Transport, Lagerung) sowie der stofflichen Eignung der Biomasse zur Umwandlung in den zur Verfügung stehenden technischen Anlagen.

Mit der Perspektive, Pflanzen in großem Umfang energetisch zu nutzen, stellt sich die Frage, welche Pflanzenarten bzw. -sorten für einen Anbau auf landwirtschaftlichen Flächen am besten geeignet sind.

Neben der gezielten Forschung mit derzeit konventionell angebauten Kulturpflanzenarten und -sorten könnten Methoden und Techniken genutzt werden, die standardmäßig bei der Weiterentwicklung von Kulturpflanzen im Nahrungs- und Futtermittelbereich Anwendung finden, wie z.B.:

- die konventionelle Züchtung neuer Sorten
- die Herstellung gentechnisch veränderter Organismen (GVO)
- die Prüfung alter Sorten auf ihre Eignung im Energiepflanzenbau
- der Anbau von nicht heimischen Kulturpflanzenarten.

Auf diesem Wege könnten zukünftig Arten und Sorten für den Anbau bereitgestellt werden, die hierzulande bisher nicht angebaut worden sind bzw. nicht mehr in der Landwirtschaft zum Einsatz kommen.

Des Weiteren stellt sich die Frage, mit welchen Anbausystemen und in welchem Umfang der Anbau einzelner Kulturen erfolgen wird und welche Konsequenzen daraus für den Naturschutz und das Landschaftsbild entstehen könnten.

## 10.1 Konventionelle Züchtung und gentechnisch veränderte Organismen (GVO)

### 10.1.1 Ziele der Energiepflanzenzüchtung

Die Maximierung der Trockenmassenerträge pro Hektar und Jahr bei gleichzeitiger Optimierung der Energiebilanz (Low Input – High Output) als Anbauziel des Energiepflanzenbaues, begründet eine neue Ausrichtung in Anbau und Entwicklung von Nutzpflanzen. Ein konsequent auf die Energieproduktion angelegter Ackerbau bedeutet demnach eine Optimierung der vegetativen Wachstumsphase zur Steigerung der aufwachsenden Pflanzenmasse. In diesem Bereich sind erhebliche Entwicklungspotenziale bei Flächenproduktivität, Energiebilanz und Wirtschaftlichkeit zu erwarten (KESTEN 2003). Ein konkretes Beispiel bietet die züchterische Entwicklung und Vermarktung von „Energimais“.

Für Mais liegt im Gegensatz zu anderen, für die Energieproduktion interessanten Pflanzen sehr viel Zuchtmaterial vor. Für neue Züchtungsziele können Komponenten daraus je nach Bedarf neu kombiniert werden. Bei anderen schnell wachsenden Pflanzen wie z.B. Sudangras (*Sorghum sudanense*) oder Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*) fehlen hierzulande vergleichbar umfangreiches Material sowie die Erfahrungen einer langjährigen Anbaupraxis (KESTEN 2003, mündlich).

Zur Steigerung der Trockenmasseerträge beim Mais ist es vorstellbar, durch Kreuzung von spätreifen Zuchtlinien aus Italien, Frankreich oder Südamerika mit kälteresistenten europäischen Linien neue Sorten zu entwickeln. Diese könnten durch eine schnellere Jugendentwicklung und ggf. eine verbesserte Nährstoffeinlagerung zum Ende der Vegetationszeit höhere Masseerträge bringen. Eine andere Möglichkeit wäre die Steigerung der Trockenmasseerträge durch die Ausdehnung der vegetativen Wachstumsphase zu Lasten des generativen Wachstums durch die konventionelle Einkreuzung südamerikanischer Kurztagsgene. So könnten z.B. beim Mais innerhalb von 5-10 Jahren durchaus Sorten mit Trockenmasseerträgen von 30-35 Tonnen pro Hektar/Jahr zur Verfügung stehen (KESTEN 2003).

Entsprechende Züchtungsprogramme sind in der Umsetzungsphase. Die Nachfrage bei der KWS Saat AG, einem der führenden Saatgutzüchter und -produzenten in Deutschland, nach ertragsstarkem „Energimais“, durch die Betreiber von Biogasanlagen übersteigt derzeit die Menge des angebotenen Saatgutes (KESTEN 2003, mündlich.).

Eine Alternative zur Neuzüchtung von wachstumsstarken Energiepflanzen ist die Nutzung vorhandener alter Sorten. Am Beispiel von Winterweizen konnte nachgewiesen werden, dass alte im Vergleich zu modernen Sorten durchaus einen deutlich höheren Biomasseertrag erbringen können (VON BUTLAR 1996).

Neben der Optimierung des Trockenmasseertrages pro Hektar fehlen in der Pflanzenzüchtung Vorgaben für weitere Züchtungsziele im Energiepflanzenbau. Ohne einen konkreten Bedarf meiden jedoch insbesondere private Züchter die zeitlichen und finanziellen Aufwendungen für die Entwicklung neuer Sorten.

Allerdings ist bereits heute abzusehen, dass sich mit der fortschreitenden Entwicklung von Technologien zur Umwandlung von Biomasse in Energie, neben der Steigerung der Trockenmassenerträge, voraussichtlich speziellere Anforderungen an Zusammensetzung, Art und Qualität der Inhaltsstoffe von Biomasse ergeben werden (KESTEN 2003). Die Entwicklung von neuen Energiepflanzenarten wird sich dabei an den aktuellen praktischen Erkenntnissen und Erfahrungen technischer Analysen und Anwendungen aus-

richten. Einige Anhaltspunkte für denkbare qualitative Ansprüche an Energiepflanzen deuten sich dafür bereits an:

- Bei Energiepflanzen, die zur Verbrennung vorgesehen sind, könnte z.B. ein niedriger Proteingehalt an Bedeutung gewinnen, da das Eiweiß bei der Verbrennung zu hohen Anteilen an Stickoxidverbindungen und damit zu einer erhöhten Schadstoffbelastung der Luft führt (SCHEFFER 2002).
- Bei der Vergärung von Pflanzen in Biogasanlagen könnten die Gaserträge bzw. die Verweildauer im Fermenter entscheidend für die Auswahl der Biomassefraktionen sein (KESTEN 2003). Geringe Lignin- und Cellulosegehalte in der Biomasse sind dabei von Vorteil, da sich diese Inhaltsstoffe in Biogasanlagen durch Mikroorganismen nur langsam abbauen lassen (HOFMANN 2000).

Im Gegensatz zu der Steigerung von Erträgen ist z.B. die Veränderung von Inhaltsstoffen ein Arbeitsfeld, das für den Energiepflanzenanbau neben der konventionellen Züchtung auch durch gentechnische Methoden erschlossen werden könnte, da diese ein breiteres Spektrum an möglichen Eigenschaften in die Pflanze einbringen können. So gab es beispielsweise im Bereich der Zellstoffproduktion in Frankreich und England Freisetzungsversuche von Pappeln mit verändertem Ligningehalt (PILATE et al. 2002).

Ein anderer denkbarer Einsatzbereich der Gentechnik ist die Ergänzung konventioneller Züchtungsmethoden durch die Veränderung genetisch bekannter Defizite, die sich in der konventionellen Züchtung als „Engpass“ herausgestellt haben (BENDIEK 2003b, mündlich).

Weiterhin ist festzustellen, dass sich der Anwendungsbereich der Gentechnik derzeit deutlich ausweitet. Ein Blick auf die Züchtungsprogramme der zweiten Hälfte der 90er Jahre und auf die gegenwärtigen Forschungsprojekte lassen eine wesentlich breiter gefächerte Palette von möglichen Anwendungen für die nächsten Jahre und Jahrzehnte erkennen. Hierzu gehören unter anderem:

- die Erzeugung pilzresistenter Nutzpflanzen
- Samen und Früchte mit verbessertem Nährwert
- gezielte Veränderungen sekundärer Inhaltsstoffe
- eine effizientere Nährstoffaufnahme
- die Anpassung an Trockenheit und Salzgehalt des Bodens
- Eigenschaften, die den Einsatz von Pflanzen zur Dekontamination von Böden ermöglichen („Phytoremediation“)
- die Verwendung von Pflanzen zur Produktion von Rohstoffen wie abbaubare Polymere, modifizierte Öle und Kohlenhydrate sowie pharmazeutische Produkte wie Impfstoffe, Antikörper und Hormone (DIE VERBRAUCHER-INITIATIVE E.V. 2003, Internet).

Einige der genannten Eigenschaften, wie z.B. gezielte Veränderungen sekundärer Inhaltsstoffe oder die Anpassung an Trockenheit und Salzgehalt zur Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen, dürften für den Anbau von Energiepflanzen von besonderem Interesse sein.

### **10.1.2 Anbau gentechnisch veränderter Energiepflanzen**

Von der Herstellung gentechnisch veränderter Pflanzen im Labor bis zur Zulassung zum kommerziellen Anbau und dem Handel von Saatgut sowie gentechnisch erzeugter Produkte müssen diverse Genehmigungsebenen durchlaufen werden.

Die Zulassung von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) richtet sich in der EU nach der am 17. Oktober 2002 in Kraft getretenen Richtlinie über die absichtliche Freisetzung von genetisch veränderten Organismen 2001/18/EG. Diese löste die bis dahin gültige Freisetzungsrichtlinie 90/220/EWG ab. In der Bundesrepublik regelt das auf Grundlage dieser Richtlinie erlassene Gentechnikgesetz (GenTG) den Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen (GENTECHNIKGESETZ 2002).

Die §§ 14-16 GenTG unterscheiden nach der Freisetzung und dem Inverkehrbringen von gentechnisch veränderten Organismen. Vorhaben zur Freisetzung unterliegen im deutschen Recht einem Genehmigungsvorbehalt. „Freisetzung“ meint dabei das bewusste und gewollte Ausbringen gentechnisch veränderter Organismen in die Umwelt, soweit noch keine Genehmigung für das Inverkehrbringen vorliegt. Maßgebliches Kriterium zur Abgrenzung vom Inverkehrbringen ist hierbei, dass bei der Freisetzung nicht auf einen Übertritt des Organismus bzw. Produktes in den Herrschaftsbereich einer anderen Person gezielt wird (so etwa durch Verkauf).

Die gentechnikrechtlichen Zuständigkeiten für die Genehmigung der Freisetzung von GVO des Robert-Koch-Institutes gehen nach einer Entscheidung der Regierungskoalition vom 19.12.2003 auf das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) über. Ebenso wurde die Verlagerung der Zuständigkeiten des Umweltbundesamtes (UBA) für die Genehmigung von Freisetzungen und die Vermarktung von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) auf das Bundesamt für Naturschutz (BfN) beschlossen (PROJEKTVERBUND KOMMUNIKATIONS-MANAGEMENT IN DER BIOLOGISCHEN SICHERHEITSFORSCHUNG 2003a und 2003b, Internet). Das BVL entscheidet demnach nun über Freisetzungsanträge im Einvernehmen mit der Biologischen Bundesanstalt (BBA), dem Bundesamt für Naturschutz (BfN) und ggf. der Bundesanstalt für Viruskrankheiten der Tiere (BFAV).

Das Inverkehrbringen eines Produktes meint die Abgabe an Dritte. Davon ist neben dem Verkauf auch die nicht entgeltliche Abgabe an Dritte erfasst, soweit sie nicht auf eine Weiterverarbeitung im Zuge gentechnischer Arbeiten zielt. Das GenTG macht das Inverkehrbringen eines Produktes, welches aus gentechnisch veränderten Organismen besteht oder diese enthält, nun ebenfalls von einer Genehmigung durch das BVL abhängig. (GENTECHNIKGESETZ (GenTG) 2002, PROJEKTVERBUND KOMMUNIKATIONS-MANAGEMENT IN DER BIOLOGISCHEN SICHERHEITSFORSCHUNG 2003b, Internet).

### **10.1.3 Zulassung gentechnisch veränderter Pflanzen**

Bis April 2002 sind insgesamt etwa 60-70 gentechnisch veränderte Sorten für den Anbau in verschiedenen OECD-Ländern zugelassen worden (DIE VERBRAUCHER-INITIATIVE E.V. 2003, Internet).

Nach Schätzungen des International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications (ISAAA) wurden im Jahr 2002 weltweit insgesamt auf 58,7 Millionen Hektar transgene Sorten kultiviert. Die Flächen befinden sich zu 99 % in nur vier Ländern: den USA 39 Mio. ha, Argentinien 13,5 Mio. ha, Kanada 3,5 Mio. ha und China 2,1 Mio. ha. In größerem Umfang werden bisher die vier Kulturpflanzen Soja

(36,5 Mio. ha), Baumwolle (6,8 Mio. ha), Mais (12,4 Mio. ha) und Raps (3 Mio. ha) angebaut (JAMES 2002, Internet).

Bei den gentechnisch veränderten Merkmalen dominiert mit 75 % die Herbizidresistenz, 17 % entfallen auf Insektenresistenz und 8 % auf Kombinationen von Insektenresistenz und Herbizidresistenz (JAMES 2002, Internet).

### ***Zulassungen und Freisetzungsanträge in der Europäischen Union und in Deutschland***

Bis zum 29. Oktober 2001 wurden auf Grundlage der Richtlinie 90/220/EWG bereits 18 gentechnisch veränderte Organismen in der EU zugelassen. Darunter befanden sich gentechnisch veränderte Nutzpflanzen wie z.B. Rübsen, Soja und Mais, die mit zusätzlichen Herbizid-Resistenzen versehen sind oder eigene Insektizide produzieren.

Im Februar 2003 wurden im Rahmen der neuen Richtlinie erneut 18 gentechnisch veränderte Organismen zur Zulassung eingereicht. Die neu eingereichten Anträge betreffen u.a. Mais, Raps, Zuckerrüben, Soja und Baumwolle. Auch bei diesen Anträgen steht die Herbizidresistenz an erster Stelle. Gentechnische Veränderungen mit einer speziellen Ausrichtung auf den Energiepflanzenbau zur Strom- und Wärmeproduktion liegen bei den eingereichten Genehmigungsanträgen nicht vor (EU 2003, Internet). Auch eine grobe Durchsicht der beim Robert-Koch-Institut vorliegenden Informationen über beantragte Freisetzungen in der EU brachte keine konkreten Ergebnisse (BENDIEK 2003a).

In Deutschland gab und gibt es bisher weder Zulassungs- noch Freisetzungsanträge für gentechnisch veränderte Pflanzen, die speziell auf die Produktion von Strom und Wärme ausgerichtet sind (BENDIEK 2003a, mündlich).

Dementsprechend werden derzeit in Deutschland für die Strom- und Wärmeproduktion keine spezialisierten, gentechnisch veränderten Organismen für den Energiepflanzenanbau verwendet. In den nächsten Jahren ist jedoch bei einer weiter steigenden Nachfrage nach Energiepflanzen auch von der Entwicklung und dem Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen zur Strom- und Wärmeproduktion auszugehen.

Die daraus entstehenden allgemeinen Risiken für Natur und Umwelt dürften den gegenwärtig für den Anbau im Nahrungs- und Futtermittelbereich diskutierten Aspekten, wie z.B. den Folgen eines unkontrollierten Gen-Transfers (ÖKO-INSTITUT .E.V. 2002), entsprechen. Risiken, die sich explizit durch den Anbau von Energiepflanzen ergeben könnten, sind derzeit nicht absehbar und vom jeweiligen Anwendungsbereich sowie der Art der gentechnischen Veränderung abhängig.

Die gentechnische oder konventionelle Züchtung besonders spezialisierter Pflanzensorten könnte zu einer Bevorzugung von einzelnen Kulturen und Sorten führen (z.B. Mais). Dies könnte die Vielfalt im landwirtschaftlichen Anbau weiter einschränken.

## **10.2 Auswirkungen durch eingeführte, nicht einheimische Pflanzen**

Im Energiepflanzenbau wurden in den letzten Jahren zahlreiche Feldversuche mit nicht einheimischen Arten durchgeführt (z.B. Chinaschilf, Sudangras), die auf Grund ihrer Eigenschaften für die energetische Nutzung in Biogasanlagen oder zur Verbrennung in Bioheizkraftwerken in Frage kommen könnten. An-

dere nicht heimische Arten, wie z.B. Mais werden bereits lange als Kulturpflanzen in Deutschland angebaut und finden nun als „Energiepflanze“ lediglich eine weitere neue Verwendungsmöglichkeit.

Von den in Kapitel 1.4.2 aufgeführten Biomassefraktionen, die für die Strom- und Wärmeproduktion aktuell genutzt werden könnten, sind die folgenden Pflanzen als eingeführte, nicht einheimische Pflanzen anzusprechen:

- Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*)
- Hanf (*Cannabis sativa*)
- Mais (*Zea mays*)
- Rutenhirse (*Panicum virgatum* L.)
- Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.)
- Sudangras (*Sorghum sudanense*)
- Topinambur (*Helianthus tuberosus*)
- Zuckerhirse (*Sorghum saccharatum*)

Von den genannten Arten sind keine ökologischen Risiken, wie z.B. eine Verdrängung einheimischer Arten durch eine selbständige Verbreitung oder sonstige, über die Anbaufläche hinausgehende negative Auswirkungen auf die heimische Flora und Fauna bekannt.

Eine Ausnahme bildet lediglich Topinambur, der sich insbesondere auf nährstoffreichen Böden entlang eutrophierter Bäche, auf frischen bis feuchten und warmen Standorten ausbreitet. Er stellt nach Einschätzung des DVWK keine Gefahr für die einheimische Artengesellschaft dar. Zum Teil werden jedoch einzelne Reinbestände problematisch und müssen durch Pflegemaßnahmen reguliert werden (DVWK 1997).

## 11 Kurzumtriebsplantagen zur Energieproduktion

Kurzumtriebsplantagen bieten die Möglichkeit, mit schnellwachsenden Baumarten holzartige Biomasse zur Energiegewinnung zu erzeugen. Für den Anbau kommen vor allem Weiden (*Salix*) und Pappeln (*Populus*) in Frage. Die Vorteile dieser Gehölze sind neben ihrem schnellen Wachstum, die Fähigkeit zum Stockausschlag und die Möglichkeit zur vegetativen Vermehrung. Bei Umtriebszeiten von maximal zehn Jahren und einer großen ökologischen Amplitude können auch Rohböden besiedelt werden (HOFMANN 2002). Normalerweise erfolgt der Umtrieb in Abständen von drei bis vier Jahren (DEIMLING & KALTSCHMITT 2001).

Derzeit ist die Anlage von Kurzumtriebsplantagen wirtschaftlich nicht von Bedeutung, da z.B. Waldenergieholz in großer Menge verfügbar und in der Regel preiswerter zu gewinnen ist (BRÖKELAND 2003, mündlich). Hinzu kommt, dass sich Landwirte mit der Anlage von kurzumtriebigen Gehölzbeständen über Jahrzehnte auf ein Produkt festlegen müssen. In der Regel ist die Bereitschaft dazu nur dann gegeben, wenn bereits vor Anlage der Plantagen feste Abnehmer für das Holz bereit stehen. Derzeit finden sich jedoch kaum Abnehmer für Plantagenholz (LIESEBACH 2003, mündlich). Auf Grund dieser Tatsache ist deshalb kurzfristig nicht mit einer großflächigen Anlage von Kurzumtriebsplantagen zur Strom- und Wärmeenergiegewinnung zu rechnen.

Allerdings könnten Kurzumtriebsplantagen vor allem in waldarmen Regionen eine zusätzliche Alternative zu fossilen Energieträgern darstellen (BRÖKELAND 2003, mündlich). Im Folgenden soll kurz auf die Auswirkungen durch die Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf den Naturschutz eingegangen werden.

### *Auswirkungen auf den Naturschutz*

Kurzumtriebsplantagen werden im Vergleich zu Ackerlebensräumen weniger gestört, so dass sich durch die mehrjährige Ruhephase anspruchsvollere Arten etablieren können. Durch regelmäßige Ernte und kurze Umtriebszeiten erreichen Kurzumtriebsplantagen jedoch nicht die Waldphase. Daher gehen BLICK & BURGER (2002) davon aus, dass sich in Kurzumtriebsplantagen eine niederwaldähnliche Fauna einstellen könnte.

In Bezug auf die Veränderung der Biodiversität durch die Anlage von Kurzumtriebsplantagen gibt es derzeit nur wenige Untersuchungen (LIESEBACH 2003, mündlich). Im Vergleich zu einer vorherigen intensiven Ackernutzung können Kurzumtriebsplantagen demnach zu einer Erhöhung der Artenvielfalt beitragen. Vegetationsaufnahmen von BLICK & BURGER haben ergeben, dass sich in Kurzumtriebsplantagen im Vergleich zu Acker, Wiese oder Brache eine hohe Artenzahl einstellt (BLICK & BURGER 1999). Andererseits würden Kurzumtriebsplantagen, die auf Standorten mit seltenen Ackerwildkrautbeständen angelegt würden, die Populationen der meisten dieser lichtliebenden Arten aufgrund der grundlegenden und langanhaltenden Veränderungen (Schattenwurf, Auflagenbildung, kein Bodenbruch) sehr wahrscheinlich völlig verdrängen. Für die Fauna lassen sich gleichermaßen entsprechende schwerwiegende Veränderungen prognostizieren. Doch fehlen in beiden Fällen umfangreiche, aussagekräftige Untersuchungen zur Problematik.

Für die Fauna ergibt sich beim Vergleich von intensiv genutztem Ackerland, Kurzumtriebsplantagen und einem Fichtenforst, dass sich auf Kurzumtriebsplantagen im Vergleich zum Ackerland die Artenzahl von

Vögeln, Spinnen, Käfern und Insekten erhöht, wobei auch Artenverschiebungen auftreten. Trotzdem sind Kurzumtriebsplantagen artenärmer als Waldstandorte. Vorwiegend sind Arten anzutreffen, deren „klassische“ Lebensräume Feldgehölze und Hecken darstellen, welche über eine Krautschicht und eine grenzlinienreiche Struktur verfügen (LIESEBACH et al. 2003).

Kurzumtriebsplantagen können als Übergänge zwischen Wald und Offenlandschaft fungieren. Wenn sie sich aus unterschiedlichen Baumarten unterschiedlichen Alters zusammensetzen, können sie zur Aufwertung einer agrarisch intensiv genutzten Landschaft für den Vogelbestand beitragen. So ergab eine Kartierung des Sommervogelbestandes in Kurzumtriebsplantagen im Vergleich zur umgebenden Feldflur deutlich mehr vorkommende Arten und eine erhöhte Siedlungsdichte (LIESEBACH et al. 1999).

Als Gründe für die insgesamt größere Artenvielfalt nennt LIESEBACH u.a. die mehrjährige Bodenruhe, den Verzicht auf Pestizide und die Wahl der angepflanzten Baumarten (LIESEBACH 2003, mündlich). Ob allerdings bei massenhaftem Pilz- oder Insektenbefall der in aller Regel monokulturartigen Plantagen auf den Einsatz von Pestiziden verzichtet werden kann bleibt fraglich.

JEDICKE (1998) stellt fest, dass Kurzumtriebsplantagen aus naturschutzfachlicher Sicht weder direkt mit Wald- noch mit Ackerlebensräumen vergleichbar sind, sondern eigene neuartige Landschaftselemente bilden. Am Beispiel der Avifauna weist er darauf hin, dass sich die Artenkombination der Avizönose in Kurzumtriebsplantagen in keinem anderen Habitattyp in dieser Ausprägung wiederfindet.

Zu weiteren Ausführungen bezüglich der Wirkfaktoren beim Anbau von Pappel-Kurzumtriebsplantagen auf die abiotischen Schutzgüter Wasser, Boden, Klima, Luft und Landschaftsbild sowie ergänzende Angaben zu den biotischen Schutzgütern Pflanzen, Tiere und Biotope, sei auf die aktuelle Arbeit von SCHEURLEN et al. (2003) im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) verwiesen.

## 12 Auswirkungen der Biomasseproduktion auf das Landschaftsbild

Das Bild der europäischen Kulturlandschaft wird seit Jahrhunderten durch anthropogene land- und forstwirtschaftliche Bewirtschaftungsweisen geprägt. Auch wenn derzeit in Deutschland für Siedlung, Verkehr und Gewerbe pro Tag durchschnittlich 105 Hektar landwirtschaftliche Fläche überbaut werden (LAND & FORST 2003d), bleiben die Landwirtschaft mit ca. 54 % (KNICKEL et al. 2001) und die Forstwirtschaft mit knapp 30 % (BMELF 2000 a oder b) an der Fläche Deutschlands auch weiterhin in hohem Maße für das Landschaftsbild bestimmend.

