Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology

Institut für Energetik
gemeinnützige GmbH

Dr. Wolfgang Peters

Christof Thoss (DVL)

Bioenergie und Naturschutz:

Sind Synergien durch die Energienutzung von Landschaftspflegeresten möglich?

alw
Arbeitsgruppe
Land & Wasser

Endbericht an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Darmstadt, 30. März 2007

AutorInnen:

Kirsten Wiegmann (Öko-Institut)

Angelica Heintzmann (alw)

Dr. Wolfgang Peters

Anne Scheuermann (IE)

Thilo Seidenberger (IE)

Christof Thoss

Öko-Institut e.V.

Büro Darmstadt
Rheinstraße 95
D-64295 Darmstadt
Tel.: +49-(0)6151-8191-0
Fax: +49-(0)6151-8191-33

Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 6226
D-79038 Freiburg i.Br.
Tel.: +49-(0)761-45295-0
Fax: +49-(0)761-475437

Büro Berlin
Novalisstraße 10
D-10115 Berlin
Tel.: +49-(0)30-280 486-80
Fax: +49-(0)30-280 486-88

www.oeko.de

www.oeko.de

Inhaltsverzeichnis

Abstract **10**

1 Ausgangsituation und Ziel des Vorhabens **12**

2 Grobanalyse der Standorte **14**

2.1 Auswahl der betrachteten Biotoptypen 14
2.1.1 Beschreibung der Biotoptypen aus naturschutzfachlicher Sicht *14*
2.1.2 Ertragsdaten der einzelnen Biotoptypen *18*
2.1.3 Gesamtpotenzial der Biotoppflegereste *19*
2.2 Auswahl der Beispielstandorte 20
2.3 Die Standorte der Befragung 22
2.4 Zwischenergebnisse der Fragebogenauswertung 28
2.5 Vorauswahl der vertieft betrachteten Standorte 28
2.5.1 Knicklandschaft um Schleswig *28*
2.5.2 Wallhecken in Ostfriesland *29*
2.5.3 Mittleres Delmetal *30*
2.5.4 Wendland-Elbetal *31*
2.5.5 Diepholzer Moorniederung *32*
2.5.6 Streuobstwiesen des Albtraufs im Landkreis Reutlingen *33*
2.5.7 Biotopvernetzung Werra-Meißner-Kreis *35*
2.5.8 Niedermoorlandschaft Freisinger Moos *35*

3 Energiegewinnung aus Landschaftspflegematerial (Techniken) und deren Wirtschaftlichkeit **37**

3.1 Qualitätskriterien für Brennstoff und Substrat 37
3.1.1 Nutzung als Festbrennstoff *37*
3.1.2 Nutzung als Biogassubstrat *41*
3.2 Verwertungskonzepte 42
3.2.1 Thermochemische Umwandlung *42*
3.2.2 Biochemische Umwandlung *46*
3.2.3 Zusammenfassung *53*
3.3 Erfahrungen aus der Praxis 54
3.3.1 Beispiele für die thermochemische Nutzung von Grasschnitt *55*
3.3.2 Beispiele für die biochemische Nutzung von Grasschnitt *59*
3.4 Allgemeiner Teil: Zentrale Kenngrößen für die Wirtschaftlichkeitsanalyse 64
3.4.1 Verwertung von Holz in Verbrennungsanlagen *64*
3.4.2 Verwertung von Gras in einer Biogasanlage *65*

4 Detaillierte Standortanalysen **68**

4.1 Untersuchungsprogramm der Detailanalyse 68
4.2 Wallhecken in Ostfriesland (Holz) 68
4.2.1 Detaillierte Standortbeschreibung *71*
4.2.2 Potenzialanalyse der Wallhecken *75*

4.2.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse ... 78
4.3 Streuobstwiesen im Landkreis Reutlingen (Holz und Grünschnitt) ... 86
4.3.1 Detaillierte Standortbeschreibung ... 86
4.3.2 Potenzialanalyse ... 89
4.3.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse ... 91
4.3.4 Empfehlungen zur energetischen Nutzung des Biotoppflegematerials von Streuobstwiesen ... 94
4.4 Freisinger Moos (Grassschnitt) ... 95
4.4.1 Detaillierte Standortbeschreibung ... 95
4.4.2 Potenzialanalyse ... 97
4.4.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse ... 98
4.5 Diepholzer Moorniederung (Grünschnitt) ... 105
4.5.1 Detaillierte Standortbeschreibung ... 105
4.5.2 Potenzialanalyse ... 106
4.6 Treibhausgas-Bilanz/Stoffstromanalyse ... 110
4.6.1 Holzschnitt ... 110
4.6.2 Grünschnitt – eine allgemeine Betrachtung ... 112

5 Diskussion der Ergebnisse und Empfehlungen ... 113

5.1 Herausforderungen bei der energetischen Nutzung von Biomasse aus der Biotoppflege ... 113
5.1.1 Potenzialanalyse ... 114
5.1.2 Verwertungstechnik (Konversion und Energienutzung) ... 114
5.1.3 Organisation ... 116
5.1.4 Technologie für Bergung und Transport ... 116
5.1.5 Biotopumbau ... 116
5.1.6 Wirtschaftlichkeit ... 117
5.2 Fördernde und hemmende Faktoren ... 117

6 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf ... 119

6.1 Hinweise zur Förderung der energetischen Nutzung von Biotop- und Landschaftspflegematerial ... 119
6.1.1 EEG ... 119
6.1.2 Wärmegesetz ... 120
6.1.3 Förderung der Technikentwicklung ... 120
6.1.4 Organisatorische Unterstützung ... 120
6.2 Forschungsbedarf ... 120

7 Literatur ... 121

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Untersuchte Standorte der Grobanalyse 22

Abbildung 2-2 Ostfriesland mit den Landkreisen Leer, Aurich, Wittmund, der kreisfreien Stadt Emden sowie angrenzend Papenburg 29

Abbildung 2-3 Lage der Region Wendland-Elbetal 31

Abbildung 2-4 Lage der Diepholzer Moorniederung 33

Abbildung 2-5 Lage und Ausdehnung des Albtraufs 34

Abbildung 3-1 Heizwert von Holz in Abhängigkeit von Wassergehalt und Brennstofffeuchte 38

Abbildung 3-2 Energieerträge verschiedener Biomassen 39

Abbildung 3-3 Derzeitige Anwendungen zur thermochemischen Nutzung fester Biomassen 43

Abbildung 3-4 Verfahrensschema einer garagenartigen Feststoffvergärungsanlage 49

Abbildung 3-5 Nutzbarmachung von Biomassen aus der Landschaftspflege 54

Abbildung 3-6 Erforderliche Ausgleichszahlungen für Grasschnitt von extensivem Grünland und Naturschutzflächen 63

Abbildung 4-1 Wallheckenabschnitt mit reinem Strauchbewuchs, Landkreis Leer, Ostfriesland (Foto: A. Heintzmann) 69

Abbildung 4-2 Dicht bewachsene Strauch-Baum-Wallhecke in Rhauderfeen, Landkreis Leer, Ostfriesland (Foto: A. Heintzmann) 70

Abbildung 4-3 Lückige Wallhecke mit reinem Baumbewuchs, Landkreis Leer, Ostfriesland (Foto: A. Heintzmann) 71

Abbildung 4-4 Lage der Untersuchungsgebiete, Maßstab ca. 1: 700 000 72

Abbildung 4-5 Untersuchungsgebiete Wallheckenlandschaften in Rhauderfehn: Breinermoor und Backemoor, dargestellt ist die Lage der Wallhecken, Maßstab ca. 1: 20 000 73

Abbildung 4-6 Untersuchungsgebiet Wallheckenlandschaft um Aurich-Oldendorf, Maßstab ca. 1: 35 000, grün dargestellt die Lage der Wallhecken (nach Rosskamp 2005) 74

Abbildung 4-7 Bereitstellungsketten Holzhackschnitzel aus Wallheckenpflege 78

Abbildung 4-8 Schnittkosten in Abhängigkeit von Pflegevarianten und Untersuchungsgebiet 82

Abbildung 4-9 Bereitstellungskosten ohne Pflegeschnitt 83

Abbildung 4-10 Beispielgebiet Streuobstwiesenbestände im Südosten Reutlingens 86

Abbildung 4-11 Blick auf eine Streuobstwiese (Foto: Schroefel 2006) 88

Abbildung 4-12 Streuobstbestand mit häufig geschnittener Wiese (Foto: Schroefel 2006) 88

Abbildung 4-13 Ungepflegter Streuobstbestand mit bereits eingesetzter Sukzession (Foto: Schroefel 2006) 89

Abbildung 4-14 Bereitstellungsketten für Holzhackschnitzel aus Obstbaumschnitt 91

Abbildung 4-15 Anteil einzelner Arbeitsschritte an der Arbeitszeit und den Gerätekosten 93

Abbildung 4-16 Bereitstellungskosten für Hackschnitzel bei unterschiedlichem Holzertrag 94

Abbildung 4-17 Lage und Ausdehnung des Freisinger Moos 97

Abbildung 4-18 Bereitstellungskosten für Grassilage von Naturschutzflächen des Freisinger Mooses, nach KTBL 2005, KTBL 2007 und Keymer 2005 und eigene Berechnungen 99

Abbildung 4-19 Stromgestehungskosten und Erlöse der TNS®-Biogasanlage 103

Abbildung 4-20 Verteilung der Moore in der Diepholzer Moorniederung 105

Abbildung 4-21 Treibhausgasemissionen für Energienutzungen mit Landschaftspflegeholz aus der Wallheckenpflege im Vergleich mit fossilen Energien 111

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 In der Grobanalyse betrachtete Biotopgruppen, ihre teilweise Gefährdung und ihr Schutz 15