In den letzten Jahrzehnten war die Entwicklung in der Landwirtschaft insbesondere durch eine Intensivierung der Bewirtschaftung und die Zunahme von Schlaggrößen sowie immer weiter eingeeengte Fruchtfolgen gekennzeichnet. Die Flurbereinigung führte zu einer Angleichung von Standortbedingungen und der Beseitigung vielfältiger Kleinstrukturen. In der Konsequenz sind vielerorts homogene, ausgeräumte Landschaften entstanden, die jeglicher regionalen Eigenart entbehren und nur noch eine reduzierte Arten- und Strukturvielfalt aufweisen.

In der Forstwirtschaft setzte dem gegenüber seit etwa Anfang der 90er Jahre ein Trend zur Umwandlung von monotonen Nadelforsten hin zu abwechslungsreichen Laubmischwäldern ein, der sich positiv auf die Landschaftswahrnehmung auswirkt. Dieser Waldumbau wird von einer leichten Zunahme der Waldflächen in Deutschland begleitet (LAND & FORST 2003d).

Da das Bild der Landschaft stets die Art und Intensität der anthropogenen Landnutzung widerspiegelt, sind auch mit dem Anbau bzw. der energetischen Verwertung von Biomasse aus der Land- und Forstwirtschaft Veränderungen für das Landschaftsbild zu erwarten. Die Beeinflussung des Landschaftsbildes durch die Biomassenutzung ist von zahlreichen Faktoren abhängig, welche in erster Linie mit der Wirtschaftlichkeit der Bereitstellungsketten zur Erzeugung und Nutzung von Biomasse zusammenhängen. Anbauumfang, Anbauverfahren oder die Verwendung neuer Kulturpflanzenarten und -sorten in der Landwirtschaft sind nicht im Detail vorauszusagen. Zudem ist eine qualitative Bewertung der tatsächlichen Auswirkungen einer energetischen Biomassenutzung auf das Landschaftsbild letztendlich nur anhand eines konkreten Landschaftsraumes, nicht aber unabhängig vom Standort möglich.

An dieser Stelle können trotzdem einige nahe liegende Entwicklungstendenzen, die das Landschaftsbild betreffen, in allgemeiner Form angeführt werden. Dazu soll anhand von Beispielen verdeutlicht werden, in welcher Weise Eigenart, Vielfalt und Schönheit der Landschaft von diesen Neuerungen betroffen sein könnten.

### ***Beeinflussung des Landschaftsbildes durch hochwüchsige Kulturen und Aufforstungen***

Unter hochwüchsigen Kulturen sind ein- oder mehrjährige landwirtschaftliche Kulturen zu verstehen, die eine Bestandshöhe von 2 m erreichen und z.T. deutlich übersteigen. Zu diesen Kulturen können z.B. Chinaschilf (bis 4 m), Rutenhirse (bis 2,50 m), Hanf (bis 4 m) und Mais (ca. 3-4 m) gezählt werden (Angabe der Wuchshöhen nach KALTSCHMITT & HARTMANN 2001). Des Weiteren können Kurzumtriebsplantagen aus Pappeln und Weiden, mit Wuchshöhen von bis zu 7 m im 4. Bestandsjahr, sowie Aufforstungen mit Wuchshöhen über 25 m das Landschaftsbild nachhaltig verändern.

Hochwüchsige Pflanzenbestände können die Sicht einschränken und in Abhängigkeit vom Relief wichtige Blickbeziehungen in der Landschaft verstellen. Die Wahrscheinlichkeit von Sichteinschränkungen verstärkt sich mit zunehmenden Bestandeshöhen und Flächengrößen der genannten Kulturen und Bestände. Während landwirtschaftliche Kulturen halmgutartiger Energieträger mit ihren Wuchshöhen die Horizontlinie kaum durchbrechen (SCHEURLEN et al. 2003), wirken Dauerkulturen wie z.B. Pappel-Kurzumtriebsplantagen mit mehrjährigen Umtriebszeiten sowie Aufforstungen auch auf weitere Distanz als Sichthindernisse. Zudem könnte es zu einer Akkumulation der sichteinschränkenden Wirkungen durch den Anbau mehrerer verschiedener hochwüchsiger Pflanzenbestände in einer Region kommen. Große Flächenanteile solcher Bestände könnten den Anteil Struktur bildender Elemente eines betrachteten Landschaftsraumes über ein allgemein als „schön“ wahrgenommenes Maß hinaus erhöhen und damit die Wahrnehmung der Landschaft negativ beeinflussen (Wöbse 2002).

Die „Belastbarkeit“ eines Landschaftsraumes mit zusätzlichen, Struktur bildenden Beständen ist in hohem Maße von der Gestalt des vorhandenen Landschaftsraumes abhängig. In ausgeräumten Agrarlandschaften mit nur gering ausgeprägtem Relief können hochwüchsige Kulturen bis zu einem gewissen Grad zur strukturellen Anreicherung der Landschaft beitragen und die Wahrnehmung der Landschaft ggf. positiv beeinflussen. Übersteigt die Ausdehnung einen bestimmten Anteil an der Gesamtfläche, kann die Eigenart der Landschaft durch die großflächigen und kompakten Strukturen deutlich überprägt werden und die Dominanz der neuen Bestände als negativ empfunden werden. So weist beispielsweise WÖBSE darauf hin, dass eine Landschaft als düster oder einengend wahrgenommen wird, wenn der Waldanteil in ebener Fläche auf über 40 % ansteigt (WÖBSE 2002).

Sind bereits vielfältige Landschaftselemente vorhanden, die in einem harmonischen Verhältnis zueinander stehen und die Eigenart der Landschaft prägen, so ist die Wahrscheinlichkeit, durch kleinflächige Eingriffe eine negative Wirkung auf das Landschaftsbild zu erzeugen, als deutlich geringer einzuschätzen (WÖBSE 2002).

Ein weiterer, als negativ empfundener Aspekt tritt auf, wenn hochwüchsige Dauerkulturen in jährlichen oder mehrjährigen Abständen geerntet werden. Der abrupte Wechsel von hohen Beständen zu niedrigen, abgeernteten Flächen und die damit verbundene schnelle Veränderung der räumlichen Wirkung erschweren die Anpassung des Beobachters an den landschaftlichen Wandel.

Werden Kurzumtriebsplantagen z.B. so angelegt, dass sie als Übergang einer Waldfläche zur Offenlandschaft fungieren, könnten sie sich durchaus dem Charakter der Landschaft anpassen. Auf diese Weise können monotone Übergänge zwischen Wald und Freifläche gemildert werden. Auch bei Aufforstungen sind die Auswirkungen auf die regionale Eigenart der Landschaft zu beachten. In Regionen, deren Eigenart sich auf einer offenen Landschaft mit weiten Sichtbeziehungen, bzw. dem vielfältigen Wechsel halb-offener Strukturen begründet, sind Aufforstungen aus landschaftsästhetischer Sicht nur bedingt möglich. Sie sollten sensibel in die Landschaft eingefügt werden und vorhandene Sichtbeziehungen nicht unterbrechen. Zumeist finden Aufforstungen in Regionen statt, die bereits einen hohen Waldanteil aufweisen. Innerhalb von Wäldern und Forsten sollten Lichtungen und offene Bereiche für ein abwechslungsreiches Landschaftserleben erhalten bleiben.

### ***Der Einfluss des Energiepflanzenanbaus auf die Kulturpflanzenvielfalt***

Eine exakte Prognose, inwieweit der Anbau von Pflanzen zur energetischen Nutzung zu einer größeren Kulturpflanzenvielfalt beiträgt, kann derzeit nicht getroffen werden. Einerseits bietet die grundsätzlich

vorhandene, breit gefächerte Palette energetisch nutzbarer Pflanzenarten die Möglichkeit, mehr Vielfalt in den landwirtschaftlichen Anbau zu integrieren. Andererseits ist eine starke Tendenz zur wirtschaftlichen Optimierung von Anbauverfahren erkennbar, die eher zum Anbau von nur wenigen ausgewählten Kulturen in großen Flächeneinheiten zu führen scheint. Beide Varianten sollen daher kurz in Bezug auf ihre potenzielle Wirkung auf das Landschaftsbild skizziert werden.

Eine Erhöhung der Kulturpflanzenvielfalt durch den Energiepflanzenanbau würde bedeuten, dass Arten zum Einsatz kommen, die aktuell im Anbau kaum relevant sind. Dies können Arten sein, die bereits früher ackerbaulich genutzt wurden, aber auch Pflanzen, die in Deutschland neu als Kulturpflanzen eingeführt werden. Solche „Exoten“ könnten ggf. die regionale Eigenart einer Landschaft verändern, andererseits aber z.B. durch ihre Wuchsformen, Blüten oder Früchte neue Reize bieten, die sich positiv auf die Vielfalt und das Landschaftserleben auswirken können. Eine positive Wirkung auf das Landschaftsbild durch eine Kulturpflanzenvielfalt auf landwirtschaftlichen Flächen kann auch durch den Mischanbau (z.B. Sonnenblume und Mais), den Mehrkulturanbau, die Verwendung von Untersaaten, die größere Toleranz gegenüber Wildpflanzen und den verstärkten Anbau von Zwischenfrüchten erhöht werden. Positive Aspekte sind verstärkt zu erwarten, wenn Flächen in kleinräumigem Wechsel und in unterschiedlichen Anbauvarianten genutzt werden. Eine Mischung land- und forstwirtschaftlicher Strukturen mit so genannte Agroforsten oder Anbau in Alley-Cropping bzw. Intercropping stellt in diesem Zusammenhang mögliche Alternativen dar.

Sollte sich die Nutzung von Energiepflanzen dagegen im Wesentlichen auf bereits heute zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion verwendete Kulturen beschränken, so könnte dies zu einer weiteren Homogenisierung des Landschaftsbildes führen. Insbesondere bei einer Ausweitung des Maisanbaus wird diese Entwicklung in einigen Regionen zu einer starken Dominanz einer oder weniger Kulturen führen. Für diese These spricht, dass Mais sich sowohl als Futterpflanze sowie auch als Energiepflanze sehr gut eignet. Die Dominanz von nur wenigen Kulturen, verstärkt durch einen Mangel an strukturierenden Elementen außerhalb der landwirtschaftlichen Flächen, wird durch einen Betrachter jedoch in der Regel als wenig attraktiv empfunden.

### ***Veränderung des Landschaftsbildes durch bauliche Anlagen***

Die Eigenart einer Landschaft wird nach WÖBSE (2002) sowohl von natürlichen als auch von anthropogenen Elementen bestimmt. Sie beschränkt sich jedoch nicht nur auf die optische Wahrnehmung, sondern ist auch durch landschaftstypische Geräusche und Gerüche geprägt.

Ein nicht zu vernachlässigender Faktor mit einem starken Einfluss auf das Landschaftsbild sind die bei der Biomassennutzung notwendigen Energieanlagen und -speicher wie z.B. Heizkraftwerke, Biogasanlagen und Silos, die je nach Größe und baulicher Lage das Landschaftsbild technisch überprägen bzw. beeinflussen können. Besonders bei Biogasanlagen können, abhängig vom eingesetzten Substrat und der Qualität der Gärprozesse, auch mehr oder minder große olfaktorische Beeinträchtigungen entstehen.

## **13 Synergieansätze zwischen Naturschutz und Biomassenutzung**

Anhand von Praxisbeispielen soll auf den folgenden Seiten der Frage nachgegangen werden, inwieweit durch eine energetische Nutzung von Biomasse gleichzeitig Vorteile für den Naturschutz zu erreichen sind. Dabei stehen an dieser Stelle die für den Naturschutz bedeutsamen Biotoptypen (Extensiv)-Grünland, Niedermoore, Wallhecken und Knicks sowie Nieder- und Mittelwälder im Zentrum der Betrachtung. Der Erhalt dieser Biotoptypen ist von einer dauerhaften Nutzung bzw. Pflege abhängig, wobei die Bewirtschaftungskosten in der Regel die zu erwirtschaftenden Erträge weit übersteigen. Eine mögliche energetische Verwertung der auf diesen Flächen aufwachsenden Biomasse könnte zu einer Minderung der anfallenden Pflegekosten beitragen. Dies gilt auch für weitere pflegeintensive Naturschutzflächen, bei denen regelmäßig Schnittgut anfällt, welches bisher aufwändig und kostenintensiv entsorgt werden muss.

Neben den hier genannten Synergien aus der Nutzung und Pflege von Naturschutzflächen, sind durch die energetische Nutzung von Biomasse weitere positive Veränderungen für den Naturschutz möglich. Diese Aspekte sind in den Kapiteln 7-9 mit aufgeführt.

### **13.1 Grünlandpflege durch energetische Nutzung des Schnittgutes**

Die landwirtschaftliche Struktur in Deutschland unterliegt einem kontinuierlichen Wandel, der durch die aktuell beschlossenen Änderungen in der EU-Agrarpolitik eine zunehmende Dynamik entwickeln wird. Von den Veränderungen sind vor allem landwirtschaftliche Flächen betroffen, die ein geringes wirtschaftliches Ertragspotenzial aufweisen und deshalb ggf. ganz aus der Bewirtschaftung genommen werden (DEIMLING & KALTSCHMITT 2001). Darunter befinden sich zahlreiche extensiv genutzte Grünlandstandorte, bei denen eine Nutzungsaufgabe zu einem deutlichen Artenrückgang führen würde. Der Erhalt der vorhandenen extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen ist aus Sicht des Naturschutzes von großer Bedeutung, da diese als wichtige Rückzugsräume eine hohe Bedeutung für eine Vielzahl gefährdeter Arten haben (KORNECK et al. 1998). Neben besonders feuchten und sehr trockenen Grünlandtypen gelten inzwischen auch die artenreichen Varianten mesophilen Grünlandes als stark gefährdete Biotope (vgl. RIECKEN et al. 1994).

Der Möglichkeit Grünlandflächen nach naturschutzfachlichen Zielsetzungen zu pflegen, sind finanziell enge Grenzen gesetzt. Es stellt sich daher die Frage, welche Alternativen sich für eine wirtschaftlich tragfähige Nutzung anbieten, bzw. welche Nutzungskonzepte zumindest teilweise zur Deckung von Pflegekosten beitragen könnten. In diesem Zusammenhang wird u.a. diskutiert, welchen wirtschaftlichen Beitrag die energetische Nutzung von Grasschnitt in Biogasanlagen zur Offenhaltung und Pflege von Grünland leisten kann.

#### **13.1.1 Die Vergärung von Gras in Biogasanlagen**

Zur Vergärung von Biomasse in Biogasanlagen stellt die Nassvergärung die in der Praxis am weitesten verbreitete und ausgereifteste Technik, daher beziehen sich die folgenden Ausführungen zur Grasvergärung ausschließlich auf dieses Verfahren. Weitere denkbare Perspektiven zur Vergärung von Gras können Verfahren wie die Trockenvergärung oder das Konzept der Bioraffinerie darstellen. Diese befinden sich aber erst in der Entwicklungsphase, so dass durch diese Verfahren in den nächsten Jahren keine nennenswerte Verwertung von Grasschnitt zu erwarten ist (siehe Kapitel 3.5).

Bei der energetischen Verwertung von Biomasse steht die Wirtschaftlichkeit der Anlagen im Vordergrund. Da die alleinige Vergärung von reiner Gülle selten wirtschaftlich zu betreiben ist, nutzen viele Betreiber energiereiche Abfallstoffe, wie z.B. Fette, Speisereste oder Schlachtabfälle als Kofermente. Der Einsatz dieser Stoffe birgt jedoch hygienische Risiken, die verschärfte gesetzliche Auflagen nach sich ziehen. So sind die eingesetzten Kofermente zu pasteurisieren, von Störstoffen zu befreien und unterliegen einer verstärkten Kontrolle bezüglich ihrer Inhaltsstoffe (LEMMER 2003, mündlich). Mit der steigenden Anzahl an Biogasanlagen ist die kostengünstige Verfügbarkeit energiereicher Stoffe zudem immer weniger gegeben. Beides zusammen führt zu steigenden Kosten bei der Biogaserzeugung aus energiereichen Substraten. Als Alternative bietet sich für viele Betreiber die Kofermentation von nachwachsenden Rohstoffen wie Silomais, aber auch die Vergärung von Gras an.

Gras fällt z.B. bei der Bewirtschaftung von landwirtschaftlich genutztem Grünland, der Pflege von Extensivgrünland auf Naturschutzflächen oder der Pflege kommunaler Grünflächen (Sportplätze, Parkanlagen) an. Auf Grund fehlender Nutzungsalternativen stellt das Schnittgut oft ein kostenträchtiges Entsorgungsproblem dar. So fallen zum Beispiel allein in Baden-Württemberg jährlich ca. 900.000 t Grüngut von Naturschutz- und Biotopflächen und 300.000 t kommunale Grünabfälle an (LEMMER 2003, mündlich).

Auch in der Landwirtschaft steigen bei den auf Grünland wirtschaftenden Milchviehbetrieben die Anteile von überschüssigem Grünlandaufwuchs, da das Gras aus qualitativen oder quantitativen Gründen nicht mehr verfüttert werden kann. Grund dafür ist die steigende Milchleistung pro Kuh bei einer konstant bleibenden bzw. zukünftig nur leicht steigenden EU-Milchquote. Dies führt zwangsläufig zu einer Reduzierung der Tierbestände. Ende 2002 gab es in Deutschland noch 4,37 Mio. Milchkühe. Das sind 2,3 % weniger als Ende 2001 und 17,5 % weniger als Ende 1992 (LAND & FORST 2003f).

Des Weiteren kann auf Stilllegungsflächen angebautes Feldgras zur energetischen Verwertung in Biogasanlagen genutzt werden. Gras steht demnach an vielen Standorten als Substrat zur Kofermentation grundsätzlich zur Verfügung.

Die Vergärung von Gras in konventionellen Nassvergärungsanlagen ist jedoch aus technischen Gründen nur in begrenztem Rahmen möglich. So darf der Trockensubstanz-Gehalt der Gülle-Gras-Mischung bei Biogasanlagen, die allein für die Vergärung von Flüssigmist ausgelegt sind, 10 % nicht übersteigen. Anlagen, die speziell für die Grasvergärung geeignet sind, können einen TS-Anteil von bis zu 12 % verarbeiten. Bei höheren Zugaben kann die Homogenisierung des Substrates und der Austrieb des Gases nicht mehr sichergestellt werden. Bei der Zugabe von hohen Grasanteilen ist der Vergärungsprozess in der Anlage sehr genau zu überwachen, da sich beim Ausfall des Rührwerkes das Substratgemisch innerhalb weniger Stunden stark ausdehnen und die Anlage beschädigen kann (LEMMER & OECHSNER 2003).

### **13.1.2 Die Bedeutung der Qualität von Grünlandaufwüchsen**

Welche Substrate zur Kofermentation in einer Biogasanlage genutzt werden, hängt neben der Verfügbarkeit der Rohstoffe vor allem von deren Qualität im Bezug auf die Gaserträge ab. Eine gute Übersicht zu den unterschiedlichen Qualitäten verschiedener Grünlandtypen im Vergleich zu Silomais geben die Ergebnisse von Fermentierungsversuchen an der Universität Hohenheim (LEMMER & OECHSNER 2001). Dabei wurden die folgenden Biomassefraktionen untersucht:

- Mähgut von ungedüngten und im September gemähten Naturschutzgebieten
- Grassilage von extensivem Grünland (2 Schnitte)
- Grassilage von intensivem Grünland (4 Schnitte)
- Rasenschnitt eines Golfplatzes (Greens) mit einer Düngung von 450kg Stickstoff/ha/a und täglichem Schnitt
- Silomais

Zunächst konnte festgestellt werden, dass die Gesamtenergiegehalte aller Fraktionen pro kg organischer Trockensubstanz (oTS) in etwa auf dem gleichen Niveau liegen. Die größte Differenz ergibt sich zwischen Silomais mit 19,4 MJ/kg oTS und Rasenschnitt mit 20,6 MJ/kg oTS (Abbildung 18).

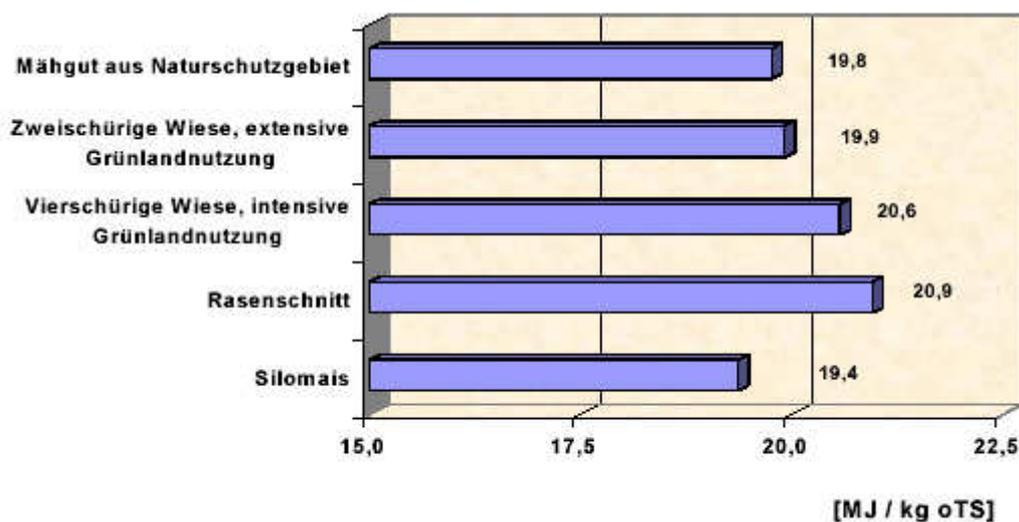


Abb. 18: Gesamtenergiegehalt silierter Aufwüchse verschiedener Nutzungsformen (LEMMER & OECHSNER 2001)

Deutliche Unterschiede zeigen sich jedoch bei dem Vergleich der Methanerträge pro Kilogramm eingesetzter organischer Trockensubstanz (oTS). Abbildung 19 ist zu entnehmen, dass der Methanertrag von Naturschutz-Mähgut vergleichsweise niedrig ausfällt und sogar noch deutlich unter den Gaserträgen von Rindergülle liegt. Die höchsten Methanerträge liefert die Grassilage von intensiv genutztem Grünland mit 0,39 m<sup>3</sup>/kg oTS. Der Grund für die nachlassende Energieausbeute mit zunehmendem Alter der zu erntenden Biomasse ist der ansteigende Rohfasergehalt in den vegetativen Pflanzenbestandteilen.

Im Laufe der Vegetationsperiode steigen Rohfaser- und Energiegehalt in den Gräsern an und erreichen etwa Ende Juli ihren Höchstwert. Der Hauptzuwachs ist jedoch bereits zwischen Ende Mai bis Ende Juni erreicht. Im Gegensatz dazu sinkt der Anteil der in einer Biogasanlage verwertbaren Energie in dieser Zeit kontinuierlich. Von der vorhandenen Energie in den Gräsern kann also immer weniger umgesetzt werden, je später der Schnitt erfolgt.

Auch ein zu enges Verhältnis von Kohlenstoff- zu Stickstoff (C:N-Verhältnis) in der zu vergärenden Biomasse kann eine optimale Energieumsetzung von Grünschnitt in einer Biogasanlage verhindern. Das Schnittgut des gedüngten Golfgrases wies in der Untersuchung höhere Rohproteingehalte und niedrigere Rohfasergehalte als die Grassilage von intensiv genutztem Grünland auf, die Methanausbeute fällt mit 0,26 m<sup>3</sup>/kg oTS jedoch deutlich geringer aus.