Tabelle 2-2 Im Forschungsprojekt betrachtete Biotopgruppen (nach BfN 2004) 18

Tabelle 2-3 Zuordnung der Standorte zu den vorkommenden Biotopgruppen (nach BfN 2004) – Tabelle beinhaltet vorerst nur die Standorte der Vorauswahl. 19

Tabelle 2-4 Fragen an die Akteure für die Grobanalyse der Standorte 21

Tabelle 2-5 Beschreibung der Standorte der Grobanalyse 23

Tabelle 3-1 Aschegehalte unterschiedlicher Brennstoffe, nach FNR 2005a 40

Tabelle 3-2 Systematik der Feuerungsarten 45

Tabelle 3-3 Vor- und Nachteile von Nass- und Feststofffermentation 51

Tabelle 3-4 Praxisbeispiele der thermochemischen Nutzung von Grasschnitt 56

Tabelle 3-5 Maßnahmen zur Verbesserung der thermochemischen Nutzung halmgutartiger Biomassen 58

Tabelle 3-6 Biogas- und Methanerträge von Gras (Frischgras, Grassilage, Heu) 62

Tabelle 4-1 Größe der Untersuchungsgebiete und Dichte der Wallhecken 72

Tabelle 4-2 Klassifizierung der Deckung Strauchschicht sowie Entnahme bei der Pflege 74

Tabelle 4-3 Klassifizierung der Deckung Baumschicht sowie Entnahme bei der Pflege 74

Tabelle 4-4 Artspezifisches Gewicht eines Festmeters sowie geschätzte Häufigkeit der Art in Ostfriesland 75

Tabelle 4-5 Faustzahlen für die Potenzialberechnung 76

Tabelle 4-6 Pflegeszenarien der Wallhecken in den Untersuchungsgebieten 79

Tabelle 4-7 Bereitstellungskosten für eine Tonne Holzhackschnitzel frei Kraftwerk 84

Tabelle 4-8 Holzpotenzial aus der Pflege von Streuobstwiesen 90

Tabelle 4-9 Ausgleichszahlungen für die Pflege im Rahmen des Vertragsnaturschutzes und des KULAP-Programms 96

Tabelle 4-10 Flächen- und Ertragsdaten des Freisinger Mooses nach Maino 2006, Huss und Schmitt 2001 und Ertel 2006 98

Tabelle 4-11 Biogas- und Methanerträge unterschiedlicher Silagen, nach Krieg und Fischer 2006 und FNR 2005b 100

Tabelle 4-12 Bereitstellungskosten und Stromerlöse unterschiedlicher Silagen nach Keiymer 2005 und eigene Berechnungen 100

Tabelle 4-13 Aus dem Freisinger Moos zur Verfügung stehende Silagemengen 102

Tabelle 4-14 Fehlbeträge zum Erreichen eines ausgeglichenen Jahresergebnisses der Biogasanlage 104

Tabelle 4-15 Ergebnisse der Abfrage der geschätzten Biomassepotenziale in der Diepholzer Moorniederung 108

Tabelle 4-16 Kumulierter Primärenergieaufwand und Treibhausgasemissionen der einzelnen Prozessschritte der Bereitstellung von Hackschnitzeln aus dem Wallheckenschnitt 111

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BHKW	Blockheizkraftwerk
BNatschG	Bundesnaturschutzgesetz
FFH-Richtlinie	Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie der Europäischen Union (Europäische Kommission 2004)
FM	Frischmasse
FWL	Feuerungswärmeleistung
GIS	Geoinformationssystem
h	Stunde
H	Motormanuelle Pflege
HHS	Holzhackschnitzel
H_u	Heizwert
kWh	Kilo-Watt-Stunde
l	Liter
LP-RL	Landschaftspflegerichtlinie
LRT	Lebensraumtyp der FFH-Richtlinie
M	Maschinelle Pflege
m^3	Kubikmeter
MEKA	Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich
MJ	Mega-Joule
MWel	Mega-Watt elektrisch
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
oTS	organische Trockensubstanz
S	reine Strauchentnahme
Sm^3, SRM	Schüttraummeter
t	Tonne
t-atro	Gewicht für Holz in Tonne absolut trocken
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanzgehalt
TS	Trockensubstanz
Ü	Strauch- und Überhälterentnahme
wf	Wasserfrei
η_{el}	Wirkungsgrad elektrisch

Danksagung

Einen großen Dank an alle, die uns in intensiven Gesprächen und Interviews ihre Erfahrung und ihr Wissen zur Verfügung gestellt haben und ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhaben beruhen vor allem auf den Arbeiten zu den Standorten der Detailanalyse. Diese wären ohne die Unterstützung der Akteure vor Ort undenkbar gewesen. Ihnen allen sei daher an dieser Stelle besonders herzlich gedankt:

Ostfriesland:

Herrn Stephan Sander (Schutzgemeinschaft Wallhecken Leer e.V.) für die Kartierungen der Wallhecken von Backemoor und Breinermoor, für die Bereitstellung der Daten und die Exkursion zu den Wallhecken.

Herrn Tim Rosskamp (Büro für Biologie und Umweltplanung, Oldenburg) und Herrn Matthias Bergmann (Naturschutzbund Deutschland e.V., Wiegboldsbur) für die Bereitstellung der Daten und die Führung durch Wallhecken um Leer.

Reutlingen:

Herrn Ulrich Schroefel und Herrn Hans-Georg Vresky (beide Landratsamt Reutlingen) für die Bereitstellung von Daten und Informationen sowie für die Führung durch das Untersuchungsgebiet.

Herrn Dr. Peter Seiffert (Regionalverband Neckar-Alb) für die Überlassung digitaler Karten.

Diepholzer Moorniederung:

Herrn Dr. Cord Petermann (Ländliche Erwachsenenbildung Sulingen) für die Vermittlung der richtigen Kontakte in der Region.

Herrn Bürgermeister Falldorf aus Wagenfeld für die Informationen über die örtlichen Aktivitäten.

Frau Ilka Seyfarth für die Unterstützung bei der Befragung der Akteure.

Freising:

Herrn Matthias Maino (Landschaftspflegeverband Freising e.V.) für die aktive Teilnahme am Workshop, die zahlreichen informativen Telefonate und die Bereitstellung der Daten aus der Bestandsanalyse des Freisinger Mooses.

Herrn Jörg Steiner (Untere Naturschutzbehörde Freising) für die informativen Telefonate u. a. über die Ausgleichszahlungen in der Betrachtungsregion.

Abstract

Bei der Pflege von Naturschutzflächen anfallende Biomasse kann zur Bioenergiegewinnung genutzt werden, wodurch gleichzeitig Klimaschutz- und Naturschutzziele verfolgt werden könnten.

Vor diesem Hintergrund werden in dem vorliegenden Ergebnisbericht zunächst die grundsätzlichen Möglichkeiten einer energetischen Verwertung von Schnittgut aus der Landschaftspflege aufgezeigt und diskutiert. Dazu werden unter Berücksichtigung der technischen, organisatorischen und ökologischen Randbedingungen geeignete Verwertungswege dargestellt und hinsichtlich ihrer Kostenstrukturen analysiert und bewertet.

Zusätzlich wird modellhaft für repräsentative Standorte in Deutschland aufgezeigt, wie und unter welchen organisatorischen Randbedingungen (Einzellösungen, Verbundlösung, Kooperation mit Dritten etc.) mögliche Konzepte einer energetischen Nutzung der anfallenden Biomasse aus der Biotoppflege wirtschaftlich tragfähig umgesetzt werden können. Dazu wurden zunächst in einer Grobanalyse die naturschutzfachliche Bedeutung und die typischen Pflegemaßnahmen für verschiedene Biotoptypen in Deutschland charakterisiert. Darüber hinaus wurden bestehende Aktivitäten und Bemühungen um die energetische Nutzung von Landschaftspflegeresten und deren praktische Erfahrungen aus der Vergangenheit zusammengetragen und grob beschrieben. Ausgehend von der Grobanalyse wurden dann Beispiele für die Detailbetrachtung ausgewählt.

Für die energetische Nutzung von Gehölzschnitt aus der Pflege von Wallhecken in Ostfriesland, die energetische Verwertung von Gras aus dem Freisinger Moos sowie die Nutzung von Holz und Grünschnitt aus der Pflege von Streuobstwiesen im Landkreis Reutlingen werden einerseits die möglichen Synergien sowie auch die Grenzen zwischen Bioenergie und Naturschutz deutlich gemacht. Andererseits zeigen die Beispiele aber auch auf, dass vielfältige Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung solcher Konzepte gegeben sein müssen.

Wie die Analysen deutlich machen, fällt das Material aus der Landschaftspflege im Vergleich zu anderen Biomassen eher dezentral und in kleineren Mengen an. Es ist inhomogener zusammengesetzt und die „Erntezeitpunkte“ sind häufig nicht nach dem Ziel maximaler Energieerträge, sondern nach den Zielen des Naturschutzes ausgerichtet. Um die Biomassepotenziale für eine energetische Nutzung zu erschließen sind folgende Herausforderungen zu bewältigen:

- die organisatorische und logistische Bewältigung des Zusammenführens der Biomasseströme aus mitunter vielfältigen Quellen zu einer Nutzung,
- die Auswahl bzw. Entwicklung angepasster Technologien zur energetischen Verwertung der unterschiedlichen Materialien,
- die Schaffung energiewirtschaftlich günstiger Bedingungen einer umfassenden Wärmenutzung,
- die wirtschaftliche Gestaltung des Gesamtkonzeptes zur energetischen Verwertung der Biomassen (Energietechnik und Logistik).

Als sehr förderlich für eine energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial haben sich folgende Faktoren herausgestellt:

- Große zusammenhängende Flächen (Grünland, Heckenlandschaften) mit einheitlicher Nutzung,
- Einheitliche Besitzverhältnisse,
- Möglichst homogene Substrate mit zuverlässiger Quantität und Qualität,
- Möglichkeit zur Zusammenführung verschiedener Biomassen,
- Günstige Akteurskonstellationen,
- Flexible Gestaltung der Erntezeitpunkte.