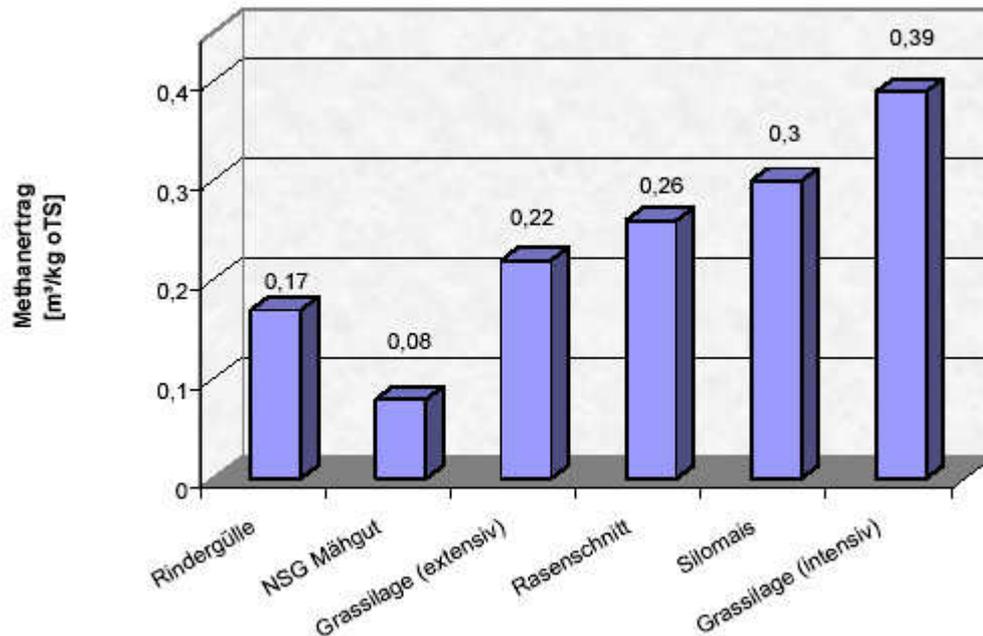


Abb. 19: Methanerträge silierten Aufwüchse verschiedener Nutzungsformen, Labor-Durchflussversuche, mesophile Vergärung bei 25 Tagen Verweildauer (LEMMER & OECHSNER 2001).

### 13.1.3 Die Wirtschaftlichkeit der Grasvergärung

Eine verringerte Energieausbeute hat weit reichende Konsequenzen für die Rentabilität des Einsatzes von Grasschnitt als Koferment in Biogasanlagen.

LEMMER & OECHSNER (2003) kalkulierten anhand eines Beispielbetriebes mit 100 Großvieheinheiten (GVE) die Wirtschaftlichkeit der Stromproduktion in einer neu gebauten Biogasanlage. Dabei wurde Rindergülle wahlweise mit

- intensiv erzeugtem Gras einer 4-schürigen Wiese (TM-Ertrag: 125dt/ha),
- extensiv erzeugtem Gras einer 2-schürigen Wiese (TM-Ertrag: 65dt/ha) und
- dem Aufwuchs aus einem Naturschutzgebiet (TM-Ertrag: 15dt/ha)

fermentiert und die Ergebnisse verglichen.

In einem Betrieb mit 100 GVE fallen täglich etwa 5 m³ Flüssigmist an. Setzt man eine Anlage mit der Verarbeitungsgrenze von 10 % TS-Gehalt voraus, so kann eine Grassilagemenge (35 % TS) von 1,2 dt pro m³ Flüssigmist (8 % TS) als Koferment eingesetzt werden. Pro Tag ergibt dies eine mögliche Zugabe von 6 dt Grassilage. Um diese Mengen in dem Beispielbetrieb zu erzeugen, wären bei den oben angegebenen Grünlanderträgen jeweils die folgenden Flächengrößen zu bewirtschaften:

- 4-schürige Wiese (intensiv) = 7,23 ha
- 2-schürigen Wiese (extensiv) = 13,9 ha

- Aufwuchs Naturschutzgebiet = 60,23 ha

Bei einer Verarbeitungsgrenze von 12 % TS-Gehalt in der Anlage, können sich die verwertbare Silagemenge und die dafür zu bewirtschaftenden Flächen nahezu verdoppeln (LEMMER & OECHSNER 2003).

Nach den in der Kalkulation vorgegebenen Rahmenbedingungen kommen LEMMER & OECHSNER (2003) zu dem Schluss, dass die Anlage nur bei der Verwendung von intensiv genutztem Grünland wirtschaftlich betrieben werden kann. Bei der Verwendung von extensiv erzeugtem Grünland sowie bei Aufwüchsen von Naturschutzflächen sind Ausgleichszahlungen von etwa 300,- bis 350,- € als Voraussetzung für eine wirtschaftliche Grünlandnutzung genannt. Bei der Berücksichtigung aller Kosten inklusive des Neubaus der Anlage sind demnach bei der Nutzung von Grasschnitt als Koferment insgesamt keine allzu großen Gewinne zu erwarten (LEMMER & OECHSNER 2003).

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen KEYMER & SCHILCHER (2000), welche die Wirtschaftlichkeit der Verstromung von Grassilage als Zusatz in einer bestehenden Anlage mit freien Fermenter-Kapazitäten berechnet haben. Der Grasschnitt wurde dabei für 3-schüriges und 4-schüriges Intensivgrünland jeweils mit mittleren und hohen Erträgen kalkuliert. Es bleiben zwar je nach Bewirtschaftung und Ertrag umgerechnet zwischen ca. 150,- und 240,- € als Deckungsbeitrag pro Hektar übrig, jedoch weisen die Autoren ausdrücklich darauf hin, dass dies nur bei freien Kapazitäten in einer bestehenden Anlage der Fall ist. Werden zusätzliche Investitionen in die Anlage notwendig und verteilt man diese auf die durchschnittliche Nutzungsdauer, so ist die Wirtschaftlichkeit nicht mehr gegeben (KEYMER & SCHILCHER 2000).

In einer weiteren Beispielkalkulation berechnet CARIUS (2001) die Erträge aus einer Kofermentation von Rinder- und Schweinegülle mit Grasschnitt von 2-schürigem feuchten Extensivgrünland (Ertrag: 50 t/ha) ergänzt durch den Aufwuchs von Futtergras auf 12 ha Stilllegungsfläche. Unter Einbeziehung der Anlagekosten ergibt sich laut CARIUS eine Kapitalverzinsung von 1,6 %, die jedoch im Vergleich mit anderen Anlagemöglichkeiten betriebswirtschaftlich als unrentabel angesehen werden muss (CARIUS 2001).

Ausgehend von diesem Ergebnis betrachtet SCHWEPPE-KRAFT (2003) die Kosten und Erträge aus volkswirtschaftlicher Sicht. Er bezieht dazu Pflegekosten für Extensivgrünland in die Kalkulation mit ein. Zum einen zieht er den Förderbetrag von 137,33 € heran, der in etwa der Förderung für mäßig extensiv bewirtschaftetes Grünland mit maximal 1,4 GVE/ha entspricht. Andererseits nimmt er einen Betrag von 400,- € als Kostenansatz für andere alternative Verwertungsoptionen von Grünlandaufwuchs an (SCHWEPPE-KRAFT 2003). Wird die Einsparung dieser Kosten in die Berechnung der Biogasproduktion aus Grasschnitt einbezogen, so ergibt sich volkswirtschaftlich gesehen eine Verzinsung von 5 % bzw. 10,7 %. Demnach ließen sich aus volkswirtschaftlicher Sicht durch die Verwertung von Pflegeaufwuchs extensiver Grünlandflächen in Biogasanlagen Kosten für die Grünlandpflege einsparen (SCHWEPPE-KRAFT 2003).

Einschränkend weist SCHWEPPE-KRAFT (2003) darauf hin, dass diese günstigen Kapitalverzinsungen nur erreicht werden können, wenn auch eine betriebswirtschaftliche Rentabilität erreicht wird. Dies verlangt u.a. eine sinnvolle Kombination von Fördermöglichkeiten vor Ort und eine Abstimmung der Grünlandförderung mit den Fördermaßnahmen für Biogasanlagen.

Im neuen EEG (2004) ist eine deutliche Erhöhung der Vergütungssätze für Strom aus Biogasanlagen vorgesehen, soweit der Strom ausschließlich aus Pflanzen- und Pflanzenbestandteilen im Sinne der Biomasse-Verordnung und/oder aus Gülle gewonnen wird. Nach Ansicht des allerdings nicht zur Deckung der aus. Der Fachverband Biogas beziffert die tatsächlichen Mehrkosten bei der ausschließlichen Ver-

wendung nachwachsender Rohstoffe je nach Anlagengröße auf 6-8 ct/kWh (FACHVERBAND BIOGAS 2003). Da die Vergütungssätze nach dem neuen EEG diesen Werten vergleichbar sind, könnte die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen erreicht sein. Unabhängig davon ist die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen damit nach wie vor in erster Linie von den jeweiligen Rahmenbedingungen des Einzelfalles abhängig.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es für eine reine Grasvergärung derzeit (2003) keine marktgängigen technischen Anlagen gibt, die wirtschaftlich zu betreiben sind. Durch die Neuregelung des EEG (2004) dürfte allerdings eine wesentliche Verbesserung eingetreten sein.

Eine Kofermentation von Grasschnitt kann bis zu einem TS-Gehalt des Gärsubstrates von etwa 12 % in der Biogasanlage erfolgen. Sie ist in der Regel jedoch nur betriebswirtschaftlich tragbar, wenn Grasschnitt von intensiv bewirtschafteten Flächen verwertet wird und freie Kapazitäten in einer bestehenden Anlage vorhanden sind. Hat ein Landwirt die Wahl zwischen Grasschnitt und Maissilage, wird er den Mais auf Grund der deutlich höheren Gasausbeute dem Gras vorziehen. Für Regionen, in denen sich ein Maisanbau auf Grund der Standortbedingungen nicht anbietet, kann Gras jedoch als eine Alternative zur Kofermentation in Frage kommen. Grasschnitt extensiv genutzter Grünlandflächen wird vermutlich nur selten und dann in kleinen Mengen zur Anwendung kommen. Es bestehen allerdings Chancen auf eine Erweiterung der Grasvergärung, wenn Fördermaßnahmen aus den Bereichen Naturschutz, Landwirtschaft und erneuerbaren Energien sinnvoll aufeinander abgestimmt werden können. SCHWEPPE-KRAFT (2003) führt als Beispiel dazu die Anpassung der Vertragsdauer für Extensivierungsprämien von bisher fünf Jahren an einen für die Kalkulation von Biogasanlagen angemessenen Zeitraum an.

### **13.2 Energetische Holznutzung – neue Impulse für den Erhalt von Nieder- und Mittelwäldern?**

Nieder- und Mittelwälder sind durch menschliche Nutzungseingriffe entstandene und erhaltene traditionelle Waldformationen, die seit der frühen Eisenzeit nachzuweisen sind (ELLENBERG 1996; KÜSTER 1999). Ab dem 5. Jahrhundert n. Chr. wurden zur Produktion von Bauholz im Wald einige Bäume, so genannte „Überhälter“, vom Umtrieb ausgenommen und somit die Mittelwald-Nutzung initiiert (ELLENBERG 1996). Vom Mittelalter bis in die Neuzeit waren die Nieder- und Mittelwälder daher weit verbreitet (KÜSTER 1999).

Sie sind als besonders artenreiche Lebensräume der Kulturlandschaft aus Sicht des Arten- und Biotopschutzes als hochwertig bis sehr hochwertig einzuschätzen (GROSSER & QUITT 1998; ROSSMANN 1996). Die Niederwald-Nutzung bietet bei planmäßiger Anordnung der Schläge für lichtliebende Arten der Flora und Fauna gute Lebensbedingungen. Die im Kopfholzbetrieb entstehenden Wuchsformen können darüber hinaus für Arten der Fauna, z.B. für den Steinkauz von Bedeutung sein (GROSSER & QUITT 1998).

Der Mittelwald bildet eine Zwischenform von Nieder- und Hochwald. Die Niederwald-Wirtschaft ist durch Umtrieb in kurzen Abständen gekennzeichnet. Die Gehölzbestände werden periodisch auf den Stock gesetzt und regenerieren sich durch Ausschläge an den nach dem Hieb verbliebenen vegetativen Gehölzteilen. Der Bestand eines Mittelwaldes setzt sich aus einer niederwaldartig genutzten Strauch-

schicht und Oberholz aus durchgewachsenen Sämlingen oder Stockausschlägen, den „Überhältern“, zusammen (ROSSMANN 1996).

Bei der Mittelwald-Wirtschaft entstehen durch die periodisch genutzten Schläge eines Bestandes immer wieder konkurrenzarme Pionierstandorte sowie Saum-, Gebüsch- und Waldstadien. So verfügen die Mittelwald-Bestände im Allgemeinen über eine äußerst artenreiche Krautschicht, die vor allem aus lichtliebenden Pflanzen besteht. Für wärmeliebende Tierarten entstehen wertvolle und geschützte Habitate. Hervorzuheben ist hierbei die Bedeutung der Wälder für xylobionte Käfer sowie für die Vogel- und Schmetterlingsfauna (TREIBER 2002; ELLENBERG 1996; COCH & MÜLLER-BAUERFEIND 2002).

Im letzten Jahrhundert verlor die Nieder- und Mittelwaldnutzung allerdings durch die zunehmende Nutzung der fossilen Brennstoffe Kohle, Öl und Gas zur Energieversorgung und die steigenden Erträge in der Nahrungs- und Futtermittelproduktion durch den Einsatz von Mineraldünger weitgehend an Bedeutung. In Folge dessen wurde die traditionelle Nutzung der Ausschlagwälder weitgehend aufgegeben und die Bestände in Hochwälder überführt (ELLENBERG 1996; ROSSMANN 1996).

Aus Sicht des Naturschutzes ist die Erhaltung bzw. Wiederaufnahme der Nieder- und Mittelwaldnutzung auf Grund der besonderen Habitatvielfalt und des daraus resultierenden Artenreichtums besonders erstrebenswert, wobei der Mittelwaldnutzung auf Grund des größeren Struktureichtums im Allgemeinen eine höhere Wertigkeit zu geben ist.

Über die noch bestehenden Nieder- und Mittelwälder in Deutschland gibt es keine genauen statistischen Angaben. Der Nationale Waldbericht der Bundesrepublik gibt für beide Waldnutzungsformen pauschal einen Anteil von 1 % des Wirtschaftswaldes an (BMELF 1994).

### ***Holz hackschnitzel aus der Mittelwaldnutzung***

Die Mittelwaldwirtschaft kann derzeit nicht kostendeckend betrieben werden (FISCHER 2003). Mit einer zunehmenden Nachfrage nach Holz hackschnitzeln für die Wärme- und Stromproduktion könnten sich für die Pflege der verbliebenen Nieder- und Mittelwälder jedoch neue Perspektiven ergeben, zumindest einen Teil der Bewirtschaftungskosten durch den Verkauf von Hackschnitzeln auszugleichen.

An einem Beispiel aus Niedersachsen soll deshalb herausgearbeitet werden, inwieweit die Bewirtschaftung eines Mittelwaldbestandes zur Zeit Erträge durch die Holzvermarktung erwirtschaften kann.

Das Forstamt Liebenburg bewirtschaftet im Salzgitter-Höhenzug im Rahmen des Niedersächsischen Waldprogrammes seit 1986 wieder ca. 250 Hektar Mittelwald mit dem Ziel, diese historischen Waldformen zu erhalten. Bis in die 1960er Jahre hinein war dort die Mittelwaldnutzung auf flachgründigen, trockenen und kalkreichen Standorten eine für diesen Landschaftsraum typische Bewirtschaftungsform. Nach Aufgabe der Bewirtschaftung sind die Bestände durchgewachsen und in ihrer Struktur kaum noch von Hochwald zu unterscheiden. Der Bestand setzte sich ehemals vor allem aus Eiche und Hainbuche zusammen, heute sind zunehmend Ahorn und Eschen prägend (FISCHER 2003).

Die Umtriebszeiten für Niederwälder und die Strauchschicht der Mittelwälder schwanken je nach Standortbedingungen und Baumart. Weidenarten können in Abständen von 1 bis 6 Jahren auf den Stock gesetzt werden. Bei der Schwarz-Erle kann die Umtriebszeit 40 bis 60 Jahre dauern. Für die übrigen Arten gelten in der Regel Umtriebszeiten von 15-25 Jahren (SEIBERT 1961).

Seit der Wiedereinführung der Mittelwaldwirtschaft werden die Bestände mit einer Umtriebszeit von 20 Jahren genutzt. Je 80 ha Mittelwald sind dazu in 20 Schläge eingeteilt. Jeder Schlag hat eine Größe von etwa 4 ha. Jedes Jahr wird eine an den zuletzt geernteten Schlag angrenzende Fläche auf den Stock gesetzt. Die Schläge sind so angelegt, dass nach einem Umtrieb von 20 Jahren die Schlagfolge wieder bei der als erstes genutzten Fläche ankommt (zirkuläre Schlagfolge).

Ziel der Bewirtschaftung ist die Erhaltung des Eichen-Hainbuchen-Mittelwaldes, wobei die Eichen als „Überhälter“ dienen. Zum Teil wurden Eiche und Hainbuchen nachgepflanzt. Aus Kostengründen werden jedoch die vorhandenen Ahorn- und Eschenbestände in die Mittelwaldnutzung miteinbezogen. Da der Aufwuchs von Esche und Ahorn in vielen Bereichen die Hainbuche verdrängt, sind die Bestände vorwiegend als Eschen-Ahorn-Mittelwald zu charakterisieren (FISCHER 2003).

Die Bewirtschaftung der Bestände erfolgt in einer mechanisierten Logistikkette. Geerntet wird mit einer hydraulischen Schere, die an einem Bagger montiert ist. Die Zufahrt wird durch ein enges Netz von Ernteschneisen im Abstand von etwa 15 m ermöglicht. An die Durchführung des Stockhiebs und die Ernte des aufkommenden Jungwuchses ist die eingesetzte Technik jedoch nicht optimal angepasst. Der Einsatz der hydraulischen Schere schädigt die im Boden verbleibenden Pflanzenteile durch Quetschungen und erschwert den Wiederaustrieb. Nach erstmaligen 20-jährigem Umtrieb ist auf den Flächen zudem viel Jungwuchs und Stockaustrieb mit sehr geringen Stammdurchmessern aufgelaufen. Die Ernte mit der hydraulischen Schere ist bei diesen Beständen extrem zeitaufwändig. Ein manueller Hieb mit Motorsägen ist jedoch noch teurer. Ein Rückezug befördert das Holz nach dem Schnitt zu den Waldwirtschaftswegen, dort wird es mit einem Mobilhacker zu Hackschnitzeln aufgearbeitet und direkt in Container geblasen und per LKW abtransportiert. Der Mobilhacker wird in Liebenburg von einem externen Unternehmer betrieben, der die Hackschnitzel dann weiter vermarktet.

Bei einem Hektar durchgewachsenem Mittelwald fielen in Liebenburg 300 Schüttraummeter (Srm) Hackschnitzel an. Das Forstamt gibt die Kosten für das Schneiden und Rücken für diese Fläche mit ca. 12,- € pro Srm an (Tabelle 17). Der Erlös für den Holzverkauf an den Unternehmer erbrachte 1,- € pro Srm und konnte dadurch mit etwa 8,3 % zur Deckung der Kosten beitragen.

Tab: 17: Vergleich der Kosten und Erträge zwischen einem Mittelwald mit ca. 20-jährigen Umtrieb und einem durchgewachsenen Mittelwald

Durchgewachsener Mittelwald		20-jähriger Umtrieb	
<b>Kosten Forstamt:</b>		<b>Kosten Forstamt:</b>	
Schneiden:	8,00 €/Srm	Schneiden:	33,50 €/Srm
Rücken:	4,00 €/Srm	Rücken:	4,30 €/Srm
Gesamt:	12,00 €/Srm	Gesamt:	37,80 €/Srm
<b>Erträge:</b>		<b>Erträge:</b>	
Holzverkauf ab Waldweg	1,00 €/Srm	Holzverkauf ab Waldweg	1,00 €/Srm
Kosten pro Hektar	3.600,00 €	Kosten pro Hektar	3.780,00 €
Ertrag pro Hektar:	300,00 €	Ertrag pro Hektar:	100,00 €
Kostendeckung in %	<b>8,3</b>	Kostendeckung in %	<b>2,6</b>

Bei einem Hektar Mittelwald im 20-jährigen Umtrieb wurden dagegen lediglich 100 Srm geerntet. Die Kosten für das Schneiden des Aufwuchses liegen für das Forstamt zudem mit rund 33,50 €/Srm im Gegensatz zu ca. 8,- €/Srm für den durchgewachsenen Bestand mehr als vier Mal so hoch. Die Rückekosten werden in beiden Fällen mit etwa 4,- € beziffert. Die Ursachen für die hohen Erntekosten liegen in der geringen Stammdichte des Aufwuchses, der damit ein schlechtes Verhältnis von Erntevolumen zu nutzbarer Holzmasse aufweist. Hinzu kommt, dass eine hydraulische Schere für einen solchen Bestand kein geeignetes Erntegerät darstellt und dadurch der Arbeitsaufwand stark ansteigt, ohne den Ertrag zu verbessern. Die Vermarktung von Hackschnitzeln eines Bestandes im 20-jährigen Umtrieb kann deshalb in diesem Fall nur mit 2,6 % zur Deckung der anfallenden Kosten beitragen.

Der Unternehmer stellt neben den Rohstoffkosten das Hacken mit rund 4,- €/Srm und den Transport (120 km) mit rund 2,50 €/Srm in seine Kostenrechnung mit ein. Bei einem Nettopreis von 9,50 €/Srm für die gelieferten Holzhackschnitzel bleiben ihm etwa 2,- €/ Srm an Gewinn übrig.

### ***Kostensenkung durch die Vermarktung von Holzhackschnitzeln***

Zur Beurteilung der möglichen Kostenbeiträge für eine dauerhafte Mittelwaldbewirtschaftung müssen die Erträge für den 20-jährigen Umtrieb herangezogen werden. Diese sind in der vorliegenden Beispielkalkulation mit 2,6 % sehr gering.

Dennoch könnte bei der Mittelwaldwirtschaft durch die Vermarktung von Holzhackschnitzeln zur energetischen Verwertung voraussichtlich ein deutlich höherer Kostenbeitrag erzielt werden. Potenziale dafür liegen u.a. in steigenden Preisen für Hackschnitzel bei einer entsprechenden Nachfrage durch Heizwerke oder Privatabnehmer. Leider gibt es derzeit in Liebenburg keine regionalen Abnehmer für Holzhackschnitzel. Wenn regionale Abnehmer gefunden werden, könnte durch die eingesparten Transportkosten ggf. ein besserer Preis für das Forstamt ausgehandelt werden.

Ein sehr großes Potenzial zur Kostensenkung liegt für das Forstamt Liebenburg in dem Einsatz einer an die Bestandsverhältnisse im Mittelwald angepassten Erntetechnik. Hier sollten entsprechende Verfahren erprobt werden. Des Weiteren könnte nach alternativen Absatzwegen gesucht werden, die höhere Erträge einbringen, z.B. der zusätzliche Verkauf von Brennholz aus Mittelwaldbeständen an Selbstwerber. Voraussetzung für eine rationelle Vermarktung sind Bestände mit entsprechenden Flächengrößen. Diese Bedingung ist bei der Bewirtschaftung von 250 Hektar Mittelwald in Liebenburg grundsätzlich gegeben.

Die Kosten und Erträge für die Bewirtschaftung von Nieder- und Mittelwäldern sind demnach jeweils für den Einzelfall zu kalkulieren. Die energetische Nutzung von Holz könnte jedoch in den nächsten Jahren zunehmend zu einer anteiligen Deckung der Bewirtschaftungskosten beitragen und so ggf. Impulse zur weiteren Pflege durch Nutzung von Beständen in dieser traditionellen Nutzungsform geben.

Insbesondere in Kombination mit spezialisierten Einsatzmöglichkeiten könnte sogar die Neubegründung von Nieder- und Mittelwaldbeständen sinnvoll sein. Z.B. unterhalb von Freileitungen bieten die niedrigwüchsigen Niederwaldbestände die Möglichkeit, einen wertvollen Lebensraum zu etablieren. Weiterhin ist die Anlage von Mittel- und Niederwäldern unter anderem zur Bodensicherung in Hanglagen und Uferbereichen möglich (ROSSMANN 1996).

### 13.3 Der Anbau von Schilf auf degradierten Niedermoorstandorten

In Norddeutschland gibt es mehr als 800.000 ha Niedermoore. Weitere nennenswerte Vorkommen befinden sich in Bayern. Die Moorkommen in Deutschland sind insbesondere seit dem letzten Jahrhundert größtenteils durch Kultivierung in ihrer Funktion zerstört oder geschädigt. In Mecklenburg-Vorpommern z.B. gibt es 300.000 ha Niedermoore. Nur ca. 2 % des Vorkommens ist nicht durch Nutzung beeinflusst (WICHTMANN 2003; SCHEFFER et al. 2002; WICHTMANN & KOPPISCH 1998).

Das im Jahre 2000 verabschiedete Moorschutzkonzept des Landes Mecklenburg-Vorpommern sieht daher unter anderem die Förderung der moorschonenden Grünlandnutzung mit hohen Grundwasserständen auf Niedermoorböden auf ca. 60.000 ha und die Wiedervernässung von entwässerten Mooren mit anschließender Nutzungsaufgabe oder moorschonender Nutzung mit hohen Grundwasserständen auf einer Fläche von ca. 70.000 ha in den nächsten 20 Jahren vor (BERG 2003).