Liegen diese Bedingungen vor, ist für die konkrete Initiierung eines Projekts zur Energienutzung von Biotoppflegematerial zusätzlich ein besonderer organisatorischer Aufwand erforderlich. Um die energetische Nutzung von Biomasse aus der Landschaftspflege insgesamt zu fördern, wird daher empfohlen, die energiewirtschaftliche Beurteilung in Frage kommender Standorte sowie die fachliche Beratung bei der Entwicklung konkreter Konzepte zur energetischen Biomassenutzung aus den Förderprogrammen des Bundesumweltministeriums gezielt zu unterstützen.

1 Ausgangsituation und Ziel des Vorhabens

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Bioenergie und Naturschutz“ wurde untersucht, ob und unter welchen Voraussetzungen sich Synergieeffekte zwischen Naturschutz und Bioenergie durch die energetische Nutzung von Schnittgut aus der Landschaftspflege realisieren lassen.
Biomasse aus der Biotoppflege fällt in vielen Schutzgebieten und geschützten Biotopen regelmäßig an. Sie umfasst – je nach Biotoptyp – charakteristische Mengen an holz- und halmgutartiger Biomasse. Problematisch ist, dass sie – in Abhängigkeit des Standortes und der jeweiligen Pflegekonzepte – in Menge und Qualität stark schwankt. Damit ist eine standortunabhängige Betrachtung der energetischen Nutzbarkeit des Materials nicht möglich.

Gleichzeitig ist die für die Pflege verantwortliche öffentliche Hand durch eine entsprechende Energienachfrage gekennzeichnet, die ggf. durch die energetische Nutzung der ansonsten zu entsorgenden Biomassen gedeckt werden könnte. Hinzu kommt, dass insbesondere die Strombereitstellung aus Biomasse durch das Erneuerbare Energien-Gesetz (EEG) seit der Novelle im Jahr 2004 mit vergleichsweise hohen Sätzen (KWK-NawaRo- und Technologie-Bonus) vergütet werden kann. Damit sind auch die ökonomischen Randbedingungen einer Biomassenutzung in diesem Bereich auf den ersten Blick als viel versprechend anzusehen.

Für holz- und halmgutartige Materialien aus der Biotoppflege können sich günstige Effekte ergeben, wenn es gelingt, eine effektive Kopplung zwischen den anfallenden Stoffströmen und den kostengünstig verfügbaren Nutzungstechnologien durch geeignete Verfahrens- bzw. Logistikkonzepte zu erreichen und die Verwertung der Biomasse mit den Betriebsabläufen in den Pflegemaßnahmen abzustimmen. Dabei ergeben sich aus dem Jahresgang des Materialanfalls Anforderungen, die einerseits von den Naturschutzzielen und andererseits von der Technik abhängig sind und somit nur begrenzt beeinflusst bzw. verändert werden können. Die Überwindung der dadurch bestehenden Nutzungsrestriktionen erfordert die Anwendung innovativer Konzepte, welche die Spielräume in den jeweiligen Anforderungen optimal ausgestalten.

Untersuchungen innovativer und ökonomisch darstellbarer Verfahrensketten bzw. Energiebereitstellungskonzepte aus Biomassegewinnung, Bereitstellung, Aufbereitung und Verwertung liegen für die bei der Landschaftspflege anfallenden Biomasse bisher nur sehr eingeschränkt vor. Die angepassten Vergütungssätze, die das aktuelle EEG garantiert, werden dabei nicht berücksichtigt. Sie sind aber die Basis, diese Stoffströme zur Energiegewinnung nutzbar zu machen. Deshalb ist eine derartige Analyse die Grundvoraussetzung, damit dieses Biomasseaufkommen einen wirtschaftlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel dieser Studie, Möglichkeiten einer ökonomisch tragfähigen energetischen Verwertung von Biomasse aus der Biotoppflege aufzuzeigen und zu diskutieren. Dazu werden unter Berücksichtigung der stoffstromspezifischen, technischen, organisatorischen, rechtlichen, ökologischen und förderpolitischen Randbedingungen geeignete Verwertungswege dargestellt.

Diese werden hinsichtlich ihrer Kostenstrukturen grundlegend analysiert und bewertet. Zusätzlich wurde modellhaft für repräsentative Standorte in Deutschland untersucht, wie und unter welchen Randbedingungen mögliche Konzepte einer energetischen Nutzung der anfallenden Biomasse aus der Biotoppflege (Einzellösungen, Verbundlösung, Kooperation mit Dritten etc.) wirtschaftlich tragfähig umgesetzt werden können. Diese Erkenntnisse sollen für andere Gebiete übertragbar gemacht werden und eine bessere Integration des Naturschutzes in die Flächennutzung ermöglichen.

Parallel dazu wurden die bestehenden naturschutzpolitischen Förderinstrumente sowie landschaftsplanerische und ordnungsrechtliche Instrumentarien in die Betrachtung einbezogen, um die ökonomische und rechtliche Tragfähigkeit der Konzeption zu unterstützen.

Aus der allgemeinen und der standortspezifischen Analyse wurden diejenigen Aspekte identifiziert, die für Umsetzungskonzepte für andere Standorte übertragen werden können.. Grundlegend ist hierfür die Ableitung geeigneter betrieblicher, stoffstromspezifischer und technischer Charakteristika der einzelnen Standorte. Diese ermöglichen eine Ersteinordnung eines Standortes hinsichtlich seiner Tauglichkeit für eine Energienutzung der Schnittreste. Damit bekommen die vielfältigen betroffenen Einrichtungen eine Unterstützung zur zeitnahen Realisierung einer energetischen Nutzung von Grünschnitt aus der Biotoppflege, so dass im Idealfall die naturschutzfachlichen Vorgaben gleichbleibend oder besser erfüllt werden und gleichzeitig eine Kostenentlastung durch die Energiebereitstellung erreicht werden kann.

Der Bericht teilt sich in zwei Abschnitte, die Grobanalyse und die Feinanalyse. In der Grobanalyse werden die naturschutzfachliche Bedeutung und die Pflegemaßnahmen für verschiedene Biotoptypen in Deutschland charakterisiert. Grundlage ist eine deutschlandweite Auswertung von Standorten, die eine Typisierung von Biotopen beziehungsweise Landschaftspflegeflächen aus Naturschutzsicht und aus Ertragssicht beinhaltet. Anschließend folgt eine Darstellung möglicher Verwertungskonzepte für verschiedene Biomassen.

In der Detailanalyse findet dann eine detaillierte Untersuchung am Beispiel verschiedener Modellstandorte statt. Neben den Pflegeerfordernissen werden die Biomassepotenziale dieser Gebiete und die Kosten einer energetischen Nutzung ermittelt. Als Ergebnis wird schließlich abgeleitet, welche Konstellationen für eine energetische Nutzung von Landschaftspflegeresten Erfolg verspricht und welche Erkenntnisse auf andere Gebiete übertragbar sind.

2 Grobanalyse der Standorte

In diesem Arbeitspaket werden die naturschutzfachliche Bedeutung und die Pflegemaßnahmen für verschiedene Biotoptypen in Deutschland charakterisiert. Darüber hinaus bietet die Grobanalyse die Möglichkeit für eine umfassende Sammlung bestehender Aktivitäten und Bemühungen um die energetische Nutzung von Landschaftspflegeresten und deren praktische Erfahrungen aus der Vergangenheit.

2.1 Auswahl der betrachteten Biotoptypen

2.1.1 Beschreibung der Biotoptypen aus naturschutzfachlicher Sicht

Eine Reihe der heute aus Naturschutzsicht als schützenswert eingestuften Biotoptypen sind als halbnatürliche Biotope auf regelmäßige Pflegemaßnahmen angewiesen, um ihre Wertigkeit zu erhalten. Aus naturschutzfachlicher Sicht sind natürliche und halbnatürliche Biotoptypen vor allem dann von besonderer Bedeutung, wenn ihr Vorkommen von Natur aus selten ist, wenn ihr Vorkommen durch Flächenverlust gefährdet ist oder die Qualität dieser Biotoptypen durch direkten oder indirekten Einfluss des Menschen beeinträchtigt wird.

Die Auswahl der Untersuchungsstandorte im Rahmen des Projekts sollten besonders auf die Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Landschaftspflegematerial *schützenswerter* Biotoptypen[1] zielen, zu deren Erhaltung eine kontinuierliche Entnahme von Biomasse erforderlich ist, die bisher i. d. R. durch Maßnahmen der Landschaftspflege gewährleistet wird. Von besonderer naturschutzfachlicher Bedeutung sind grundsätzlich diejenigen Biotoptypen, die in der Roten Liste der Biotoptypen aufgeführt sind (Riecken et al. 1994[2], Riecken et al. 2003 und BfN 2004). Daneben ist der Schutzstatus der Biotoptypen (Anhang I der FFH-Richtlinie sowie § 30 Bundesnaturschutzgesetz) ein Indiz für eine hohe naturschutzfachliche Bedeutung. Auch können Biotoptypen, die Habitate schutzwürdiger Arten darstellen, von besonderer Bedeutung sein. Damit ergibt sich für diese Biotoptypen auch eine besondere Notwendigkeit erforderlichenfalls Pflegemaßnahmen zu ergreifen. Entsprechend ist es für diese Biotoptypen besonders dringlich, etwaige Synergien zu schaffen und den Erhalt der Pflegemaßnahmen langfristig zu unterstützen.

In Deutschland werden 40 Biotopgruppen mit 507 Biotoptypen unterschieden (ausgenommen technische Biotoptypen) (Riecken et al. 2003 und BfN 2004). Über zwei Drittel dieser Biotoptypen gelten als gefährdet. Eine Übersicht über die betrachteten Biotoptypen bietet Tabelle 3 2, in der terrestrische und semiterrestrische Biotoptypen des Bin-

[1] Der unterschiedliche Schutzstatus der Biotope, durch die europäische oder nationale Programme und Regelungen (z. B. Natura 2000, die Europäische Wasserrahmenrichtlinie oder auch das Bundesnaturschutzgesetz und Ihre unterschiedlichen bzw. synonyme Begrifflichkeiten werden in dieser Betrachtung nicht gewichtet.