Um eine nachhaltige und verträgliche Nutzung von durch Kultivierung degradierten Niedermoorstandorten zu gewährleisten, müssen zukünftige Nutzungsformen folgende Punkte berücksichtigen:

- die Beendigung der Degradierung und des Torfverbrauchs zum Schutz des Bodens,
- die Erhaltung der Landschaften und Lebensräume für den Naturschutz,
- die Reduzierung der Belastung des Grundwassers und der Atmosphäre aus Gründen des Umweltschutzes (WICHTMANN & KOPPISCH 1998).

#### *Nutzungsalternativen zum Erhalt von Niedermoorstandorten*

Diese Anforderungen an den Erhalt von Niedermoorstandorten werden bei der intensiven und auch der extensiven Grünlandwirtschaft nicht erfüllt, da der Torfkörper mehr oder weniger stark abgebaut wird. Langfristig gesehen eignen sich diese Nutzungsformen demnach nicht, die für Niedermoore charakteristischen Standortbedingungen zu erhalten bzw. sie nach einer Degradierung gar nachhaltig zu verbessern.

Bei der intensiven Grünlandnutzung bilden die notwendigen komplexen Wasserregulierungssysteme einen weiteren Nachteil, da der finanzielle Aufwand zur Entwässerung nicht über die Erträge gedeckt werden kann (BERG 2003). Weiterhin können die verwendeten, hochwertigen Ansaatgräser auf Niedermoorstandorten unter Grünlandnutzung keine stabilen Bestände bilden. Um Grünland mit hohem Futterwert zu erhalten, müssen deshalb häufig Neuansaat vorgenommen werden. Dadurch ist die intensive Nutzung von Moorstandorten unter den heutigen ökonomischen Bedingungen unrentabel und viele Flächen fallen brach. Die Nutzungsaufgabe ohne Wiedervernässung führt in der Regel zur Bewaldung der Standorte (WICHTMANN et al. 2000; WICHTMANN & KOPPISCH 1998).

Große Anteile der Niedermoore in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg werden in Form standortangepasster und umweltschonender Nutzung extensiv bewirtschaftet. Da bei der extensiven Grünlandnutzung auf Niedermoorböden Qualität und Quantität des Aufwuchses gering sind, ist eine Beweidung mit konventionellen Rassen für Landwirte wirtschaftlich uninteressant. Auch bei der Verwendung von Robustrassen ist die extensive Bewirtschaftung nur durch die aktuellen Förderprämien rentabel. Die Mahd von Feuchtgrünland ist ebenfalls nicht kostendeckend. Die extensive Grünlandnutzung reduziert zwar die Torfzehrung, langfristig gesehen führt sie aber nicht zu stabilen Standortbedingungen (WICHTMANN & KOPPISCH 1998; WICHTMANN et al. 2000).

Nutzungsformen, durch die der Torfkörper abgebaut wird, und das Ziel einer langfristigen Erhaltung von Niedermooren widersprechen sich. Insofern sind Alternativen erforderlich.

### ***Die energetische Nutzung von Schilf***

Auf intakten Niedermoorstandorten verhindert der hohe Grundwasserstand eine Sukzession zum Waldstadium. Bei degradierten Niedermooren kann die Offenhaltung der Landschaft selbst nach einer Wiedervernässung z.T. nur durch Pflegemaßnahmen gewährleistet werden. Die Möglichkeiten zur standortangepassten Nutzung und Erhaltung von Niedermooren sind grundsätzlich mit hohem Pflege- und Kostenaufwand verbunden.

Der Anbau von torfbildenden Pflanzen wie Schilf, Seggen, Rohrkolben oder Erlen zur energetischen Nutzung auf wiedervernässten Niedermoorstandorten bietet nach Ansicht von WICHTMANN & KOPPISCH u.U. die Chance zur standorterhaltenden und kostendeckenden Bewirtschaftung (WICHTMANN & KOPPISCH 1998). Besonders mit Schilfbeständen (*Phragmites australis*) können im Vergleich zu anderen Sumpfpflanzenarten die größten Biomasseerträge erzielt werden. Durch den Anbau von Schilf ist es möglich, langfristig Gewinne zu erzielen, die über den Erlösen von anderen Nutzungsarten stehen (WICHTMANN 2003).

Zur Erprobung von Anbaualternativen wurde im Rahmen eines von der DBU von 1995 -1998 geförderten Verbundprojektes ein bisher als intensives Grasland genutzter, degradiertes Niedermoorstandort wiedervernässt und Schilf als standorttypische Vegetationsform angepflanzt. In eutrophen Schilfröhrichten ist eine Biomasseproduktion von 25 t Trockenmasse pro Hektar zu erreichen. Das Schilf kann sowohl energetisch als auch stofflich genutzt werden. In dem genannten Projekt wurden Nutzungs- und Verwertungsmöglichkeiten von Schilf z.B. in Form von Isoliermatten untersucht (WICHTMANN et al. 1997).

Praktische Erfahrungen mit der Schilfernte gibt es vor allem im aquatischen Bereich (Donaudelta, Neusiedler See). Zum Teil können diese Erfahrungen für den semi-aquatischen bis terrestrischen Bereich übernommen werden (WICHTMANN 1999).

Für die Beerntung von Röhrrichten sind verschiedene Spezialmaschinen vorhanden. Bei Bodenfrost können auch geringfügig umgerüstete Maschinen aus der Pflanzenproduktion wie z.B. Feldhäcksler eingesetzt werden. Um den Transport des gehäckselten Ernteguts so effektiv wie möglich zu gestalten, sollte das Schilf verdichtet werden. Die Komprimierung erfordert oft einen weiteren Arbeitsgang unter hohem Energieverbrauch. Für den Zeitraum zwischen Ernte und Verwertung fallen zudem Kosten für die Aufbereitung und Lagerung an (WICHTMANN 1999).

Der Schilfbestand wird durch die Bewirtschaftung folgendermaßen beeinflusst: Regelmäßige Mahd führt generell zu einer Erhöhung der Biomasseproduktion sowie zu besserer Qualität des Schilfs. Der Erntevorgang kann allerdings Bestand und Boden schädigen. Weiterhin besteht die Gefahr der Beeinträchtigung von Brutmöglichkeiten der auf Röhrichte spezialisierten Vogelarten. Großflächiger Schnitt ist zu vermeiden, da die gemähten Flächen mindestens drei Jahre lang nicht besiedelt werden. Weiterhin verfügen die entstehenden Bestände über eine geringe Biodiversität (vgl. WICHTMANN & KOPPISCH 1998; WICHTMANN 1999).

Wichtmann schätzt das Flächenpotenzial zum Anbau von energetisch nutzbarer Biomasse auf wiedervernässten Niedermoorstandorten in Norddeutschland auf fast 210.000 ha (WICHTMANN 2003). Die energetische Nutzung von Schilfbeständen setzt allerdings voraus, dass die bereits angeführten technischen und

ökonomischen Hemmnisse bei der Verbrennung halmgutartiger Brennstoffe zufriedenstellend gelöst werden können. Neben der Entwicklung einer marktgängigen Anlagentechnik, steht eine Erprobung von Ernteverfahren und -technik noch aus. Dabei sind besonders die für die Bereitstellung der Schilf-Biomasse anfallenden Kosten von Bedeutung. Inwieweit die energetische Nutzung von Schilf unter wirtschaftlichen Aspekten sinnvoll ist, kann auf Grundlage der wenigen vorliegenden Daten nicht beantwortet werden und wird zukünftig auf den Einzelfall bezogen zu beurteilen sein.

Auswirkungen durch Nährstoffausträge und Ernteverfahren auf den Standort sowie in Bezug auf die Biodiversität sind ebenfalls noch zu untersuchen (WICHTMANN et al. 2000).

Schilfanbau zur stofflichen oder energetischen Nutzung könnte aus ökologischer Sicht eine sinnvolle Alternative zur extensiven Grünlandnutzung darstellen, da diese eine Torfmineralisierung im Vergleich zur intensiven Nutzung zwar verlangsamt aber nicht verhindern kann. Ein im Vergleich zur derzeitigen Nutzung ökonomisch rentabler Schilfanbau könnte in bestimmten Regionen gleichzeitig zur dezentralen Energieproduktion sowie zur Erhaltung des Torfkörpers und des Landschaftstyps „Niedermoor“ beitragen. Die Option für einen Schilfanbau ist vorab mit den regionalen naturschutzfachlichen Zielsetzungen für die betroffenen Niedermoorstandorte abzustimmen.

#### **13.4 Energiegewinnung durch die Pflege von Knicks in Schleswig-Holstein**

Schleswig-Holstein, der Norden Niedersachsens sowie die Geestlandschaften Nordrhein-Westfalens sind durch das Vorkommen besonderer historischer Kulturelemente, der „Wallhecken“, in Schleswig-Holstein auch „Knicks“ genannt, gekennzeichnet. Als Knicks bezeichnet man ein- oder mehrreihige Hecken, die in der Regel auf Erdwällen, zum Teil aber auch zu ebener Erde angepflanzt wurden (LNatschG Schleswig-Holstein). Die Anpflanzung von Knicks in Schleswig-Holstein geht auf die Herrschaft des Dänenkönigs Christian VII. zurück, der sie ab 1766 zur Besitzabgrenzung anlegen ließ (METTE et al. 2000). In den waldarmen Regionen wurden Knicks zudem zur Brennholzgewinnung, als Viehfutter und als Windfang genutzt.

Bis heute gliedern sie als historische Landschaftselemente die Kulturlandschaft und haben eine große Bedeutung für das Landschaftsbild und durch ihre ökologische Funktion für den Arten- und Biotopschutz. So konnten sich durch die Anlage der Wälle, im Unterschied zu gewöhnlichen Hecken, z.B. Arten trockener Standorte etablieren. Da Knicks in der Regel von Gräben begleitet sind, ergibt sich aus der Kombination von Graben, Wall, Strauch- und Baumschicht ein breites Spektrum unterschiedlicher Standortbedingungen auf kleinem Raum als Grundlage für die vorhandene Artendiversität (vgl. SCHUPP & DAHL 1992). Die Zusammensetzung der Gehölzarten in Knicks ist regional sehr unterschiedlich ausgeprägt. METTE et al (2000) fanden z.B. Abschnitte, die sich aus bis zu 40 verschiedenen Gehölzarten zusammensetzten.

Knicks sind in Schleswig-Holstein durch § 15b des Landesnaturschutzgesetzes unter besonderen Schutz gestellt. Der Schutz gilt auch für Knicks, die ehemals zur Einfriedung von Besitzflächen angelegt wurden, von denen aber heute nur noch die Wälle zu erkennen sind (LNatschG vom 18.7.2003). Ein spezieller Knickerlass regelt die Schutz-, Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen für Knicks. Nach diesem Erlass

sollen diese alle 10-15 Jahre auf den Stock gesetzt werden, einzelne Bäume sind dabei im Abstand von 20 bis 50 Metern als Überhälter stehen zu lassen (MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATUR UND FORSTEN 1996).

Diese Arbeiten sind in Schleswig-Holstein laut LNatschG und Knickerlass von den Eigentümern bzw. Nutzungsberechtigten, in der Regel handelt es sich dabei um Landwirte, durchzuführen. Da es für das anfallende Material in den letzten Jahrzehnten kaum eine Verwendung gab, wurde und wird das Knickholz direkt am Feldrand verbrannt oder auf anderem Wege entsorgt (METTE 2003). Es wird z.B. kompostiert oder als Mulchmaterial im Knick belassen.

Der Aufwand für die Knickpflege bedeutet für die Landwirte zusätzliche Arbeit und Kosten. Daher werden Knicks nur noch selten vorschriftsmäßig gepflegt. In vielen Bereichen ist die Pflege sogar ganz eingestellt worden. Die mangelnde Pflege führt dazu, dass die Hecken zu Baumreihen durchwachsen, die kaum noch als Knicks zu erkennen sind. Die Lebensraumvielfalt und die besondere ökologische Funktion des Knicks gehen damit verloren. Die mangelnde Pflege ist auch der Grund dafür, dass in vielen Karten ein großer Teil der alten Wallhecken nicht mehr auftaucht und diese dann nur selten bei übergeordneten Planungen berücksichtigt werden, obwohl sie per Definition als Knicks bzw. Wallhecke geschützt sind (SCHUPP & DAHL 1992).

Die mit der intensiven Landwirtschaft einhergehende Flurbereinigung, die Zusammenlegung landwirtschaftlicher Flächen, aber auch der zunehmende Siedlungs- und Straßenbau führte ebenfalls zum Verlust vieler Knicks und Wallhecken (SCHUPP & DAHL 1992). Von den ursprünglich ca. 80.000 Kilometern vorhandener Knicks in Schleswig-Holstein sind deshalb heute nur noch rund 46.000 Kilometer in sehr unterschiedlichen Erhaltungszuständen vorhanden (METTE et al. 2000).

### ***Die energetische Nutzung von Knickholz***

Aus Sicht des Naturschutzes besteht ein großes Interesse daran, die traditionelle Pflege von Knicks und Wallhecken fortzuführen, um diese als typische Landschaftselemente und wichtige Rückzugsräume für Flora und Fauna in der Agrarlandschaft zu erhalten. Deshalb wird nach Wegen gesucht, neue Verwertungsmöglichkeiten für das anfallende Knickholz zu finden und dadurch die anfallenden Kosten bei der Knickpflege zu vermindern. Die energetische Nutzung von Holzhackschnitzeln in Heizkraftwerken könnte eine solche Perspektive bieten.

In diesem Zusammenhang wurden seit 1997 in Schleswig-Holstein Untersuchungen durchgeführt, welche u.a. die Ermittlung energetisch nutzbarer Biomassepotenziale an schleswig-holsteinischen Knicks und deren dezentrale Verwertungsmöglichkeiten zum Ziel hatten. Zunächst wurden zwei Knicks unterschiedlicher Artenzusammensetzung und unterschiedlichen Alters (20 und 13 Jahre) auf den Stock gesetzt (geknickt) und der Biomasseaufwuchs erfasst und ausgewertet (METTE et al 1997).

Es wurde festgestellt, dass die Masseerträge beider Knicks mit 10,7 bzw. 12,2 t Frischmasse auf 100 m Knick, bei 40 % Wassergehalt, insgesamt nur wenig voneinander abweichen (METTE et al 1997). Abweichungen können sich jedoch grundsätzlich durch die Standortbedingungen, kürzere Nutzungsintervalle sowie unterschiedliche Artenzusammensetzungen und Pflegemaßnahmen ergeben. Für beide Knicks errechnet sich insgesamt ein mittlerer jährlicher Trockenmasse-Zuwachs pro lfd. m von ca. 3,8 kg (vgl. METTE et al. 1997).

Im Vergleich mit alternativer Anbaubiomasse, wie Stroh, Weiden im Kurzumtrieb oder Chinaschilf konnte ermittelt werden, dass der Biomasseertrag von Knicks vergleichbar bzw. höher zu bewerten ist (METTE

2003). Zudem werden keine zusätzlichen Flächen in Anspruch genommen und kein Mineraldünger eingesetzt. Nach Einschätzung von METTE ist das verwertbare Potenzial von Knicks und Wallhecken bisher bei weitem nicht ausgeschöpft (METTE 2003). Ergänzend ist anzumerken, dass die oben genannten Ertragswerte zum Teil aus überhältigen Knicks stammen. Diese sind bei einer Nutzung in den vorgesehenen, kürzeren Intervallen ggf. nach unten zu korrigieren (METTE 2003, mündlich).

### ***Die Wirtschaftlichkeit der Knickholznutzung***

Ein Hemmnis für die Ausweitung der energetischen Nutzung von Knicks ist die mangelnde Wirtschaftlichkeit der Vermarktung von Holzhackschnitzeln aus Knickholz. So wurden 2003 in Schleswig-Holstein etwa 9 € pro Srm Hackschnitzel gezahlt, kostendeckend wäre die Knickpflege jedoch erst ab 12-15 € durchzuführen (METTE 2003, mündlich). Die Erträge aus Holzhackschnitzeln decken demnach nicht die Kosten für die Bewirtschaftung von Knicks, sie können jedoch bereits erheblich zu einer Kostenreduzierung beitragen. Eine Wirtschaftlichkeit könnte sich in Zukunft durch eine zunehmende Nachfrage nach Holzhackschnitzeln und dadurch ansteigende Preise ergeben.

Zur Vermeidung von Transportkosten bietet sich eine regionale Verwertung der Hackschnitzel an. Das setzt aus logistischen Gründen voraus, dass Heizkraftwerke in der Nähe von Knicklandschaften etabliert werden, um regionales Schnittgut zu verheizen. Dabei ist es wichtig, die Koordination zwischen Holzlieferanten und Heizkraftwerksbetreiber sowie den Wärmeabnehmern zu organisieren (WIEHE 2003).

Eine Effizienzsteigerung bei der Holzernte sowie bei der Bereitstellung von Hackschnitzeln könnte ebenfalls zur Wirtschaftlichkeit beitragen, allerdings darf diese nicht dazu führen, dass naturschutzrelevante Aspekte bei der Knickpflege außer Acht gelassen werden. So ist beispielsweise der Einsatz einer Knickschere in der Regel günstiger als die Arbeit mit Motorsägen, jedoch wirkt sich die Quetschung durch die Schere im Gegensatz zum fachgerechten Schnitt mit der Motorsäge negativ auf den Wiederaustrieb der Wurzelstöcke aus (METTE 2003, mündlich). Weiterhin muss darauf geachtet werden, dass die Pflegeintervalle und die Größe der genutzten Abschnitte in Anpassung an die lokalen ökologischen Gegebenheiten gewählt werden.

Eine weitere Möglichkeit, eine fachgerechte Pflege von Knicks bzw. Wallhecken umzusetzen, ist eine, die Holzvermarktung ergänzende, Entlohnung der Landwirte durch öffentliche Fördermittel.

Die ersten Erfahrungen aus Schleswig-Holstein zeigen, dass die energetische Nutzung von Landschaftspflegeholz aus Knicks sowohl technisch als auch organisatorisch funktionieren kann. Es wird ein hochwertiger Rohstoff genutzt und gleichzeitig notwendige Pflegemaßnahmen für den Naturschutz umgesetzt. Zur Ausweitung dieser Nutzungsform bedarf es einer weiteren Optimierung der Arbeitsabläufe unter Beachtung der ökologischen Erfordernisse. Eine Verbesserung der Absatzbedingungen z.B. durch die Förderung weiterer Anlagen zusammen mit einer detaillierten Erfassung und einer übergeordneten Planung zur Nutzung der vorhandenen Potenziale, könnte eine nachhaltige Bewirtschaftung der Knicks in Schleswig-Holstein sichergestellt werden.

## 14 Gesamteinschätzung und Handlungsbedarf

Nachwachsende Rohstoffe können zukünftig einen erheblichen Beitrag zur Energieversorgung liefern. Unabhängig davon, wie schnell und in welchem Umfang die Nutzung nachwachsender Rohstoffe in den nächsten Jahren realisiert werden kann, muss eine intensive Auseinandersetzung mit den zu erwartenden umwelt- und naturschutzpolitischen Aspekten der energetischen Biomassenutzung stattfinden. Chancen und Risiken sollten dabei frühzeitig benannt und sorgfältig abgewogen werden, denn auch die Erzeugung und Nutzung erneuerbarer Energien in Form von Biomasse wird nicht grenzenlos und konfliktfrei umsetzbar sein. Beispiele dafür sind die im vorliegenden Forschungsvorhaben aufgezeigten natürlichen Nutzungsgrenzen und Konfliktpotenziale in land- und forstwirtschaftlichen Ökosystemen.

An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass die Perspektiven der verstärkten Nutzung regenerativer Energien nicht dazu führen dürfen, die erheblichen Einsparpotenziale im Bereich des Strom- und Wärmeverbrauchs sowie die Effizienzsteigerung bei Energieerzeugung und -transport in den Hintergrund treten zu lassen. Eine sparsame und effiziente Energieerzeugung und -nutzung ist vielmehr eine wesentliche Grundlage für die Realisierung einer zukünftigen Energieversorgung, die aus regenerativen Energien gespeist werden kann, ohne dass natürliche Ressourcen über die Grenzen der Nachhaltigkeit hinaus in Anspruch genommen werden müssen.

Eine Studie des Allensbach-Institutes aus dem Herbst 2003 belegt die überwiegend positive Einstellung der Bundesbürger zu den regenerativen Energieträgern Wind und Sonne (BMU 2003, Internet). Diese breite Akzeptanz sollte auch für die Verwendung nachwachsender Rohstoffe genutzt und weiter ausgebaut werden. Dazu ist es notwendig, die mit einer Nutzung verbundenen Veränderungen von Natur und Landschaft möglichst gering zu halten und auf eine sensible Einfügung neuer Anbauformen in das Landschaftsbild zu achten.

Um Aussagen über die tatsächlichen Auswirkungen der Nutzung von Biomasse und dem verstärkten Anbau von Energiepflanzen auf den Naturhaushalt treffen zu können, ist es notwendig, die politisch-planerischen sowie die ökonomischen Rahmenbedingungen eingehend zu betrachten.

Dazu lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt feststellen, dass eine drastische Zunahme der Biomassenutzung entsprechend eines Booms, der durch eine sprunghaft ansteigende Entwicklung gravierende Folgen für die Umwelt bzw. flächenhafte Auswirkungen zum Nachteil der land- und forstwirtschaftlichen Nachhaltigkeit und des Naturschutzes mit sich bringen könnte, kurzfristig nicht zu erwarten ist. Die ökonomischen Rahmenbedingungen für die Biomassenutzung zur Strom- und Wärmeerzeugung setzen hier relativ feste Grenzen. Diese können auch durch Förderprogramme nur begrenzt verschoben werden. Bestimmte Nutzungsverfahren und damit in Zusammenhang stehende Biomassefraktionen, wie z.B. die Vergärung feuchter Biomasse in Biogasanlagen, bieten allerdings durchaus ökonomisch attraktive Nutzungsmöglichkeiten, die teilweise auch aus ökologischer Sicht vorteilhaft sein können.

Art und Umfang der sich in Zukunft ergebenden räumlichen, flächenhaften Auswirkungen der Biomassenutzung bzw. Biomasseproduktion, vor allem was den Umfang und die Intensität des Energiepflanzenanbaus angeht, sind von folgenden Faktoren abhängig:

***auf politischer Ebene:***

- geeignete energiepolitische Förderbedingungen und Marktsituation
- geeignete agrarpolitische Förderbedingungen und Marktsituation
- Abbau des Regelungsdickichts hinsichtlich der Planungs- und Genehmigungsverfahren

***in direktem Zusammenhang mit der Produktion stehende Faktoren:***

- energetisch-technische Eigenschaften der einzelnen Pflanzenarten und -sorten
- geeignete Trockenmasseerträge
- Standortbedingungen (Klima, Boden, Wasser, Nährstoffe)
- geeignete Biomassegewinnungskonzepte (Anbau, Ernte, Lagerung, Transport)

***auf technisch-ökonomischer Ebene:***

- verfügbare Biomassemengen zu ökonomisch vertretbaren Preisen
- konkurrenzfähige, marktgängige Verfahren

Die Vielschichtigkeit dieser Faktoren, sowie deren Wechselwirkungen und Kombinationsmöglichkeiten ergeben eine große Anzahl von Variationsmöglichkeiten, die für den Anbau und die Nutzung von Energiepflanzen denkbar sind.

Bezüglich der politischen Rahmenbedingungen sind bei der Förderung der Biomassenutzung im Wesentlichen das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), die Biomasse-Verordnung, die monetären Förderinstrumente des Bundes (vor allem das Marktanreizprogramm) und der Länder ausschlaggebend. Dieses Förderpaket hat in den vergangenen Jahren zu einer starken Ausdehnung der Biomassenutzung geführt und wird die weitere Entwicklung maßgeblich beeinflussen.

So zielt die für Juni 2004 geplante Novellierung des EEG im Bereich der Biomassenutzung auf eine stärkere Förderung kleinerer Anlagen sowie der ausschließlichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Die derzeitige Gesetzesvorlage für die Novellierung wird jedoch sehr kritisch betrachtet. Die erhöhten Vergütungsstufen für Anlagen bis 150 kW sollen zwar zu einer Marktausweitung führen, die vorgesehene Kürzung des Förderzeitraumes und der Anstieg des Degressionssatzes auf 2 % stehen dem aber entgegen. Die Höhe des veranschlagten Brennstoffbonus wird daher insgesamt als nicht ausreichend angesehen, um eine kostendeckende Nutzung und Erschließung der bislang ungenutzten Potenziale von Energiepflanzen aber auch von Waldholz zu ermöglichen. Die aktuellen Änderungen im Marktanreizprogramm werden in der Gesamtheit positiv für eine kontinuierliche Marktentwicklung der Bioenergie bewertet. Für Sonderbrennstoffe wie Stroh wird der Marktzugang jedoch weiterhin erschwert (s.u.).

Diese politischen Regelungen zeigen, dass eine Förderung der Bioenergie insgesamt politisch gewollt ist. Einige Hemmnisse insbesondere für kleine Anlagen und den Energiepflanzenanbau bleiben jedoch bestehen. Dies sind u.a. planungs- und genehmigungsrechtliche Unklarheiten, welche die Verfahren verzögern oder den Betrieb von Anlagen behindern, so z.B. die Hygieneverordnung hinsichtlich der ungeklärten Definition zur Ausbringung von Reststoffen bzw. der Entsorgung von Rest- und Abfallstoffen.

Der Anbau von nachwachsenden Energieträgern im landwirtschaftlichen Bereich wird wesentlich durch die agrarpolitischen Regelungen der EU beeinflusst. Hier sind gravierende Änderungen vorgenommen

worden bzw. steht deren Umsetzung auf nationaler Ebene bevor. Die Art der Umsetzung beeinflusst die konkreten Auswirkungen der Reformen durch die gemeinsame Agrarpolitik der EU (GAP-Reform) auf die landwirtschaftlichen Strukturen in Deutschland. Inhaltlicher Kern der Reformen ist die stärkere Ausrichtung der landwirtschaftlichen Produktion am Markt durch die Entkopplung der Agrarsubventionen von den Anbauflächen hin zu betriebsbezogenen Prämien. Dies könnte die Chancen für einen energetischen Biomasseanbau verbessern, da nun alle Kulturen allein über entsprechende Marktpreise bei der energetischen Verwertung konkurrenzfähig werden könnten. Dies gilt insbesondere für Einzelkulturen oder Kulturen im Mischanbau, für die bisher keine oder nur geringe Ausgleichsprämien gezahlt worden sind.

Das Agrarinvestitionsförderungsprogramm setzt weitere positive Impulse, da Maßnahmen zur Umstellung auf regenerative Energieträger, wie z.B. der Bau einer Biogasanlage förderfähig sind, wenn Strom oder Wärme in das öffentliche Netz eingespeist werden.

Die Beibehaltung einer Stilllegungsregelung von mindestens 10 % an der landwirtschaftlichen Anbaufläche entzieht die dort angebauten Kulturen weiterhin der Konkurrenz zum Nahrungs- und Futtermittelanbau. Eine in der Diskussion befindliche Senkung des Anteils an Stilllegungsflächen auf 5 % würde diesen Vorteil für den Energiepflanzenanbau entsprechend verringern. Da auf diesen Flächen bisher überwiegend Raps zur Produktion von Biodiesel angebaut wurde, wirkt sich die Einschränkung in erster Linie auf den Energiepflanzenanbau zur Treibstoffproduktion aus. Der Anbau von Energiepflanzen zur Wärme- und Stromproduktion ist ebenfalls von dieser Entscheidung betroffen und muss sich zukünftig noch stärker der Konkurrenz von Nahrungs- und Futtermittelproduktion am Markt stellen.

***Technische Verfahren zur Nutzung von Biomasse und deren Grenzen hinsichtlich der Anwendbarkeit***  
Bislang dienten Anlagen zur energetischen Verwertung von Biomasse vorwiegend der Wärmebereitstellung. Bis Ende 1999 waren lediglich 62 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 107 MW zur Stromgewinnung in Betrieb. Die feste Biomasse hatte demnach einen sehr geringen Anteil an der Stromerzeugung. Derzeit sind etwa 100 Anlagen mit 475 MW elektrisch installiert und seit Inkrafttreten der Biomasseverordnung werden zahlreiche weitere Anlagen geplant. Das EEG hat also schon Wirkung gezeigt.

Bei der Stromgewinnung aus Biomasse kommen derzeit im Wesentlichen zwei Verfahren zum Einsatz: Dampfkraftprozesse und die Biogasnutzung. Diese Verfahren sind technisch ausgereift, marktgängig und in wirtschaftlicher Hinsicht anwendbar. Demgegenüber befindet sich die Stromerzeugung durch Vergärung noch im Demonstrationsstadium und die Pyrolyse sogar erst in der Forschungs- und Entwicklungsphase. Je nach Anlagentechnik ergeben sich sehr unterschiedliche Qualitätsanforderungen an die Biomassefraktionen.

Eine Kapazitätserweiterung von Verbrennungsanlagen (Dampfkraftprozesse) wird aus ökonomischen Gründen maßgeblich bei den Anlagen im größeren Leistungsbereichen erwartet (15 – 20 MW<sub>e</sub>) - hier hat das EEG mit den bisher gültigen Konditionen zu einer relativ starken Dynamik geführt. Beim Dampfkraftprozess kommen aktuell und auch zukünftig in erster Linie holzartige Festbrennstoffe zum Einsatz. Derzeit basiert ein Großteil der Anlagen auf der Versorgung mit Altholz, wobei die Kapazitäten der verfügbaren Altholzpoteziale für die in Projektierung befindlichen Anlagen bereits überstiegen sind. Die Nachfrage nach preiswerten Brennstoffen wird demnach auch in Zukunft steigen. Einen starken Impuls für die Nutzung von Waldholzfraktionen oder den Anbau von Energiepflanzen, die eine Alternative oder Ergänzung zu den bisher verwendeten Reststoffen darstellen, wird es mittelfristig voraussichtlich den-

noch nicht geben, weil die Produktions- und Bergungskosten noch zu hoch sind. Unter technischen Aspekten ist der Einsatz von Waldrestholz, Landschaftspflegeholz und Holz aus Kurzumtriebsplantagen zwar unproblematisch und wird im kleineren Rahmen schon durchgeführt, inwieweit diese Stoffe in Zukunft in größerem Ausmaß genutzt werden, hängt jedoch in erster Linie mit der Wirtschaftlichkeit der Bereitstellung zusammen.

In Anbetracht der bislang sehr hohen Bereitstellungskosten ist es unwahrscheinlich, dass in absehbarer Zeit Energieholz aus dem Wald in größerem Umfang genutzt wird. Selbst bei einer Verknappung des Altholzangebotes wird zunächst auf die Potenziale an Sägewerksnebenprodukten zurückgegriffen werden, da diese häufig schon in aufbereiteter Form (Hackschnitzel) vorliegen und zu weitaus geringeren Kosten zur Verfügung stehen. Diese Einschätzung wird durch die vorliegende Erhebung der Biomassepotenziale mit den dazugehörigen Preisen in der Region Hannover gestützt. Auch der Anbau von Holz in Kurzumtriebsplantagen kommt auf Grund der hohen Produktionskosten in absehbarer Zukunft nicht in Frage.

In der Praxis hat die Nutzung halmgutartiger Energiepflanzen zur Stromerzeugung in Dampfkraftprozessen bisher keine nennenswerte Größenordnung erreicht. Emissionsschutzrechtlich wird der Einsatz von Halmgütern zur energetischen Nutzung erschwert. Dies ist größtenteils auf die, im Vergleich zu Holz, sehr viel ungünstigeren Brennstoffeigenschaften zurückzuführen. Mit der Errichtung von Anlagen, in denen Halmgüter emissionsarm und umweltverträglich verwertet werden, ist somit ein erhöhter technischer Aufwand verbunden. Die Kosten für die Errichtung und den Betrieb dieser Anlagen liegen weitaus höher als bei Anlagen, in welchen Holz zum Einsatz kommt. In Zukunft sind hier Verbesserungen bzw. Anpassungen der Feuerungstechnik an die Brennstoffe notwendig. Gleichzeitig wird die Weiterentwicklung der Brennstoffe selbst, z.B. durch Sortenzüchtung, eine Optimierung der Verbrennungsprozesse ermöglichen. Chancen bestehen hier u.a. für Ganzpflanzengetreide wie Triticale, dessen energetische Verwertung zwar erst erprobt wird, sich aber mit der Nutzung von Stroh kombinieren ließe.

Die aktuell geplante Änderung des Marktanzreizprogramms verhindert durch die verstärkte Emissionsbegrenzung eine Marktausweitung der energetischen Nutzung von Stroh in kleineren Anlagen. Vorstellbar ist jedoch die Mitverbrennung von Halmgütern in Kohlekraftwerken, oder in großen Anlagen (z.B. in Landesbergen), da hier die notwendige Technik bei der Abgasreinigung vorhanden ist. Der Einsatz wird nur bei einer Bereitstellung im Umkreis von ca. 50 km einer Anlage als ökonomisch tragfähig eingeschätzt. Generell ist die Zufeuerung von Biomasse im Einzugsgebiet eines bestehenden Kohlekraftwerkes eine marktnahe Option. Bisher wurde auf Grund des Ausschließlichkeitsprinzips gemäß EEG jedoch grundsätzlich keine Stromerzeugung aus der Mitverbrennung von Biomasse vergütet. Sie ist entsprechend der derzeit vorliegenden Gesetzesvorlage zur EEG-Novelle auch zukünftig nicht geplant.

Der Zubau an Biogasanlagen im niedrigeren Leistungsbereich bis 70 kW elektrisch, bei welchem die größten Potenziale gesehen werden, ist trotz der in der Novellierung des EEG geplanten Erhöhung der Einspeisevergütung weiterhin von Förderungen wie dem Marktanzreizprogramm oder dem Agrarinvestitionsförderungsprogramm abhängig.

Bezüglich der technischen Umsetzung scheint die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen insgesamt wenig problematisch zu sein. Es existiert eine ausgereifte Anlagentechnik. Erfahrungen

mit dem systematischen Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen werden noch nicht lange gesammelt, doch zeichnen sich für die Nutzung bestimmter Biomassefraktionen sehr positive Tendenzen, vor allem bei der Kofermentation, ab. Besonders Mais ist für den Einsatz in Biogasanlagen von besonderer Bedeutung, da hier die größten Erfahrungen bestehen. Aber auch Grüngut und Grassilage werden verstärkt zum Einsatz kommen. Im Hinblick auf die Anbauvielfalt (ein breites Spektrum an Pflanzen kann genutzt werden) und den Erntezeitpunkt (zweimal im Jahr kann „feucht“ geerntet werden) können sich zukünftig weitere Nutzungsoptionen ergeben.

Sowohl für die Stromerzeugung aus Biogasanlagen wie auch für die Verbrennung von Biomasse gilt, dass ein effizientes Wärmenutzungskonzept vorliegen sollte, um unter ökologischen Aspekten eine optimale Brennstoffausnutzung zu gewährleisten und die Wirtschaftlichkeit der Anlagen durch möglichst hohe Wirkungsgrade zu sichern. Zudem sollten Konzepte für eine fachgerechte Nutzung bzw. Entsorgung von Gär- bzw. Verbrennungsrückständen entwickelt und durch gesetzliche Regelungen flankiert werden. Bezüglich der Überwachung einer Ausbringung von Holzrasche aus Holz(heiz)kraftwerken bestehen z.B. momentan noch erhebliche Defizite. Um Schadstoffbelastungen über die Ausbringung von Rasche zu verhindern bedarf es strenger Kontrollen die garantieren, dass keine belasteten Rückstände im land- oder forstwirtschaftlichen Bereich ausgebracht werden.

Die Nutzung von Rapsöl und Rapsölmethylester spielen für die Stromerzeugung eine vernachlässigbare Rolle. Ihr Einsatzbereich wird künftig eher im Kraftstoff- bzw. im chemisch-technischen Bereich (Ersatz von Schmier- und Hydrauliköl auf Mineralölbasis) liegen.

### ***Handlungsbedarf aus Sicht des Naturschutzes***

Durch die energetische Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromproduktion ergeben sich mittel- bis langfristig weitreichende Veränderungen in der Land- und Forstwirtschaft und damit auch für den Naturschutz. Da viele der technischen Verfahren sich in der Entwicklung befinden und marktreife Verfahren noch nicht flächendeckend angewandt werden, sind die meisten der von Seiten des Naturschutzes befürchteten Auswirkungen bisher nur in geringem Umfang in der Praxis wirksam. Dennoch lassen sich, eine Ausweitung und Intensivierung der Biomassenutzung gemäß den Klimaschutzzielen der Bundesregierung bis 2010 vorausgesetzt, kritische Punkte bereits benennen. Im Detail müssen jedoch auf Grund mangelnder Datengrundlagen und praktischer Erfahrungen noch viele Aspekte offen bleiben bzw. eingehenderen Untersuchungen unterzogen werden.

Der Anstieg der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe erfolgt bislang langsam aber stetig. Allerdings ist mit der Neuregelung des EEG (2004) ein deutlich schnellerer Anstieg in der Zunahme der energetischen Nutzung von Biomasse in der näheren Zukunft zu erwarten. Dennoch bleibt allen an dieser Entwicklung teilhabenden Akteuren die Gelegenheit, offene Fragen bezüglich der Auswirkungen auf Natur und Landschaft offensiv anzugehen und die erforderlichen Datengrundlagen zur Beurteilung dieser Auswirkungen zu vervollständigen. Insbesondere die Vertreter des Naturschutzes sollten zügig die Chance wahrnehmen und den vorhandenen, knapper werdenden Zeitrahmen nutzen, um ihre Bedenken und Vorschläge zur Verbesserung der Rahmenbedingungen zu formulieren und in den Entwicklungsprozess einzubringen.

Nachfolgend sind die sich aus der vorliegenden Arbeit ergebenden Empfehlungen und der Handlungsbedarf für die naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Strom- und Wärmeproduktion aufgeführt.

### ***Waldenergieholznutzung in der Forstwirtschaft***

Die zu erwartenden Veränderungen durch eine zunehmende energetische Nutzung von Waldenergieholz wirken sich vor allem durch ansteigende Entnahmemengen, die Ausweitung der nutzbaren Holzfraktionen und einen intensivierten Technikeinsatz bei der Holzernte und -bereitstellung aus. Daraus ergeben sich u.a. Folgen für den Nährstoffhaushalt, für wertvolle Biotope und Kleinstrukturen sowie für den Waldboden und für Waldstrukturen.

Die Holzentnahme zur energetischen Nutzung sollte sich in jedem Fall am Grundsatz der Nachhaltigkeit orientieren. Demnach dürfen grundsätzlich nicht mehr Nährstoffe von einem Standort entnommen werden als dieser durch seine natürliche Nachlieferungskapazität ersetzen kann. Dazu ist eine für die Anwendung in der forstlichen Praxis ausgelegte Methodik zu entwickeln bzw. bereits vorhandene methodische Ansätze zur Klassifizierung von Standorten wie z.B. die forstliche Standortkartierung entsprechend zu modifizieren und ggf. zu erweitern. Es sollte darüber nachgedacht werden, inwieweit die Einhaltung der anhand dieses Verfahrens festgesetzten maximalen Entnahmemengen als Mindeststandard bzw. Kriterium im Rahmen der Guten fachlichen Praxis in der Forstwirtschaft eingebracht werden kann.

Für den Bereich des integrativen Naturschutzes im Wirtschaftswald ist zu konkretisieren, mit welchen Konzepten einem zunehmenden energetischen Verwertungsdruck z.B. auf potenzielle Biotopbäume und große Totholzfraktionen begegnet werden kann. Das Kriterium zur Guten fachlichen Praxis sollte im Hinblick auf den Schutz dieser Strukturen exakter formuliert werden.

Für vorhandene Schutzgebiete ist zu prüfen, ob die in den jeweiligen Schutzgebietsverordnungen genannten Naturschutzziele vor dem Hintergrund der Waldenergieholznutzung nach wie vor als gesichert gelten können oder ob die Verordnungen ggf. zu aktualisieren bzw. um neue Aspekte zu ergänzen sind. Denkbar ist, z.B. die Energieholznutzung oder bestimmte Bewirtschaftungsformen für einige Gebiete auszuschließen oder konkrete Auflagen für die Feinerschließung durch Erntegassen vorzugeben.

Die auf eine Bergung von Waldenergieholz ausgerichteten Logistikketten sollten auf ihre konkreten Auswirkungen durch Bodenverdichtung, Nährstoffverlagerungen und weitere naturschutzrelevante Aspekte untersucht werden. Daraus zu gewinnenden Erkenntnisse können als Grundlage zu einer weiteren Konkretisierung der Kriterien einer Guten fachlichen Praxis in der Forstwirtschaft herangezogen werden.

### ***Energiepflanzenanbau in der Landwirtschaft***

In der Landwirtschaft ist kurzfristig vor allem mit dem Anbau von Energiepflanzen zur Vergärung in Biogasanlagen zu rechnen. Dabei wird der Anbau von Mais dominieren und ggf. in den nächsten Jahren zunehmend durch spezielle Energiemais-Sorten mit stärkerem vegetativem Wachstum ergänzt werden. Diese Entwicklung sollte durch wissenschaftliche Untersuchungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die biotische und abiotische Umwelt in der betroffenen Region und auf dem Schlag begleitet werden. Anhand naturschutzfachlicher Zielsetzungen ist zu diskutieren, welche Instrumente geeignet sind, eine Dominanz von in Monokultur angebautem Mais und die damit verbundenen negativen Auswirkungen auf Natur und Landschaft zu verhindern.

Ein Mehrkulturanbau könnte als intensives Anbauverfahren eine Alternative zum reinen Energiemaisanbau darstellen. Doch auch hier sind insbesondere die Auswirkungen auf die Artenvielfalt von Flora und Fauna sowie auf seltene bzw. gefährdete Arten noch nicht im Detail untersucht worden. Im Gegensatz zu

konventionellen Anbauverfahren kann der Mehrkulturanbau jedoch eine Reihe von Vorteilen bieten, die indirekt zur Sicherung und Erhöhung der Biodiversität in der Agrarlandschaft beitragen können. Dabei sind insbesondere zu nennen:

- die Synergieeffekte durch angepasste und aufeinander abgestimmte Fruchtfolgen
- die konsequente Nutzung der vorhandenen Kulturpflanzenvielfalt
- die Integration von Mischkulturen und Zwischenfruchtanbau
- die erweiterte Toleranz gegenüber Wildpflanzenaufwuchs
- der vollständige Verzicht auf Fungizide und Insektizide

Doch auch Mehrkultursysteme unterliegen ökonomischen Zwängen und damit der Notwendigkeit, die mit dem Anbau verbundenen Arbeitsabläufe und Ertragsmöglichkeiten in hohem Maße zu rationalisieren. Inwieweit sich diese, derzeit noch im Stadium von Demonstrationsprojekten befindlichen Anbausysteme, aus Gründen der Gewinnmaximierung bzw. Kostensenkung bei einer breiten Praxiseinführung verändern werden, ist noch nicht absehbar. Dies gilt folglich auch für die genannten Auswirkungen auf Natur und Landschaft.

Mehrkultursysteme werden derzeit, ohne spezifischen Bezug zu Modellprojekten, nicht selbständig von Landwirten als neue Bewirtschaftungsalternativen übernommen. Es gibt demnach anscheinend eine Reihe von Hemmnissen für den Einsatz des Mehrkulturverfahrens (z.B. als Alternative zum Mais), die es zu benennen und zu überwinden gilt. Wenn die im Rahmen dieses Anbauverfahrens enthaltenen Synergieansätze für den Naturschutz genutzt werden sollen, ist eine aktive Förderung und Weiterentwicklung des Mehrkulturanbaus mit einer Integration naturschutzfachlicher Zielsetzungen notwendig.

Verfahren zum Anbau von Energiepflanzen auf ertragsarmen Böden sollten als Alternative zum Intensivanbau von Nahrungs- und Futtermitteln weiter verfolgt und in der Praxis erprobt werden. In diesem Zusammenhang sollten Anbauversuche nicht nur auf die Eignung der angebauten Kulturen und deren Erträge ausgerichtet sein. Mit Hilfe wissenschaftlicher Begleituntersuchungen ist parallel dazu offenen Fragen, beispielsweise zum Nährstoffhaushalt dieser Böden oder den Auswirkungen der veränderten Anbauverfahren auf Flora und Fauna, nachzugehen. Generell eröffnen sich so auf Grenzertragsstandorten durch die Weiterentwicklung von „low input - low output“-Verfahren neue Möglichkeiten für den Naturschutz. Sie bieten gute Chancen, ein unerwünschtes Brachfallen extensiv genutzter Ackerstandorte zu vermeiden.

Die Regelungen zur Guten fachliche Praxis in der Landwirtschaft sind als naturschutzfachliche Mindeststandards für den Anbau landwirtschaftlicher Kulturen zur Energieproduktion, analog zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion, ohne Einschränkungen anzuwenden. Eine nachhaltige Bewirtschaftung im Sinne der Guten fachlichen Praxis sollte demnach neben einer Beachtung des Stickstoff- und Humushaushaltes auch die regelmäßige Kontrolle weiterer Nährstoffe, wie z.B. Kalium und Phosphat beinhalten. Insbesondere bei den hohen Stoffumsätzen der Energiepflanzenproduktion ist auf eine an das Pflanzenwachstum angepasste und bedarfsgerechte Düngung zu achten. Dies betrifft zum einen die benötigten Nährstoffmengen, aber auch den Zeitpunkt der jeweiligen Ausbringung. Da im Energiepflanzenbau sehr unterschiedliche Kulturen mit neuen unterschiedlichen Anbauverläufen zum Einsatz kommen können, besteht im Hinblick auf die Nährstoffversorgung in Abhängigkeit von den jeweiligen Standortbedingungen und Anbauvarianten weiterer Forschungsbedarf.

### ***Grünlandnutzung***

Die energetische Nutzung von Grünlandflächen bleibt derzeit weit hinter dem aus naturschutzfachlicher Sicht wünschenswerten Maß zurück. Dies gilt besonders für unter Naturschutzaufgaben bewirtschaftetes Extensivgrünland, das auf Grund später Mahdtermine und reduzierter Düngegaben für die wirtschaftliche Nutzung in Biogasanlagen kaum nachgefragt wird. Ohne eine zielgerichtete Förderung bzw. einer Änderung der politischen Rahmensetzung ist eine Änderung in absehbarer Zeit nicht in Sicht.

Für eine deutliche Ausweitung der energetischen Nutzung von Grünlandflächen ist eine Kooperation zwischen den beteiligten Akteuren aus Naturschutz, Landwirtschaft und dem Energiesektor nötig. Bestehende Förderungen müssen aufeinander abgestimmt und wirksam ergänzt werden (vgl. SCHWEPPE-KRAFT 2003). Weitere Chancen bietet u.U. die aktuelle Umsetzung der EU-Agrarreform in nationales Recht. Ansatzpunkte ließen sich dabei ggf. im Rahmen der Definition von Umweltstandards als Voraussetzung für die Zahlung von Betriebsprämien an landwirtschaftliche Betriebe oder durch eine entsprechende Modifikation der geltenden Stilllegungsregelung finden.

Bei einer zunehmenden Aussaat von Feldgräsern zur energetischen Nutzung ist aus Sicht des Naturschutzes darauf zu achten, dass eine Florenverfälschung durch eingeschleppte ortsfremde Unterarten und Taxa unteren Ranges verhindert wird, da diese u.a. zu einer Verringerung der Artendiversität in der Landschaft sowie zur Vielfalt innerhalb der Arten führt (HILLER et al. 2003). Dazu sollte als naturschutzfachlicher Mindeststandard Saatgut aus regionaler Herkunft, so genanntes Regiosaatgut, verwandt werden (HACKER & HILLER 2003).

### ***Landschaftsbild***

Das Landschaftsbild könnte insbesondere durch die Ausweitung hochwüchsiger landwirtschaftlicher Kulturen bzw. der Aufforstung neuer Waldbestände zur energetischen Nutzung negativ beeinträchtigt werden. Unabhängig davon, wie das Landschaftsbild durch die Produktion von Biomasse beeinflusst wird, sollte der Bezug zur traditionellen Kulturlandschaft beibehalten werden. Das heißt kulturhistorische Besonderheiten sollten trotz der vorhandenen zeitlichen Dynamik einer Kulturlandschaft zugunsten der Eigenart einer Region erhalten werden. Zudem müssen Aussichtspunkte und wichtige Sichtbeziehungen freigehalten werden. Dies gilt auch für repräsentative bzw. historische Elemente der Kulturlandschaft, wie Hutungen, Hutewälder, Ackerterrassen oder Parklandschaften (AMMER 2000).