[2] nach Redaktionsschluss dieses Forschungsberichtes erschien Riecken et al. 2006

nenlandes exemplarisch vertreten sind. Viele Biotopgruppen beinhalten Biotoptypen, die gefährdet oder rechtlich besonders geschützt sind.

Tabelle 2-1 In der Grobanalyse betrachtete Biotopgruppen, ihre teilweise Gefährdung und ihr Schutz

Code	Biotopgruppe	Gefährdung/Schutz		
		Rote Liste*	§30 BNatschG	Darunter FFH-Lebensraumtypen[3]
34	Natürliche Trockenrasen und Grünland trockener bis frischer Standorte	1-3	§	X
35	Waldfreie Niedermoore und Sümpfe, Grünland nasser bis feuchter Standorte	1-2	§	X
36	Hoch- und Übergangsmoore	1-3	§	X
37	Großseggenriede	2-3	§	-
38	Röhrichte	1-3	§	X
39	Staudenfluren, Ufer- und Waldsäume	2-3	§	X
40	Zwergstrauchheiden	1-3	§	X
41	Feldgehölze, Gebüsche, Hecken und Gehölzkulturen	2-3	§	X

**Quelle: Riecken et al. 2003 und BfN 2004*
Gefährdungskategorien: 0 =vollständig vernichtet, 1 = von vollständiger Vernichtung bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet § = Biotopgruppe mit Schutz nach BNatSchG
x = geschützter Lebensraumtyp (wobei die FFH-LRT meist nur wenige Ausprägungen innerhalb der Biotopgruppen betreffen), - = nicht geschützter Lebensraumtyp nach Anhang I FFH-Richtlinie

Natürliche Trockenrasen und Grünland trockener bis frischer Standorte

Diese Biotopgruppe umfasst 42 Biotoptypen, von denen 33 als gefährdet eingestuft sind (Gefährdungskategorie 1 bis 3). 27 Biotoptypen hiervon betreffen Trocken- und Halb-Trockenrasen sowie andere Magerrasen. Einige dieser Biotoptypen sind als Bestandteil des ökologischen Netzes NATURA 2000 besonders geschützt - so z.B. der LRT 6210 Naturnahe Kalk-Trockenrasen und deren Verbuschungsstadien oder der sogar prioritäre LRT 6230* Artenreiche montane Borstgrasrasen (und submontan auf dem europäischen Festland) auf Silikatböden.

[3] Als Lebensraumtypen (LRT) werden Biotope bezeichnet, die im Anhang I der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie der Europäischen Union (Europäische Kommission 2004) aufgeführt sind. Es handelt sich hier um Biotope (in Einzelfällen Biotopkomplexe), die europaweit von Bedeutung und schutzwürdig sind.

Daneben ist auch das artenreiche frische Grünland gefährdet bis von der Vernichtung bedroht. Am stärksten gefährdet sind gemähte Wiesen (bis Gefährdungskategorie 1). Darunter befinden sich auch die FFH-Lebensraumtypen Magere Flachland-Mähwiesen (LRT 6510) und Berg-Mähwiesen (LRT 6520). Insbesondere die Grünlandflächen frischer Standorte haben eine hohe Bedeutung für den Vogelschutz. Dieses erfordert in der Regel sehr große Flächen dieser Biotope. Zur Erhaltung des Grünlandes ist eine regelmäßige Entnahme an Biomasse erforderlich. Das gilt auch für die Erhaltung einiger Halbtrocken- und Magerrasen. Hier muss auch häufig für eine Entbuschung gesorgt werden.

Waldfreie Niedermoore und Sümpfe, Grünland nasser bis feuchter Standorte

Diese Biotopgruppe beinhaltet 21 Biotoptypen. 14 davon sind stark gefährdet bis von der Vernichtung bedroht. Das gefährdete Grünland nasser bis feuchter Standorte umfasst Pfeifengraswiesen, nährstoffreiches extensives Feucht- und Nassgrünland sowie Flutrasen. In Nutzung befindliche Flächen (also Brachen ausgenommen) sind stark gefährdet bis von der Vernichtung bedroht. FFH-Lebensraumtypen umfassen beispielsweise Pfeifengraswiesen (LRT 6410) und Brenndolden-Auenwiesen (LRT 6440).