Um hoch wachsende Kurzumtriebsplantagen in das Landschaftsbild einzupassen, bzw. bestehende strukturarme Agrarlandschaften aufzuwerten, wäre eine Anlehnung an angrenzende Waldränder oder vorhandene Feldgehölze von Vorteil. Dabei ist zu beachten, dass aus naturschutzfachlicher Sicht wertvolle Waldränder oder Hecken durch Kurzumtriebsplantagen oder Aufforstungen nicht negativ beeinträchtigt werden, zudem ist eine Zerschneidung wertvoller Biotope zu vermeiden. Dichte, hochwüchsige Strukturen sollten insgesamt kein Übergewicht im Landschaftsraum bekommen. Dies ist nach WÖBSE (2002) in ebenen Landschaften bei einem Anteil von über 40 % der Flächen der Fall und führt dazu, dass die Landschaft als einengend und bedrückend wahrgenommen wird. Die Ränder einer monoton strukturierten Kurzumtriebsplantage könnten ggf. durch einen Saum aus artenreichen Laubgebüsch regionaler Herkunft aufgewertet werden, um harte Konturen und Grenzen zu vermeiden und den Reiz der Landschaft durch vielgestaltige, fruchtende und blühende Säume zu erhöhen. Damit würden gleichzeitig neue Lebensräume und Strukturen zur Biotopvernetzung geschaffen.

Unabhängig davon könnte eine deutliche Ausweitung bestimmter hochwachsender Formen des Anbaus von Energiepflanzen, z.B. Energiemais oder auch Kurzumtriebsplantagen, in für den Tourismus und für die Naherholung wichtigen Regionen zu Konflikten mit dem Tourismus führen. Das gilt auch für die Einbindung von Kleinkraftwerken und Biogasanlagen in die Landschaft. Um dieses Konfliktpotential realistisch einschätzen zu können und Lösungen aufzuzeigen, sind landschaftsbezogene und regionale Untersuchungen mit der Entwicklung regionaler Konzepte unbedingt erforderlich.

In diesem Zusammenhang sind z.B. bei der Anlage von landwirtschaftlichen Dauerkulturen die Aussagen der Landschafts- und Regionalplanung sowie regionale Naturschutzziele zu berücksichtigen. Erforderliche zentrale bzw. dezentrale Anlagen zur Verarbeitung und Lagerung von Biomasse sowie zur Strom- und Wärmeerzeugung sollten möglichst sensibel in die Landschaft eingefügt und auf ihre Verträglichkeit mit dem Landschaftsbild und dem Landschaftsempfinden geprüft werden.

### ***Regionale Erfassung von Potenzialen und Nutzungsgrenzen***

Die Erstellung eines regionalen Anbauszenarios unter festgesetzten energiepolitischen Rahmenbedingungen (Anlagen, einzusetzende Biomassefraktionen und Bereitstellungskonzepte) in Zusammenhang mit einer Massenbilanz bezüglich naturverträglicher Entnahmemengen und Nutzungsintensitäten der relevanten Biomassefraktionen, konnte im Rahmen des vorliegenden F+E-Vorhabens auf Grund der begrenzten Arbeitskapazität nicht durchgeführt werden.

Anhand einer solchen regionalisierten Betrachtung könnten die zu erwartenden Konflikte und Synergien mit dem Naturschutz standortbezogen erfasst und bewertet werden. Dabei sind die regionalen Naturschutzziele zur Lenkung und ggf. zur Begrenzung einer energetischen Nutzung von Biomasse heranzuziehen. Derartige regionale Szenarien könnten die Grundlagen für Aussagen bezüglich nachhaltig nutzbarer Biomassepotenziale unter der Berücksichtigung von Naturschutzaspekten erheblich erweitern.

Im Rahmen der Untersuchung der oben beschriebenen Fragestellung könnten u.a. durch regionale Modellierungen flächen- und landschaftsbezogene Aussagen getroffen werden, um folgendes zu gewährleisten:

- Entwicklung effizienter Bereitstellungskonzepte, welche die lokalen Biomassenressourcen natur- und umweltverträglich ausschöpfen
- Erhalt der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes durch weitgehend geschlossene Nährstoffkreisläufe
- Abstimmung der verschiedenen, relevanten Politikbereiche bei der Entwicklung der Energieversorgung aus nachwachsenden Rohstoffen
- Konkretisierung möglicher Flächenkonkurrenzen
- Förderung der Kreislaufwirtschaft, auch durch Verbesserung der stofflichen oder energetischen Verwertung von Abfällen

Ein entsprechendes Forschungsprojekt könnte detaillierte Empfehlungen für die Politikberatung in den Bereichen Naturschutz, Umwelt, Land- und Forstwirtschaft sowie auch für die Wirtschaftsberatung in den Bereichen Umwelttechnik und der Förderung erneuerbarer Energien liefern. Zudem ließen sich darauf aufbauend die Instrumentarien von Landschafts- und Regionalplanung zielgerichtet auf die Planung und Umsetzung einer naturschutzverträglichen energetischen Nutzung von Biomasse mit ihren enormen Ansprüchen an die Natur und die Infrastruktur weiterentwickeln.

## 15 Zusammenfassung

### *Hintergrund und Ziele des F+E-Vorhabens*

Angesichts der weltweiten Klimaveränderung durch den Treibhauseffekt verpflichteten sich die Industriestaaten im Kyoto-Protokoll von 1997, ihre Emission von Treibhausgasen bis zum Jahr 2012 gegenüber 1990 um durchschnittlich 5,2 % zu senken. Eine Strategie des Klimaschutzes ist die Umstellung der Energieproduktion von fossilen auf erneuerbare Energieträger. In der EU wurde dazu im Jahr 2001 die Richtlinie zur „Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt“ erlassen. Diese sieht für Deutschland eine Steigerung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf mindestens 12,5 % im Jahr 2010 vor. Dieses Ziel wurde in Deutschland bereits mit der Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) vom 29. März 2000 gesetzlich verankert und ist Teil des Klimaschutzprogrammes der Bundesregierung.

Bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen wird der Nutzung von Biomasse ein entscheidender Anteil zugemessen. Für den Anwendungsbereich des EEG definiert die Biomasseverordnung (BiomasseV) vom 21.6.2001, welche Stoffe als nutzbare Biomasse gelten. Die Vergütungsregelungen des EEG für Strom aus Biomasse haben die Planungssicherheit der Anlagenhersteller und -betreiber verbessert, so dass zusätzliche Investitionsanreize geschaffen werden konnten. In dem vorliegenden Gesetzentwurf zur geplanten Novellierung des EEG in 2004 ist eine Fortführung der Förderung erneuerbarer Energieträger vorgesehen.

Aus naturschutzfachlicher Sicht ist der Ausbau erneuerbaren Energien zur Vermeidung großräumiger Klimaveränderungen zu begrüßen, da sich die Ziele des Naturschutzes langfristig nicht ohne einen wirksamen Klimaschutz verwirklichen lassen. Jedoch dürfen die formulierten Klimaschutzziele nicht auf Kosten von Naturschutzzielen umgesetzt werden oder mit negativen Auswirkungen auf die Lebensraumverhältnisse verbunden sein, indem z.B. bestehende Konflikte zwischen Naturschutz und Land- bzw. Forstwirtschaft verstärkt werden.

Ziel des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens ist es, mögliche Konflikte und Synergien beim Anbau und der Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung herauszuarbeiten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Stromproduktion in Verbindung mit dem Energiepflanzenanbau in der Landwirtschaft und der forstwirtschaftlichen Nutzung von Energieholz.

### *Konzept*

Das Forschungsvorhaben basiert auf einer umfangreichen Auswertung der aktuellen Fachliteratur im Bereich Biomasse/Erneuerbare Energien insbesondere im Zusammenhang mit naturschutzrelevanten Aspekten. Des Weiteren wurde zu diesem Themenkomplex eine systematische Recherche zentraler Fachbegriffe und Institutionen im Internet vorgenommen. Die daraus gewonnenen Einschätzungen konnten im Verlauf des Vorhabens durch Expertengespräche und Fachworkshops diskutiert und ergänzt werden.

In einem ersten Abschnitt des Projektes erfolgte zunächst eine Zusammenstellung der zur Erzeugung von Wärme und Strom verwendbaren Biomassefraktionen sowie technisch ausgereifter, zur Zeit am Markt verfügbarer Anlagentechnik zur Stromerzeugung aus Biomasse. Dabei wurden einerseits Dampfkraftprozesse zur Verbrennung von holzartiger bzw. halmgutartiger Biomasse und andererseits die Möglichkeiten

der Vergärung von feuchter bzw. trockener Biomasse in Biogasanlagen dargestellt. Des Weiteren wurden die wesentlichen Fördermaßnahmen und gesetzlichen Rahmensetzungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Anbau und die Nutzung von Biomasse aufgeführt. Der erste Abschnitt schließt mit der Zusammenstellung der wichtigsten Einschätzungen zu den aktuell in Deutschland zur Verfügung stehenden Potenzialen unterschiedlicher Biomassefraktionen.

### ***Die Verwertung von Biomasse zur Fermentation in Biogasanlagen***

Zur Vermittlung der technischen Voraussetzungen zur Erzeugung von Biogas sind zunächst die grundlegenden Informationen zur Verfahrenstechnik und zur Fermentertechnologie übersichtlich dargestellt. Wesentliche Fachbegriffe werden erläutert und der Abbauprozess der Biomasse zu Biogas kurz dargestellt. Von den dann aufgeführten Verfahren der Biogasproduktion (Nassvergärung, Trockenfermentation) bietet sich derzeit allein die Nassvergärung, als die am weitesten ausgereifte und als marktgängige Technik, als Basis für die energetische Biomassenutzung an.

Mit Bezug auf dieses Verfahren werden die unterschiedlichen Betriebsstoffe für Biogasanlagen diskutiert. Es folgen Ausführungen zur Vorbehandlung und zur Einbringung von organischen Stoffen in Fermentationsanlagen sowie zu den möglichen Gaserträgen einzelner Substrate. Dabei werden die Anforderungen an Pflanzen genannt, die für hohe Methanerträge wesentlich sind. Die derzeit am häufigsten verwendeten, bzw. im Bezug auf ihre Eigenschaften vornehmlich diskutierten nachwachsenden Rohstoffe, Silomais (*Zea Mays*), Grasschnitt und Futterrüben, werden hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile für die Biogasproduktion ausführlich betrachtet.

Abschließend werden die technischen Grundlagen durch Ausführungen zu der Energieverwertung aus Biogas abgerundet. Dabei wurde auf die folgenden Themen eingegangen: Gasaufbereitung, Nutzung des Biogases zur Wärmeerzeugung sowie Nutzung des Biogases für elektrische Energie.

### ***Die Verwertung von Biomasse in Dampfkraftprozessen***

Für die Verwertung von Biomasse in Dampfkraftprozessen sind die unterschiedlichen Verfahren, Verbrennung, Vergasung und Pyrolyse kurz aufgeführt. Nachfolgend wird der Dampfkraftprozess (Nutzung der Rauchgaswärme aus der Verbrennung) als technisch ausgereiftes und am Markt verfügbares Verfahren in seinen einzelnen Prozessschritten erläutert. Dabei wird auf die folgenden Aspekte eingegangen: Brennstoffzuführung, Feuerungstechniken, Kessel und Wärmetauscher, Emissionsminderung, mögliche Betriebsweisen, Arbeitsmaschinen (Motoren und Turbinen), Netzeinspeisung und die Ascheverwertung. Ergänzend werden im Anschluss daran verschiedene Beispielanlagen vorgestellt.

Im Bezug auf ihre energetische Nutzung wurden die Aufbereitung der Brennstoffe, die Heiz- und Brennwerte sowie weitere relevante Eigenschaften holzartiger und halmgutartiger Biomasse untersucht und Kriterien für die Verwendung dieser Brennstoffe ausgearbeitet.

### ***Fördermaßnahmen und politische Rahmenbedingungen für Anbau und Nutzung von Biomasse***

Als politischer Rahmen werden zunächst internationale Vereinbarungen erläutert, die sind das Kyoto-Protokoll, das Weißbuch der Europäischen Kommission zu erneuerbaren Energien und die EU-Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energien. Danach folgt die Beschreibung von Programmen und Gesetzen auf Bundesebene: Nationales Klimaschutzprogramm, Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und Biomasse-Verordnung. Zusätzlich werden neben weiteren Förderprogrammen insbesondere das Marktanzreizprogramm des Bundeswirtschaftsministeriums und die agrarpolitischen Regelungen der EU beschrieben.

### ***Einschätzungen zum Biomassepotenzial***

Die wichtigste Einschätzung des in Deutschland zur Verfügung stehenden Biomassepotenzials wurden getrennt nach Biomassefraktionen übersichtlich dargestellt. Für den Bereich holzartiger Biomasse wurden Daten zu den Fraktionen Waldenergieholz, Industrierestholz, Altholz und Landschaftspflegeholz zusammengestellt. Unter landwirtschaftlichen Biomassepotenzialen sind entsprechende Daten zu den Fraktionen Stroh, Energiepflanzen sowie Gülle und Mist aufgeführt.

Am Beispiel der Region Hannover konnten zudem durch eine Befragung der wesentlichen Institutionen und Akteure regional konkretisierte und belastbare Daten des zur Verfügung stehenden Biomassepotenzials aus Land- und Forstwirtschaft sowie gewerblich-industriellen Holzreststoffen ermittelt werden.

### ***Energieholznutzung und Naturschutz in der Forstwirtschaft***

Ausgehend von der aktuellen Fachdiskussion zu den Kriterien für eine Gute fachliche Praxis in der Forstwirtschaft wurden für die folgenden Themenkomplexe Einschätzungen zu potenziellen Auswirkungen der energetischen Nutzung von Waldenergieholz vorgenommen: Nährstoffkreisläufe und Holzentnahme, integrativer Naturschutz im Wirtschaftswald (mit Schwerpunkt auf Altholzbeständen, Totholzanteilen, Nist- und Höhlenbäumen sowie dem Mindestalter von Endnutzungsbeständen), Pflege von Waldrändern sowie Bodenschutz und Walderschließung. Es wurde jeweils herausgestellt, inwieweit eine energetische Nutzung Einfluss auf naturschutzfachlich relevante Aspekte haben könnte, welcher Handlungsbedarf sich daraus für den Naturschutz ergibt und ob die Vorschläge der Kriterien zur Guten fachlichen Praxis nach WINKEL & VOLZ (2003) ggf. zu verändern bzw. zu erweitern sind. Ergänzend konnten Hinweise zu den Themenkomplexen Erstaufforstungen, Bestandsbegründung und Waldumbau sowie zum segregativen Naturschutz gegeben werden.

### ***Energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen aus der Landwirtschaft***

Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe aus der landwirtschaftlichen Produktion wurde getrennt nach halmgutartiger Biomasse und dem Anbau von Energiepflanzen zur Fermentation in Biogasanlagen untersucht. Bei den halmgutartigen Energieträgern wurden die derzeitigen Hemmnisse für eine energetische Nutzung vorangestellt, aber auch mögliche Perspektiven für eine zukünftige Nutzung aufgezeigt. Neben der energetischen Verwertung von Stroh als landwirtschaftlichem Nebenprodukt wurde auch der Anbau von Energiegetreide betrachtet. Für beide Energieträger ist eine Einschätzung zu den voraussichtlichen Auswirkungen auf den Naturschutz vorgenommen worden.

Für den Energiepflanzenanbau zur Fermentation wurden zunächst die wichtigsten Einflussfaktoren benannt. Danach sind die für einen Anbau in erster Linie relevanten Biomassefraktionen und die zur Zeit in der Diskussion sowie teilweise bereits in der praktischen Anwendung befindlichen Anbauvarianten aufgeführt. Dies betrifft: (1.) Energiepflanzen im konventionellen Anbau am Beispiel von Silomais, (2.) Energiemaisanbau auf produktiven Standorten, (3.) Mehrkulturnutzung auf produktiven Standorten und (4.) Energiepflanzenanbau auf ertragsarmen Standorten.

Die genannten Anbauvarianten wurden hinsichtlich ihres Einflusses auf Natur und Umwelt überprüft. Als Anhaltspunkte konnten die wichtigsten, bereits aus der allgemeinen Fachdiskussion bekannten, negativen Auswirkungen einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung herangezogen werden. Es wurde für jede Anbauvariante versucht, die potenziellen Auswirkungen durch Bodenverdichtung/Bodenerosion, den

Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, die Eutrophierung von Böden und Gewässern bzw. die Veränderung des Nährstoffhaushaltes sowie die Auswirkungen auf die Artenvielfalt von Flora und Fauna einzuschätzen.

Unabhängig von den Anbauverfahren wurde der Frage nachgegangen, ob die Nachfrage nach Energiepflanzen zu einer verstärkten Entwicklung gentechnisch veränderter Organismen bzw. deren Einsatz in der Land- und Forstwirtschaft führen könnte. Zur Beurteilung dieser Frage wurden die derzeitigen Ziele der Energiepflanzenzüchtung herausgearbeitet und mit dem aktuellen Stand der technischen Möglichkeiten der Grünen Gentechnik verglichen. Ergänzend wurden die wesentlichen rechtlichen Rahmenbedingungen aufgeführt.

### ***Veränderung des Landschaftsbildes durch die Biomasseproduktion***

Ausgehend von einer engen Verbindung zwischen der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung und der Eigenart, Vielfalt und Schönheit der Kulturlandschaft, werden zwei Aspekte der Erzeugung und Nutzung von Biomasse beispielhaft betrachtet, die zu einer nachhaltigen Veränderung des Landschaftsbildes führen könnten. Zum einen wird die Beeinflussung des Landschaftsbildes durch hochwüchsige Kulturen und Aufforstungen und damit in Zusammenhang stehende positive und negative Entwicklungen diskutiert. Zum anderen wurde die Frage aufgegriffen, welchen Einfluss der Energiepflanzenanbau auf die Kulturpflanzenvielfalt haben könnte. Abschließend wird der Einfluss von baulichen Anlagen zur Lagerung und Verarbeitung von Biomasse auf das Landschaftsbild betrachtet.

### ***Synergieansätze zwischen Naturschutz und Biomassenutzung***

Stellvertretend für zahlreiche potenzielle Synergieansätze konnten vier für den Naturschutz bedeutsame und von einer angepassten Bewirtschaftung bzw. Pflege abhängige Lebensräume als Beispiele aufgegriffen werden. Für Niedermoore, Wallhecken und Knicks, Nieder- und Mittelwälder sowie Naturschutzgrünland wird nach Wegen gesucht, das anfallende Schnittgut energetisch zu verwerten und dadurch einen Kostenbeitrag zur Deckung der Bewirtschaftung zu erzielen. Nach einer kurzen Beschreibung der naturschutzfachlichen Bedeutung der Lebensräume wird jeweils die Option einer energetischen Nutzung dargestellt und soweit möglich mit wirtschaftlichen Daten ergänzt.

### ***Gesamteinschätzung und Handlungsbedarf***

Der Bericht schließt mit einer Gesamteinschätzung zu den technischen Verfahren zur energetischen Nutzung von Biomasse und deren Grenzen hinsichtlich der Anwendbarkeit. Der weitere Handlungsbedarf aus Sicht des Naturschutzes wird aufgezeigt.

## 16 GESAMTQUELLENVERZEICHNIS

- AGE (1999): Strom für 500 Vier-Personen-Haushalte. – Energiepflanzen 2/1999: S. 12
- AMMER, U. (2000): Landschaftsgestaltung durch Waldvermehrung, in: Stiftung Wald in Not [Hrsg.] (2000), Informationsbroschüre: Wir brauchen mehr Wald, Band 10, S. 28-33
- BALKOVA, J.; BOESCHEN, U. & BUCHS, W. (1998): Entsorgung von Holzabfällen aus Hessen 1993-1997. - Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz 256. – Wiesbaden, 102 S.
- BAUDISCH, CH.; KRICHBAUM, CH. & WITTKOPF, S. (2003): Hackschnitzel aus Fichtenkronen. Energieholznutzung und Waldschutz im Einklang. - LWF aktuell 39: S. 7-10
- BAUMGARTEN, M.; DÖRING, C.; FÜRST, C.; JANSEN, M.; JENSSEN, M. & KLINS, U. [Hrsg.] (2003): Förderschwerpunkt „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“ im Rahmen des Förderprogrammes „Forschung für die Umwelt (1998-2003) des Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)“. – Bonn, 59 S.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU (o. Jahr): Sachgebiet Mineralische Düngung, Nährstoffdynamik, Düngung und Gewässerschutz (BL 2). - Freising. - In: BRETTSCHUH 2000
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (2002): Bereitstellung von Waldhackschnitzeln, Merkblatt Nr. 10, November 2002 - Freising.
- BEIER, C. & DÖTSCH, C. (2003): Einsatz, Potenziale, Perspektiven umweltfreundlicher Energien in Deutschland. - Oberhausen, 84 S.
- BERG, E. (2003): Moorschutzkonzept in Mecklenburg-Vorpommern. – Naturschutz und Landschaftsplanung 35 (10): S. 314-316
- BIOGASFORUM DES LANDWIRTSCHAFTSMINISTERIUMS HANNOVER (2003): Protokoll der Sitzung vom 9.9.2003, unveröffentlicht
- BIOMASSE INFO-ZENTRUM (BIZ) am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart [Hrsg.] (2002a): Basisdaten Bioenergie Deutschland, Stand: September 2002, Stuttgart
- BIOMASSE INFO-ZENTRUM (BIZ) am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart [Hrsg.] (2002b): Getreideheizung – Rechtliche und technische Aspekte. - Stuttgart, 10 S.
- BIOMASSE INFO-ZENTRUM (BIZ) am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart [Hrsg.] (2002c): Basisdaten Biogas Deutschland, Stand: Juli 2002, Stuttgart.
- BLASCHTA, E. (2001): Erfahrungen aus dem Betrieb von Biomasseheizkraftwerken. - In: NIEDERSÄCHSISCHE ENERGIE-AGENTUR [Hrsg.]: Kraft-Wärme-Kopplung mit Holz. - Tagungsband des Seminars im Rahmen der LIGNAplus vom 22.05.2001. – Hannover, S. 27-32
- BLICK, T. & BURGER, F. (2002): Wirbellose in Energiewäldern. Am Beispiel der Spinnentiere der Kurzumtriebsfläche Wöllershof (Oberpfalz, Bayern). - Naturschutz und Landschaftsplanung 34 (9) 2002: S. 276-284
- BMELF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) [Hrsg.] (1994): Nationaler Waldbericht. Bericht der Bundesrepublik Deutschland zur Bewirtschaftung, Erhaltung und nachhaltigen Entwicklung der Wälder in Deutschland. – Bonn, 94 S.

- BMELF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) [Hrsg.] (1997): Waldbericht der Bundesregierung. – Bonn, 54 S.
- BMELF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) [Hrsg.] (2000a): Biogas – eine natürliche Energiequelle. – Bonn, 24 S.
- BMELF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) [Hrsg.] (2000b): Nationales Forstprogramm Deutschland. Ein gesellschaftspolitischer Dialog zur Förderung nachhaltiger Waldbewirtschaftung im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung 1999/2000. – Bonn, 71 S.
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) & FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) [Hrsg.] (2001): Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit. - Bonn, 281 S.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft (Hrsg.) 2000: Jetzt erneuerbare Energien nutzen. Anwendungsbeispiele, Förderprogramme und Adressen, Berlin.
- BREITSCHUH G., ECKERT, H., REINHOLD, G., VETTER, A. (1999): Bioenergie zwischen Weißbuch und Agenda 2000. In: Technische Universität Freiberg (Hrsg.): 5. Internationale Fachtagung 1999. Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Freiberg.
- BRENDÖRFER, M. (1994): Ernte- und Bereitstellungstechnik. - In: KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.) [Hrsg.]: Energetische Nutzung von Biomasse, 138 (KTBL-Schriften, 199) – Reinheim
- BRETSCHUH, A. (2000): Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen. Auf der Suche nach aktuellen Erkenntnissen zum Thema Biogasanlagen. - Witzenhausen (Gesamthochschule Kassel, Fachbereich Landwirtschaft, Internationale Agrarentwicklung und Ökologische Umweltsicherung), (Diplomarbeit), 83 S.
- BUDDENBERG J., KRALEMANN M. (2002): Status und Entwicklungstendenzen des Energieholzmarktes in Deutschland am Beispiel Niedersachsen. Studie der Niedersächsischen Energieagentur, Hannover. 34 S.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1999): Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. - Bonn, 669 S.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2002): Erneuerbare Energien und nachhaltige Entwicklung. Förderüberblick-Ansprechpartner und Adressen. – Berlin, 79 S.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2003): Umweltpolitik. Erneuerbare Energie in Zahlen. Stand März 2003. – Berlin, 32 S.
- BUTLAR, VON CHR. (1996): Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen über den Weg der energetischen Nutzung von Ganzpflanzen – am Beispiel der Wintergerste. - Kassel/Witzenhausen (Universität Kassel), (Dissertation), 193 S.
- CARIUS, W. (2002): Grünlandmanagement und Biogaserzeugung am Beispiel „Mittleres Delmetal“. - BUND-Projekt, unveröffentlicht. – Zit. in: SCHWEPPE-KRAFT (2003), S. 14-16
- COCH, T. & MÜLLER-BAUERFEIND, M. (2002): Wiederaufnahme des Mittelwaldbetriebes im Opfinger Mooswald. - Naturschutz und Landschaftsplanung 34 (6): S. 165-170
- DA COSTA GOMEZ, C. (2002): Biogas - Mit Visionen die Landwirtschaft der Zukunft gestalten. - Biogas Journal (Freising) 2/Nov. 2002: S. 6-8
- DEIMLING, S. & KALTSCHMITT, M. (2001): Biogene Festbrennstoffe als nachwachsende Energieträger. – In: BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) & FNR ( Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) [Hrsg.] 2001: S. 13-44

- DICHTL, H. (2001): SiPeb<sup>TM</sup> Biomassekraftwerke- Heißluftturbinenprozess mit Schüttgut-Regeneratoren. - In: OSTBAYERISCHES TECHNOLOGIE-TRANSFER-INSTITUT E.V. (OTTI) [Hrsg.]: Zehntes Symposium - Energie aus Biomasse - Biogas, Pflanzenöl, Festbrennstoffe. 22./23. Nov. 2001 - Kloster Banz, S. 104-106
- DIETER, M. & ENGLERT, H. (2001): Abschätzung des Rohholzpotenzials für die energetische Nutzung in der BRD. – Hamburg, 31 S.
- DILGER, M. zit. in: LÜTZENKIRCHEN, C. (2003): Kraftwerke im Boom. - Sonne, Wind und Wärme 5/2003: S. 84-88
- DVWK (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) [Hrsg.] (1997): Neophyten – Gebietsfremde Pflanzenarten an Fließgewässern – Empfehlungen für die Gewässerpflege. – Mainz
- EL BASSAM, N. & SEIDEWITZ, L. (1993): Evaluierungsdaten zur Zuckerhirse. - Broschüre über fruchtart-spezifische Evaluierungsdaten der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). - Braunschweig-Völkenrode
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 5., stark veränderte und überarbeitete Auflage. – Stuttgart, 1096 S.
- E.ON KRAFTWERKE GMBH (2003): Geplante Biomassenutzung von E.ON Kraftwerke GmbH. - Hannover
- FESA (2002): Land- und forstwirtschaftliche Biomasse zur Energiegewinnung. Situation, Potenziale und Perspektiven für die Region. - Freiburg, 46 S.
- FACHVERBAND BIOGAS E.V. (2003): Stellungnahme zum Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren-Energien im Strombereich. Stand 25.11.2003, 5 S.
- FICHTNER GMBH & CO. KG (2002a): Evaluierung der Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Endbericht erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. - Stuttgart, 289 S.
- FICHTNER GMBH & CO. KG (2002b): Markt- und Kostenentwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Gutachten im Auftrag der Bundesinitiative Bioenergie (BBE). - Stuttgart, 76 S.
- FIRMA SPILLINGWERK GMBH (2003): Produktinformation der Firma Spillingwerke GmbH.
- FISCHER, J. (2003): Energetische Nutzung von Getreide. Verbrennung vs. Biogas. - Biomasse Info-Zentrum, Präsentation vom 27. Juni 2003. - Friedberg, 18 S.
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) (2000): Energie aus Biomasse. – Gülzow, 128 S.
- FORSTABSATZFONDS [Hrsg.] (1998): Holzenergie für Kommunen. Ein Leitfaden für Kommunen. - Bonn, 144 S.
- Fritsche U., Dehoust G., Jenseit W., Hünecke K., Rausch L., Schüler D., Wiegmann K., Heinz A., Hiebel M., Ising M., Kabasci S., Unger C., Thrän D., Fröhlich N., Scholwin F., Reinhardt G., Gärtner S., Patyk A., Baur F., Bemman U, Groß B., Heib M., Ziegler C., Flake M., Schmehl M., Simon S. 2004: Stoffstromanalyse zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse. Endbericht zu einem F+E-Vorhaben des Bundesministeriums für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit – Projektträger FZ Jülich. 263 S.
- GENSIOR, A. & KÖLLING, C. (2002): Stickstoffinventur Bayerischer Waldböden. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Band 98: S. 37-38
- GRAF, W. (2002): Der Bauer als Energiewirt. - In: ENERGIEAGENTUR NRW, EUROSOLAR E.V. [Hrsg.]: Der Landwirt als Energie- und Rohstoffwirt. Produktion, Ausbildung, Arbeitsplätze. Konferenzband 2002. - Bonn, S. 45-48

- GROSSER, K. H. & QUITT, H. (1998): Wälder und Gehölze. – In: WEGENER, U. [Hrsg.]: Naturschutz in der Kulturlandschaft – Schutz und Pflege von Lebensräumen. – Jena, S. 59-98
- GRUBER, W. 2003: Biogasanlagen in der Landwirtschaft. Hrg. aid, infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e.V., Bonn. 48 S.
- GUSSONE, H. A. (1991): Forstliche Düngung. - Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID) e.V. [Hrsg.]. - Bonn, 17 S.
- HARTMANN, H. (2001): Die energetische Nutzung von Stroh und strohähnlichen Brennstoffen in Kleinanlagen. - In: FNR [Hrsg.]: Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. - Gülzower Fachgespräche Band 17. - Tautenhain, S. 62-85
- HARTMANN, H. & MADEKER, U. (1997): Der Handel mit biogenen Festbrennstoffen. Anbieter, Absatzmengen, Qualitäten, Service, Preise. - Bericht Nr. 28, Landtechnik Weihenstephan [Hrsg.]. - Freising, 65 S.
- HARTMANN H. & STREHLER, A. (1995): Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht. Abschlußbericht für das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML). – Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ 3. – Münster, 396 S.
- HEINRICH, P. & JAHRAUS, B. (2001): Technik und Wirtschaftlichkeit biogener Festbrennstoffe zur Strom- und Wärmeerzeugung: Wirtschaftlichkeit marktgängiger Verfahren, technische und ökonomische Potenziale neuer Technologien. - VDI-Fachtagung "Thermische Nutzung von fester Biomasse". - Salzburg 16.-17. Mai 2001, 16 S.
- HENNECKE, H-H. (2003): Tipps zur Agrarförderung Fläche 2003. - Land und Forst 8/2003: S. 8-9
- HENTSCHEL, J. (2002): Perspektiven Erneuerbarer Energien - Teil 3: Biomasse. - In: KFW-RESEARCH MITTELSTANDS- UND STRUKTURPOLITIK 27, S. 15-24
- HERING, TH. (2001): Stroh- und Ganzpflanzenverbrennung am Beispiel der Strohheizwerke Schkölen und Jena. - In: FNR [Hrsg.]: Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. - Gülzower Fachgespräche Band 17. - Tautenhain, S. 114-127
- HOFMANN, J. (2000): Grundlagen der Biogaserzeugung, Biogas-Offensive Niederbayern. - Tagungsband zur Informationsveranstaltung am 13. Juli 2000 an der Regierung von Niederbayern. - Landshut, 10 S.
- HOFMANN, M. (2002): Anbau von Pappeln auf landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen zur Erzeugung von Holzstoff für die Papierherstellung. - Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten Merkblatt 12. - Hann. Münden, 24 S.
- HÖRTER, A.; KRALEMANN, M. & DIETERICH, A. (2001): Bedeutung der Bioenergie für die Energieversorgung 2010 und Möglichkeiten der KWK-Kopplung. - In: NIEDERSÄCHSISCHE ENERGIE-AGENTUR [Hrsg.]: Kraft-Wärme-Kopplung mit Holz. - Tagungsband des Seminars im Rahmen der LIGNAplus vom 22.05.2001. - Hannover, S. 2-6
- IER (Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung) (1998): Regenerative Energieträger zur Stromerzeugung. II. - Vorlesungsmanuskript SS 1998 (M. Kaltschmitt). - In: KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.)
- INFORMATIONSTELLE BEN & NIEDERSÄCHSISCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (2003): Biogene Festbrennstoffe. - Informationsbroschüre. – Hannover
- INSTITUT FÜR ENERGETIK UND UMWELT (2002): Monitoring zur Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG), Zwischenbericht zum F+E Vorhaben 201 41 132 des UBA. - Leipzig, 44 S.

- INSTITUT FÜR ZUKUNFTSENERGIESYSTEME (2002): Studie zur Weiterentwicklung der energetischen Verwertung von Biomasse im Saarland. Teil 1, Herleitung von Biomasse-Potenzialen in unterschiedlichen Betrachtungsebenen, Abschlussbericht. - Saarbrücken, 86 S.
- JANZING, B. (2001): Gras liefert Energie für die Stadt Schaffhausen. - Die SolarRegion 1/2 2001: S. 8-9
- JANZING, B. (2003): Weltweit erstes Graskraftwerk in Konkurs. - Artikel in: TAZ (die tageszeitung) vom 01.09.2003
- JEDICKE, E. (1998): Pappel- und Weiden-Kurzumtriebsplantagen aus naturschutzfachlicher Sicht – Aspekte zur Bewertung neuartiger Elemente der Kulturlandschaft. – In: Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg Nr. 27, 1998.
- KALTSCHMITT, M. (1993): Biogas, Potenziale und Kosten. - KTBL-Arbeitspapier 178. – Darmstadt, 527 S.
- KALTSCHMITT, M. (1994): Energiepotentiale der Biomasse. - Energetische Nutzung von Biomasse 138 – In: KTBL-Schriften 199, Reinheim
- KALTSCHMITT, M. & HARTMANN, H. [Hrsg.] (2001): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. – Springer Verlag, Berlin – Heidelberg - New York, 770 S.
- KALTSCHMITT, M. & REINHARDT, G. [Hrsg.] (1997): Nachwachsende Energieträger. Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. - Braunschweig, Wiesbaden, 527 S.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. (1997): Konzepte für den Energiepflanzenbau. Perspektiven eines pestizidfreien Anbaus von Energiepflanzen zur thermischen Verwertung im System der Zweikulturnutzung. - Frankfurt am Main, 183 S.
- KESTEN, E. (2003): Energiefarming. Neue Aufgaben für die Pflanzenzüchtung. – DLG-Nachrichten 5/2003: S. 95-100
- KEYMER, U. (2003): Wirtschaftlichkeit der Verbrennung von Energiegetreide und Strohpellets in Kleinanlagen. – In: KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.) [Hrsg.]: KTBL-Fachgespräch „Energetische Nutzung von Getreide in Kleinf Feuerungsanlagen“. 12./13. Februar 2003 in Petersberg-Almendorf (bei Fulda). – Darmstadt
- KEYMER, U. & SCHILCHER, A. (2000): Gas aus Silomais und Grassilage rentabel? - In: MEDENBACH, M. C. [Hrsg.]: 3. Tarmstetter Forum. Erneuerbare Energie in der Land(wirt)schaft. – Zeven, S. 27-29
- KLIMASCHUTZAGENTUR HANNOVER [Hrsg.] (2002): Potenzialermittlung biogener Festbrennstoffe in der Region Hannover. - Hannover, 106 S.
- KLINSKI, S. (2002): Rechtliche Rahmenbedingungen und Probleme der Stromerzeugung aus Biomasse. Erstellt im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens des Umweltbundesamtes „Erneuerbare Energien – Rechtliche Fragen“. - Berlin, 69 S.
- KNACKFUß, G. (2003): Biomasse hat Zukunft. – Sonne, Wind & Wärme 5/2003: S. 78
- KNICKEL, K.; JANBEN, K.; SCHRAMEK, J. & KÖPPL, K. (2001): Naturschutz und Landwirtschaft: Kriterienkatalog zur „Guten fachlichen Praxis“. Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 898 88 032 des Bundesamtes für Naturschutz. - Schriftenreihe Angewandte Landschaftsökologie 41. – Bonn, Bad Godesberg, 152 S.
- KÖLLING, C. (2000): Luftverunreinigungen und Auswirkungen in den Wäldern Bayerns. – In: LWF (Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft): LWF-Bericht 22, Freising.
- KÖPCKE, R. & SCHMIDTFRERICK, K. (2002): Kampf bis aufs Messer, Neue Energie, Oktober 2002

- KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (1997): Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger. Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan. - KOM (97) 599. - Brüssel, 63 S.
- KORNECK, D.; SCHNITTLER, M.; KLINGENSTEIN, F.; LUDWIG, G.; TAKLA M.; BOHN, U. & MAY, R. (1998): Warum verarmt unsere Flora? Auswertung der Roten Liste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Schriftenreihe für Vegetationskunde 29: 299-444.
- KREIKENBOHM, I. (2001): Potenzialermittlung zur regionalen Versorgung mit biogenen Festbrennstoffen unter Zugrundelegung ökologischer Aspekte. Diplomarbeit am Institut für Landesplanung und Raumforschung und am Institut für Naturschutz und Landschaftspflege der Universität Hannover, unveröffentlicht.
- KREUTZER, K. (1980): Der Einfluss moderner Holzernteverfahren auf die Ökologie des Waldes, Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 8, 229-233.
- KÜSTER, H. (1999): Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa. - München, 424 S.
- LAND UND FORST (2003e): Wochenblatt für Landwirtschaft, Familie und Landleben./Die Grüne, Mitteilungsblatt der Landwirtschaftskammer Hannover 39, 156. Jahrgang
- LAND UND FORST (2003d): Wochenblatt für Landwirtschaft, Familie und Landleben, Die Grüne, Mitteilungsblatt der Landwirtschaftskammer Hannover 47, 156. Jg.: S. 35
- LAND UND FORST (2003c): Ein ganzes Dorf setzt auf Biomasse Wochenblatt für Landwirtschaft, Familie und Landleben/Die Grüne, Mitteilungsblatt der Landwirtschaftskammer Hannover 18, 156. Jg.: S. 36-38
- LAND UND FORST (2003a): Zwei Bauern produzieren Ökostrom. - Wochenblatt für Landwirtschaft, Familie und Landleben/Die Grüne, Mitteilungsblatt der Landwirtschaftskammer Hannover 27, 156. Jg.: S. 24-26
- LAND UND FORST (2003b): Neuer schädlicher Käfer im Mais. - Wochenblatt für Landwirtschaft, Familie und Landleben/Die Grüne, Mitteilungsblatt der Landwirtschaftskammer Hannover 42, 156. Jg.
- LAND UND FORST (2003f): Wochenblatt für Landwirtschaft, Familie und Landleben/Die Grüne, Mitteilungsblatt der Landwirtschaftskammer Hannover, Nr. 42, 156. Jg.
- LAND UND FORST (2003g): Flächenstilllegungssatz auf 5% absenken. - Wochenblatt für Landwirtschaft, Familie und Landleben/Die Grüne, Mitteilungsblatt der Landwirtschaftskammer Hannover 47, 156. Jg.: S. 4
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER (2001): Zahlen aus der Landwirtschaft 2001. - 87 S.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER (2002): GAP-Fläche 2002: KST-Hannover. Tabellenauszug
- LEIBLE, L. et al. (2003): Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. - Wissenschaftliche Berichte, Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse. - 278 S.
- LEMMER, A. & OECHSNER, H. (2001a): Einsatz von Mähgut landwirtschaftlich nicht genutzter Flächen als Kosubstrat in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. – Tagungsband zur 5. Internationalen Tagung „Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung“. - Stuttgart
- LEMMER, A. & OECHSNER, H. (2001b): Kofermentation von Gras oder Silomais und Flüssigmist. - In: OSTBAYERISCHES TECHNOLOGIE-TRANSFER-INSTITUT E.V. (OTTI) [Hrsg.]: Zehntes Symposium - Energie aus Biomasse - Biogas, Pflanzenöl, Festbrennstoffe. 22./23. Nov. 2001. - Kloster Banz, S. 144-153
- LEMMER, A. & OECHSNER, H. (2003): Technische und wirtschaftliche Voraussetzungen zum erfolgreichen Energiefarming. - Vortrag im Rahmen der Fachtagung „Energiefarming und Biogas“ des Biogasforum Niedersachsen am 10.11.2003 in Hannover

- LEWANDOWSKI, I. & KALTSCHMITT, M. (1998): Voraussetzungen und Aspekte einer nachhaltigen Biomasseproduktion. - Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg Band 27: S. 19-38
- LIESEBACH, M. & MULSOW, H. et. al (1999): Modellvorhaben „Schnellwachsende Baumarten“. Zusammenfassender Abschlußbericht. - Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, S. 455-476
- LINDEN, R. (1998): Denaro Biomassepotenzialstudie: Erfassung und Bewertung von biogenen Rohstoffen für den energetischen und stofflichen Einsatz an konkreten Standorten im Raum Dormagen. - Unna, Hemmerde
- LOIK, H. & HÖLDER, D. (2002): Geschlossener Naturkreislauf: Strom, Wärme und Kälte für die Herstellung bioabbaubarer Produkte und ein landwirtschaftliches Unternehmen. - In: ENERGIEAGENTUR NRW, EUROSOLAR E.V [Hrsg.]: Der Landwirt als Energie- und Rohstoffwirt. Produktion, Ausbildung, Arbeitsplätze. - Konferenzband 2002. - Bonn, S. 31-35
- LUCKE, I. (2002): Biogas - die regenerative Energie der Zukunft. – Vechta (Hochschule Vechta, Fachbereich für Umweltwissenschaften), (Diplomarbeit), unveröffentlicht
- LUTZ, P. (2001): Die Trockenfermentation. Eine Verfahrensentwicklung der Firma BEKON zur Biogas-erzeugung aus schüttfähigen Biomassen. - In: OSTBAYERISCHES TECHNOLOGIE-TRANSFER-INSTITUT E.V. (OTTI) [Hrsg.]: Zehntes Symposium - Energie aus Biomasse - Biogas, Pflanzenöl, Festbrennstoffe. 22./23. Nov. 2001. - Kloster Banz, S. 199-206
- LÜTZENKIRCHEN, CH. (2003): Kraftwerke im Boom. - Sonne, Wind und Wärme 5/2003: S. 84-88
- MAIER, J.; VETTER, R.; SIEGLE, V. & SPLIETHOFF, H. (1998): Anbau von Energiepflanzen-Ganzpflanzengewinnung mit verschiedenen Beerntungsmethoden (ein- und mehrjährige Pflanzenarten), Schwachholzverwertung. Forschungsvorhaben, Abschlußbericht.
- MANTAU, U. & WEIMAR, H. (2002): Altholz und Sägerestholzaufkommen in Deutschland. – In Holz.Energie 2002. Internationaler Fachkongress für Holzenergie. 30.-31.10.2002 – Tagungsband S. IV 113-122
- MARUTZKY, R. (2003): Neue Wettbewerbssituation bei Holzsortimenten. - Holz-Zentralblatt 10/2003: S.180-181
- MARUTZKY, R. & SEEGER, K. (1999): Energie aus Holz und anderer Biomasse. Grundlagen, Technik, Emissionen, Wirtschaftlichkeit, Entsorgung, Recht. - Leinfelden-Echterdingen, 352 S.
- MEINHARDT N. (2000): Energieholzpotential Baden-Württembergs im Focus. Holzzentralblatt.
- METTE, R. (2003): Verwertung von Landschaftspflegeholz. - Vortrag BfN-Workshop „Potenziale und Entwicklungen der energetischen Biomassenutzung“ vom 16. bis 19. Juni 2003 an der Internationalen Naturschutzakademie Insel Vilm
- METTE, R.; COESTER, M. & UCKERT, G. (1997): Möglichkeiten zur Integration der Landwirtschaft in regionale Stoffkreislaufkonzepte. - VDLUFA Kongressband 1997, S. 517-520
- METTE, R.; UCKERT, G.; SATTELMACHER, B.(2000): Potential of North German Hedgerow Network as a Sustainable Biofuel Source -Working towards Regional Carbon, Energy an Nutrient Cycles - University of Kiel. - In: 1<sup>st</sup> World Conference on Biomass for Energy and Industry. - Sevilla, Spain, 5-9 June 2000: S. 323-326
- MITTERLEITNER, X.; KEYMER, U. & SCHILCHER, A. (2000): Bio gibt Gas. Silomais: verarbeiten, vergären, verstromen. - Landwirtschaftsblatt Weser-Ems 12
- NIEDERSÄCHSISCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH, INFORMATIONSSTELLE BEN (2000). Sonne, Wind und Wärme 5/2000: S. 46-50

- NIEDERSÄCHSISCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH, INFORMATIONSTELLE BEN (2002): Potentiale verschiedener Bioenergieträger in Niedersachsen oder deutschlandweit. - Informationsblatt
- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK (2001a): Gemeindetabelle: Landwirtschaftliche Betriebe mit Viehhaltung. - Niedersächsisches Landesamt für Statistik
- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK (2001b): Tabelle: Umrechnungsschlüssel für Großvieheinheiten. - Niedersächsisches Landesamt für Statistik
- ÖKO-INSTITUT E.V. (2002): Gen-Transfer – na und? Wissenschaftliche und rechtliche Hintergründe. - Gentechnik Nachrichten Spezial 11/12, 20 S.
- PILATE et al. (2002): Field and pulping performances of transgenic trees with altered lignification. - Nature Biotechnology 20: S. 607-612
- RADEMACHER, P.; BUB, B. & MÜLLER-USING, D. (1999): Waldbau und Nährstoffmanagement als integrierte Aufgabe in der Kiefernwirtschaft auf armen pleistozänen Sanden. – Forst und Holz 1999 (11): 330-335
- RADEMACHER, P.; MEESENBURG, H. & MÜLLER-USING, B. (2001): Nährstoffkreisläufe in einem Eichenwald-Ökosystem des nordwestdeutschen Pleistozäns. – Forstarchiv 72: 43-54
- REIF, A.; COCH, T.; KNOERZER, D. & SUCHANT, R. (2001): Wald. - 4. Erg. zum Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege 3/01. – Landsberg, S. 87
- REINHOLD, G. (2001): Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Feldfrüchten in größeren landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Erträge und Nutzungskosten. - In: OSTBAYERISCHES TECHNOLOGIE-TRANSFER-INSTITUT E.V. (OTTI) [Hrsg.]: Zehntes Symposium - Energie aus Biomasse - Biogas, Pflanzenöl, Festbrennstoffe. 22./23. Nov. 2001. - Kloster Banz, S. 139-144
- RIECKEN, U.; RIES, U. & SSYMANEK, A. (1994): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen in der Bundesrepublik Deutschland. - Bundesamt für Naturschutz [Hrsg.]. - Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 41. - Greven, 184 S.
- RILLING, N. (2001): Vortrag zum Thema: Inputoptimierung bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Vergärung nachwachsender Rohstoffe, Der Markt für Kofermentate. Veröffentlicht vom LEB Arbeitskreis Biogas. - Nienburg, 28 S.
- RODE, M. W. (1993): Leaf nutrient accumulation and turnover at three stages of succession from heathland to forest. - Journal of Vegetation Science. 4: 263-268
- RODE, M. W. (1996): Nährstoffverfügbarkeit als steuernder Faktor natürlicher Waldentwicklung: Ernährungszustand konkurrierender Baumarten. - Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 26: 133-138
- RODE, M. W. (1997): Fließende Übergänge - Problematik und Chancen von Waldsukzessionsstadien an Waldrändern artenarmer Schutzgebiete. - Natur- und Kulturlandschaft 2: 118-126
- RODE, M. W. (1999): Influence of forest growth on former heathland on nutrient input and its consequences for nutrition and management of heath and forest. - Forest Ecology and Management 114: 31-43
- RODE, M. W. & SCHMITT, U. (1995): Nutrient distribution and enrichment within the above-ground biomass of three successional ecosystems. – Aarhus Geoscience 4: 45-52
- ROSSMANN, D. (1996): Lebensraumtyp Nieder- und Mittelwälder. – Landschaftspflegekonzept Bayern. Bd. II. 13. - München, 302 S.
- RUNGE, M. & RODE, M. W. (1991): Effects of soil acidity on plant associations. - In: ULRICH, B. & SUMNER, M. E. (editors): Soil acidity. – Berlin, New York: 183-202
- SRU (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN) (1998): Umweltgutachten 1998. – Stuttgart

- SCHATTNER, S. & GRONAUER, A. (2000): Methanbildung verschiedener Substrate - Kenntnisstand und offene Fragen. - In: FNR [Hrsg.]: Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial. - Gülzower Fachgespräche Band 15. - Weimar, S. 28-40
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Aufl. – Heidelberg, 593 S.
- SCHEFFER, K. (1995): Brennstoff aus feucht-konservierter Biomasse – eine ökologische und ökonomische Alternative. - Mitteilungen der Norddeutschen Naturschutz Akademie (NNA) 1: S.128-129
- SCHEFFER, K. (1998): Ein produktives, umweltschonendes Ackernutzungskonzept zur Bereitstellung von Energie und Wertstoffen aus der Vielfalt der Kulturpflanzen – Ansätze und neue Wege. - Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg 27: S. 65-79
- SCHEFFER, K. (2002): Grundwasser und Bodenschutz durch den Anbau von Energiepflanzen. - In: ENERGIEAGENTUR NRW, EUROSOLAR E.V. [Hrsg.]: Der Landwirt als Energie- und Rohstoffwirt. Produktion, Ausbildung, Arbeitsplätze. Konferenzband 2002. - Bonn, S. 23-27
- SCHERZINGER, W. (1996): Naturschutz im Wald. Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung. – Jedicke, E. [Hrsg.]: Praktischer Naturschutz. - Stuttgart, 477 S.
- SCHEURLIN, K.; THIELE, M. & WETTSTEIN, C. (2003): F+E-Vorhaben: Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien. Teilbericht: Wirkfaktoren bei der energetischen Nutzung von Biomasse. - 46 S., unveröffentlicht
- SCHIEBELSBERGER, B. (2001): Energetische Nutzung von Ganzpflanzen und Landschaftspflegeaufwüchsen. - In: FNR [Hrsg.]: Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. - Gülzower Fachgespräche Band 17. - Tautenhain, S. 8-17
- SCHMIED AG HOLZFEUERUNGEN (2002): Produktinformation
- SCHMIDT, U. (2003): Wie die Saat, so die Erde. – Mais, Die Fachzeitschrift für den Maisanbauer 2/2003: S. 42
- SCHOLZ, V. et al.; (1999): Umwelt- und technologiegerechter Anbau von Energiepflanzen. Forschungsbericht des Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB) sowie der Landesanstalt für Landwirtschaft Brandenburg. Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung Müncheberg e.V. - Potsdam-Bornim, 103 S.
- SCHULZ, H. & EDER, B. (2001): Biogas Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele. 2. überarbeitete Auflage. - Staufen, 165 S.
- SCHUPP, D. & DAHL, H.-J. (1992): Wallhecken in Niedersachsen. - Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 12. Jg., Nr. 5/1992, Niedersächsisches Landesverwaltungsamt Fachbehörde für Naturschutz. - Hannover, 176 S.
- SCHÜTTE, A. (2001): Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. Ergebnisse der Diskussion und Zusammenfassung. - In: FNR [Hrsg.]: Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. - Gülzower Fachgespräche Band 17. - Tautenhain, S.138-143
- SCHWEPPE-KRAFT, B. (2003): Biogasverwertung von Grünlandaufwuchs – Chance für Landwirtschaft, Klima- und Naturschutz. - Dokumentationsreihe Graskraft-Seminare. – 7. Graskraft-Seminar, 14. November 2003, Verwertung von Gras aus Naturschutz und Landschaftspflege. - Plauen/Vogtland, 46 S.
- SEIBERT, P. (1961): Der Einfluss der Niederwaldwirtschaft auf die Vegetation. - In: TÜXEN, R. [Hrsg.]: Anthropogene Vegetation – Bericht über das Symposium in Stolzenau/Weser 1961 der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde. - den Haag 1966, S. 336

- STAIB, F. (2001): Jahrbuch Erneuerbare Energien 2001. – Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg [Hrsg.:]. - Radebeul, 436 S.
- STAIB, F. (2003): Jahrbuch Erneuerbare Energien 2003. - Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg [Hrsg.:]. - Radebeul, 425 S.
- STEFFEN, H. (2002): Trockenfermentation nachwachsender Rohstoffe nach dem 3A-Verfahren. - In: ENERGIEAGENTUR NRW, EUROSOLAR E.V. [Hrsg.]: Der Landwirt als Energie- und Rohstoffwirt. Produktion, Ausbildung, Arbeitsplätze. Konferenzband 2002. - Bonn, S. 41-45
- STIEGLER, M. (2000): Grundlagen der Biogasproduktion, Skript zum Themenblock: Anlagentypen, Verweilzeiten, Betriebstemperaturen, Wirkungsgrad, veröffentlicht vom LEB Arbeitskreis Biogas. - Nienburg, 25 S.
- STOCK, H.-G. & DIEPENBROCK, W. (1999): Agronomische Artenpässe landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Bedeutung und Anbauverfahren wichtiger landwirtschaftlicher Fruchtarten in Kurzfassung. - Aachen, 162 S.
- TENHUNEN, J.D. et al. (2001): Assessing environmental influences on ecological function of a spruce forest catchment in the Fichtelgebirge. - In: TENHUNEN, J.D.; LENZ, R. & HANTSCHER, R. (eds.): Ecosystem approaches to landscape management in Central Europe. - Ecological Studies 147: 357-375
- THRÄN, D. & KALTSCHMITT, M. (2001): Stroh als biogener Festbrennstoff in Europa. - In: FNR [Hrsg.]: Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. - Gülzower Fachgespräche Band 17. - Tautenhain, S. 85-103
- TILL, A. (2001): Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplung mit Dampfmotoren. - In: NIEDERSÄCHSISCHE ENERGIE-AGENTUR [Hrsg.]: Kraft-Wärme-Kopplung mit Holz, Tagungsband des Seminars im Rahmen der LIGNAplus vom 22.05.2001. – Hannover, S. 40-47
- TREIBER, R. (2002): Mittelwaldnutzung – Grundlage der Vegetationsdynamik und Artenvielfalt in Wäldern der südsächsischen Hardt. - Naturschutz und Landschaftsplanung 34 (11): S. 334-345
- TRITTIN, J. (2003): Ziele und Eckpunkte der geplanten EEG-Novelle. Rede zum Neujahrsempfang BWE/FV Biogas/VDMA, 28.01.2003. – Berlin
- VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten) (2000): Standpunkt Gentechnisch veränderte Organismen (GVO) in der Agrarproduktion und ihre Kontrolle. – Darmstadt, 9 S.
- VETTER, A. (2001): Qualitätsanforderungen an halmgutartige Bioenergieträger hinsichtlich der energetischen Verwertung. - In: FNR [Hrsg.]: Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. - Gülzower Fachgespräche Band 17. - Tautenhain, S. 36-50
- VETTER, A. & HERING, T. (2001): Stand der Technik und Erfahrungen bei der Verbrennung von Stroh und Getreide. - In: OSTBAYERISCHES TECHNOLOGIE-TRANSFER-INSTITUT E.V. (OTTI) [Hrsg.]: Zehntes Symposium - Energie aus Biomasse - Biogas, Pflanzenöl, Festbrennstoffe. 22./23. Nov. 2001. - Kloster Banz, S.345-353
- VETTER, R.; MAIER, J. & NEUHARD, G. (1998): Anbau von Energiepflanzen - Ganzpflanzengewinnung mit verschiedenen Beerntungsmethoden (ein- und mehrjährige Pflanzenarten), Schwachholzverwertung. Forschungsvorhaben Ord.-Nr.22-94.11. Abschlussbericht. Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg. - Stuttgart, 104 S.
- WEILAND, P. (2000): Stand und Perspektiven der Biogasnutzung in Deutschland. - In: FNR [Hrsg.]: Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial. - Gülzower Fachgespräche Band 15. - Weimar, S. 8-28

- WEISS, V. (2001): Derzeitige und künftig zu erwartende emissionsbegrenzende Anforderungen an die TA Luft an Feuerungsanlagen für Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe. - In: FNR [Hrsg.]: Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. - Gülzower Fachgespräche Band 17. - Tautenhain, S. 17-36
- WICHTMANN, W.; GENSIO, A. & ZEITZ, J. (1997): Sanierung eines degradierten Niedermoors mittels Anbau von Schilf als nachwachsendem Rohstoff unter Verwertung gereinigter kommunaler Abwässer. - Mitteilungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft 85: S. 1071 – 1074
- WICHTMANN, W. (1999): Nutzung von Schilf (*Phragmites australis*). – Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung 38: S. 217-231
- WICHTMANN, W. (2003): Verwertung von Biomasse von Niederungsstandorten. – Greifswalder Geographische Arbeiten (Vorlage als unveröffentlichtes Manuskript), 10 S.
- WICHTMANN, W.; KNAPP, M. & JOOSTEN, H. (2000): Verwertung der Biomasse aus der Offenhaltung von Niedermooren. – Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 41: S.32-36
- WICHTMANN, W. & KOPPISCH, D. (1998): Nutzungsalternativen für Niedermoore am Beispiel Nordostdeutschlands. – Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 39: S.162-168
- WIEHE, J. (2003): Die energetische Nutzung von Holz aus der Landschaftspflege. Wallhecken als Wärmequelle für den Landkreis Grafschaft Bentheim. Hannover (Institut für Landschaftspflege und Naturschutz an der Universität Hannover), (Diplomarbeit), 113 S.
- WITTENBECHER, CH. (Niedersächsisches Ministerium für den landwirtschaftlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Referat Raumordnung und Landesentwicklung) (2003): Vortrag im Rahmen der Veranstaltung: Biomasse- Neue Energien auch für Naturschutz und Raumplanung. 03.04.2003. – Hannover
- WUPPERTAL INSTITUT FÜR KLIMA, UMWELT UND ENERGIE [Hrsg.] (1999): Suisse EE Studie. - Wuppertal

## **MÜNDLICHE UND SCHRIFTLICHE AUSKÜNFTE**

- ANONYMUS (2003): Mitarbeiter der niedersächsischen Forstverwaltung, Wolfenbüttel. - Telefonat vom 4.11. 2003
- BENDIEK, J. (2003a): Schriftliche Auskunft des Robert-Koch-Institutes, Zentrum Gentechnologie vom 7.5. 2003
- BENDIEK, J.(2003b): Robert-Koch-Institut. - Telefonat vom 7. Mai 2003
- BÖCKMANN, T. 2003: Niedersächsisches Forstplanungsamt, Forsteinrichtung/ Forstplanung. - Telefonat vom 12. März 2003.
- BRÖKELAND, R. (2003): C.A.R.M.E.N. E.V. – Gespräch vom 14.10.2003
- BRÜGGEMANN & LÜHRS (2003): Landwirtschaftskammer Hannover. - mündliche Auskunft vom 27.03.03
- DILGER, M. (2003): Institut für Energetik und Umwelt. - Telefonat April 2003
- DREHER, B. (2003): Leiter des Fachbereiches Umwelt und Energie, Berlin. – Zit. in: Energieträger aus dem Forst. - Artikel der Hannoverschen Allgemeinen Zeitung (HAZ) vom 30.06.2003
- FISCHER (2003): Forstamt Liebenburg. - Gespräch vom 14.11.2003
- FRANKE (2003): avacon AG. - Telefonat vom 05.06.03
- HASSELBACH (2003): Verband der Säge- und Holzindustrie Nord e.V. - Telefonat vom 02.06.03

- HEMME (2003): Betreiber Biogasanlage. - Telefonat vom 16.07.03
- HESSE (2003): Stadtwerke Hannover AG. - Telefonat vom 05.06.03
- HÖHER, G. (2003): Vortrag auf dem BfN-Workshop „Potenziale und Entwicklungen der energetischen Biomassenutzung vom 16. bis 19. Juni 2003 an der Internationalen Naturschutzakademie Insel Vilm
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. (2003): Vortrag im Rahmen der Veranstaltung: Biomasse- Neue Energien auch für Naturschutz und Raumplanung, Leipzighaus Hannover, 03.04.2003
- KESTEN, E. (2003): KWS Saatgut AG. - Telefonat vom 5. Mai 2003
- KUGLER (2003): Landwirtschaftskammer Hannover. - Telefonat vom 08.04.2003
- LANG (2003): Vortrag auf dem BfN-Workshop „Potenziale und Entwicklungen der energetischen Biomassenutzung vom 16. bis 19. Juni 2003 an der Internationalen Naturschutzakademie Insel Vilm
- LEMMER, A. (2003): Technische und wirtschaftliche Voraussetzungen zum erfolgreichen Energiefarming. Vortrag auf der Fachtagung „Energiefarming und Biogas“ am 10.11.2003 in Hannover
- MEYER-ROTTMANN (2003): Landwirtschaftskammer Hannover. - mündliche Auskunft vom 21.03.03
- METTE, R. (2003): Diskussionsbeitrag zum BfN-Workshop „Potenziale und Entwicklungen der energetischen Biomassenutzung“ vom 16. bis 19. Juni 2003, Vilm
- MIEDANER (2003): Institut für Saatgutforschung und Populationsgenetik, Universität Hohenheim. – Telefonat vom 24.11.2003
- PLINKE (2003): Betreiber Biogasanlage. - Telefonat vom 28.07.03
- RAAB (2003): Bioinformationszentrum. - 12.03. 2003
- SCHEFFER, K. (2003): Vortrag im Rahmen der Fachtagung „Energiefarming und Biogas“ am 10. November 2003 auf der Agrartechnika in Hannover
- SCHNECK & HOSTES (2003): Landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft. - Telefonate vom 28.03.03 und 11.08.03
- SCHMIDT, W. (2003): Zuchtleiter Mais der KWS Saatgut-AG. - Gespräch vom 30.10.2003
- TAUBER, C. (2003): E.ON-Kraftwerke GmbH. - Telefonat vom 05.05.2003
- VEB FORSTPROJEKTIERUNG 1987: Ökologische Waldzustandskontrolle. Richtlinien zum Basisnetz, Potsdam.
- WILDE (2003): Lochow-Petkus GmbH. – Telefonat vom 24.11.2003
- WÖHLER (2003): Betreiber Biogasanlage. - Telefonat vom 23.07.03

## **INTERNETQUELLEN**

- @GRAR.DE AKTUELL: (2002): Nachhaltige Landwirtschaft: Was ändert sich durch die Haltzeitbewertung? - Aktuelle Meldung vom 10.07.2002.  
<http://news.agrar.de/archiv/20020710-00020/>, Stand: 08.04.2003
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (2000a): Der Energieholzmarkt Bayern. - LWF-Bericht 26. - Freising.  
<http://www.lwf.bayern.de/lwfbericht/lwfber26/index.htm>, Stand: 15.06.2003
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (2000b): Teilmechanisierte Bereitstellung, Lagerung und Logistik von Waldhackschnitzeln 1999. - LWF-Bericht 21  
[www.lwf.bayern.de](http://www.lwf.bayern.de), Stand: 15.06.2003
- BIOENERGIEHOF OBERNJESA (2002): Aktuelles über den Bioenergiehof Obernjesa, Zeitungsartikel aus der HNA vom 23.5.2003

- <http://www.bioenergiehof.de/flycms/de/html/8/Zmx5Y21z/index.html?SID=88a2ac25faeb939765d9b6c0b68cdc04>
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ; ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2003):  
BMVEL-Informationen Nr. 34/35 vom 29. August 2003  
<http://www.verbraucherministerium.de/>, Stand: 04.11.2003
- BUNDESVERBAND BIOENERGIE (2003): BBE-Stellungnahme zum EEG-Gesetzesentwurf vom 18.11.2003.  
<http://www.bioenergie.de/downloads/EEG/BBE-Position241103.pdf>, Stand: 13.12.2003
- DEUTSCHER BAUERNVERBAND (2002): Positionspapier des Deutschen Bauernverbandes zur energetischen Nutzung von Getreide: Wärme aus Energiegetreide.  
<http://www.bauernverband.de>, Stand: 25.07.2002
- DEUTSCHLANDFUNK (2003): Umwelt und Landwirtschaft, Aus Gras werde Ökostrom und Ökogas. Bio-raffinerie in Schaffhausen. - Beitrag von WAGNER, T. - Manuskript vom 21.08.2003.  
<http://www.dradio.de/cgi-bin/es/neu-umla/date/last30days/>, Stand: 04.09.2003
- DIE VERBRAUCHER-INITIATIVE E.V. (2003): Basisreader der Moderation zum Diskurs Grüne Gentechnik des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. – BMVEL, April 2002.  
<http://www.gruene-gentechnik.de/dgg/dokumente/reader.pdf>, Stand: 20.5.2003
- DUKE, J. A. (1983): Handbook of Energy Crops, unveröffentlicht. - Zit. in: Center for New Crops and Plant Products. - Perdue University, Indiana  
[http://newcrop.hort.purdue.edu/newcrop/duke\\_energy/Sorghum\\_sudanense.html](http://newcrop.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Sorghum_sudanense.html) Stand: 20.5.2003
- EUROPÄISCHE UNION (2003): Erneuerbarer Energieträger Altener: 1998-2002.  
<http://europa.eu.int/scadplus/leg/de/lvb/l27016b.htm>, Stand: 14.05.2003
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR) (2003): Maßnahmen der Bundesregierung und der EU zur Förderung nachwachsender Rohstoffe.  
[http://www.fnr.de/de/pf/uebersicht\\_nr.html](http://www.fnr.de/de/pf/uebersicht_nr.html), Stand: 08.04.2003
- INITIATIVE PRO SCHORNSTEIN E.V. (2002): Preisvergleiche HEL-Gas-Pellets.  
<http://www.waerme.org/Heizkostenvergleich.pdf>, Stand: 20.11.2003
- JÄGER, F. (2003): Mais als Energiepflanze für die Biogasproduktion.  
<http://www.kws.de/ca/bu/qch/>, Stand: 09.05.2003
- JAMES, C. (2002)/ ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications): Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops 2002. - SAAA Briefs No. 27. - ISAAA Ithaca, N.Y.  
<http://www.isaaa.org>, Stand: 20.5.2003
- KEYMER, U. & SCHILCHER, A. 2003: Biogasanlagen: Berechnung der Gasausbeute von Kosubstraten. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft / LfL Agrarökonomie.  
[http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/03029/?context=/landwirtschaft/technik\\_bauen\\_energie/energie/](http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/03029/?context=/landwirtschaft/technik_bauen_energie/energie/), Stand April 2003.
- KREDITANSTALT FÜR WIEDERAUFBAU (2003): KfW-Umweltprogramm.  
<http://www.kfw.de/DE/Unsere%20Kreditprogramme/Umweltschu54/KfW-Umwelt44/Inhalt.jsp>, Stand: 13.12.2003
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER (2003): Agrarinvestitionsförderungsprogramm 2003.  
<http://www.lwk-hannover.de/index.cfm?startid=420&cfid=2640330&cftoken=87302387>, Stand: 08.04.2003

MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT FORSTEN UND FISCHEREI MECKLENBURG VORPOMMERN (2003):

[http://www.mv-regierung.de/lm/ueberarbeitungshalbzeit/kapitel\\_7.htm](http://www.mv-regierung.de/lm/ueberarbeitungshalbzeit/kapitel_7.htm), Stand: 04.11.2003

NIEDERSÄCHSISCHE AGRARSTRUKTURVERWALTUNG (2003)

[http://www.agrar.niedersachsen.de/master/0,,C325353\\_N1004\\_L20\\_D0\\_I845,00.html](http://www.agrar.niedersachsen.de/master/0,,C325353_N1004_L20_D0_I845,00.html)

Stand: 08.04.2003

OEKOSERVE GMBH (2003): Einigung im Streit um EEG-Novellierung.

<http://www.umweltjournal.de/fp/archiv/umweltsfondsvergleich/5626.php>, Stand: 11.12.2003

PROJEKTVERBUND KOMMUNIKATIONSMANAGEMENT IN DER BIOLOGISCHEN SICHERHEITSFORSCHUNG (2003a): Neue Zuständigkeiten für die Grüne Gentechnik Bundesregierung: Änderung des Gentechnik-Gesetzes., Stand: 12.05.2003. – 2 S.

<http://www.biosicherheit.de/aktuell/203.doku.html>, Stand: 11.12.2003

PROJEKTVERBUND KOMMUNIKATIONSMANAGEMENT IN DER BIOLOGISCHEN SICHERHEITSFORSCHUNG (2003b): Zuständigkeiten im Gentechnikrecht, Kanzlermehrheit für das BfN

<http://www.biosicherheit.de/aktuell/253.doku.html>, Stand: 19.12.2004

SCHEFFER, K. (2003): Energie aus der Vielfalt der Pflanzenarten – ein neuer Ansatz zur ökonomischen und ökologischen Optimierung der Biomassenutzung. – 11 S.

<http://www.bioenergiehof.de/flycms/de/html/17/Zmx5Y21z/index.html?SID=1f4e7a7c305f4738cc1d807b7c57074b>, Stand: 8.1.2004

THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2001): Landessortenversuche in Thüringen, Futterrüben, Versuchsbericht 2001.

[http://www.tll.de/ainfo/pdf/lv\\_frub.pdf](http://www.tll.de/ainfo/pdf/lv_frub.pdf), Stand: 28.04.2003.

WALKER, H. (2000): BHKW - Grundlagen. - In: LUCKE 2002.

[www.agsn.de](http://www.agsn.de), Stand: Dezember 2000

WEBSEITE EUROPA (2003): Internetseite der Europäischen Union.

<http://europa.eu.int/scadplus/leg/de/lvb/l27016b.htm>, Stand vom 14.05.2003

WIND E.V. AACHEN [Hrsg.] (2000): Ökologisches Modellprojekt "Herrmannsdorfer Landwerkstätten". - Windblatt 39, Juni 2000.

<http://www.energie2030.com/windev/wb39/wb39-04.htm>

## **GESETZE UND VERORDNUNGEN**

ALTHOLZVERORDNUNG: Verordnung über die Entsorgung von Altholz, ausgegeben zu Bonn am 23. August 2002, BGBl. 2002 Teil I Nr.59 S.3302

BIOMASSEVERORDNUNG (BiomasseV), Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse vom 21.06.2001 (BGBl. I, S. 1234)

1. BImSchV: Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Kleinfeuerungsanlagen – 1. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997 (BGBl. I S. 490), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 27. Juli 2001 (BGBl. I S. 1950)

4. BImSchV: Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom

14. März 1997 (BGBl. I S. 504), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 14. August 2003 (BGBl. I S. 1614)
17. BImSchV: Siebzehnte Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe vom 23. November 1990 (BGBl. I S. 2545, S. 2832), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Juli 2001 (BGBl. I, S. 1950)
- BMU (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002 GMBL 2002, Heft 25-29, S. 511-605
- EEG (2000): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien vom 29. März 2000, BGBl 2000, 305
- EEG (2004): Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004, BGBl. I, S. 1918 ff.
- EEG-GESETZESENTWURF (2003): Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren-Energien im Strombereich vom 18. November 2003
- EU-RICHTLINIE 2001/77/EG (EE-Richtlinie): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt
- GESETZ ZUM SCHUTZ DER NATUR, LANDESNATURSCHUTZGESETZ (LNatschG), vom 18. Juli 2003, Gl.-Nr.: 791-4, GVOBl. Schleswig-Holstein. 2003, S. 339
- GESETZ ZUR REGELUNG DER GENTECHNIK (Gentechnikgesetz-GenTG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. Dezember 1993 – BGBl. I S. 2066, zuletzt geändert durch das Zweite Gesetz zur Änderung des Gentechnikgesetzes (2. GenTG-ÄndG) vom 16. August 2002, BGBl 2002 Teil I Nr. 59, S. 3220-3244
- INTERMINISTERIELLE ARBEITSGRUPPE CO<sub>2</sub>-REDUKTION (2000): Nationales Klimaschutzprogramm der Bundesregierung, 18. Oktober 2000, Fünfter Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO<sub>2</sub>-Reduktion“. - Berlin
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATUR UND FORSTEN IN SCHLESWIG-HOLSTEIN (1996): Erläuterungen und Hinweise für die Behandlung von Knicks und Bäumen; Knickerlass, vom 30. August 1996, X 350 - 5315.0
- KOALITIONSVEREINBARUNG ZWISCHEN CDU UND FDP 2003-2008: Koalitionsvereinbarung 2003-2008 zwischen CDU und FDP für die 15. Wahlperiode des Niedersächsischen Landtages
- RICHTLINIEN ZUR FÖRDERUNG VON MAßNAHMEN ZUR NUTZUNG ERNEUERBARER ENERGIEN 2003: Marktanzreizprogramm zur Förderung Erneuerbarer Energien, Bundesanzeiger Nr. 234, zuletzt geändert am 26. November 2003, ausgegeben am 13.12. 2003