Hoch- und Übergangsmoore

Diese Biotopgruppe umfasst 17 Biotoptypen. Von diesen sind 10 gefährdet bis von der Vernichtung bedroht. Vor allem intakte Bereiche sind von der Vernichtung bedroht. Dazu zählen auch die FFH-LRT 7110* Lebende Hochmoore, 7120 Noch renaturierungsfähige degradierte Hochmoore, 7140 Übergangs- und Schwingrasenmoore sowie 7150 Torfmoor-Schlenken. Der weitaus größte Teil der Moore ist aufgrund äußerer Störungen des Wasserhaushaltes auf Pflegemaßnahmen angewiesen, damit der naturschutzfachliche Wert der Flächen erhalten bzw. wiederhergestellt wird. Neben einer extensiven Beweidung durch Schafe finden meist Entbuschungsmaßnahmen statt, bei denen die entsprechende Biomasse - allerdings eher in geringerem Umfang - anfällt.

Großseggenriede

Der Biotopgruppe der Großseggenriede gehören 4 Biotoptypen an, von denen sämtliche gefährdet bis stark gefährdet sind. Teilweise kann eine extensive Nutzung zur Erhaltung der Großseggenriede beitragen.

Röhrichte

Zu der Biotopgruppe der Röhrichte gehören 7 Biotoptypen. 4 von ihnen werden als gefährdet bis von der Vernichtung bedroht eingestuft. Vor allem Schilf- und Schneidenröhrichte können durch eine extensive Nutzung erhalten werden. Außerhalb von Gewässern ist nur das Schneidenröhricht FFH-Lebensraumtyp (prioritärer LRT *7210).

Staudenfluren, Ufer- und Waldsäume

Diese Biotopgruppe umfasst 28 Biotoptypen, von denen 14 eine Gefährdung aufweisen. Gefährdet sind Innen- und Außensäume sowie Staudensäume und Staudenfluren der offenen Landschaft. Sie sind gefährdet bis stark gefährdet. Als LRT 6430 Feuchte Hochstaudenfluren der planaren und montanen bis alpinen Stufe ist ein Biotoptyp dieser Gruppe gleichzeitig von besonderer europäischer Bedeutung und damit ggf. Bestandteil des Netzes NATURA 2000. Nur eine unregelmäßige Biomasseentnahme kann den Erhalt dieser Biotoptypen fördern.

Zwergstrauchheiden

Die Gruppe der Zwergstrauchheiden beinhaltet 4 Biotoptypen. 3 hiervon sind von der Vernichtung bedroht bis gefährdet. Vor allem die Calluna-Heide (Gefährdungskategorie 1 bis 2) ist auf eine regelmäßige Nutzung angewiesen, bei der Biomasse entnommen wird. Beispielsweise Aals LRT 4030 Trockene europäischen Heiden oder als Sandheiden (LRT 2310 oder 2320) sind die Calluna-Heiden gleichzeitig LRT des Anhangs I der FFH-Richtlinie, so dass ihnen als Bestandteile von NATURA 2000-Gebieten ggf. besondere Aufmerksamkeit zukommt.

Feldgehölze, Gebüsche, Hecken und Gehölzkulturen

Innerhalb dieser Biotopgruppe werden 38 Biotoptypen unterschieden. Hiervon werden 24 als gefährdet bis stark gefährdet eingestuft. Der Erhalt von Hecken, Kopfbäumen, Streuobstbeständen und Rebkulturen, ist von einer regelmäßigen Nutzung abhängig, so dass auch hier Biomasse aus der Landschaftspflege anfällt.

Aus Sicht der energetischen Biomassenutzung sind nicht nur Art und Menge der anfallenden Schnittreste von besonderem Interesse, sondern auch die räumliche Ausdehnung und Lage der Biotope, da diese entscheidend die erforderliche Logistik und die damit verbundenen Kosten bestimmen. Aus diesem Grunde wurden die oben genannten Biotopgruppen zusätzlich hinsichtlich ihrer räumlichen Ausdehnung sortiert (Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2 Im Forschungsprojekt betrachtete Biotopgruppen (nach BfN 2004)

	Krautige Offenlandbiotope	**Holzartige Biotope**
Flächig	• Natürliche Trockenrasen und Grünland trockener bis frischer Standorte • Waldfreie Niedermoore und Sümpfe, Grünland nasser bis feuchter Standorte • Hoch- und Übergangsmoore • Großseggenriede • Röhrichte • Zwergstrauchheiden	Nicht betrachtet
Linear	• Staudenfluren, Ufer- und Waldsäume	• Feldgehölze, Gebüsche, Hecken und Gehölzkulturen

2.1.2 Ertragsdaten der einzelnen Biotoptypen

Zur Vorbereitung der abschließenden Auswahl der Standorte für die weitere Feinanalyse werden die Standorte den Biotoptypen zugeordnet (Tabelle 2-3). Je nach Biotoptyp und Pflegemaßnahme kann ein spezifischer Ertrag zugeordnet werden, der sich zusammensetzt aus

- Grasschnitt aus extensiver Grünlandpflege,
- Strauchschnitt aus der Gehölz- und Offenlandpflege und
- Gehölzschnitt.

Über eine genaue Bestimmung des Vorkommens (Flächengrößen/Häufigkeit) dieser Biotoptypen in Deutschland sowie der konkreten Pflegeerfordernisse könnte bei Bedarf dann das gesamte Biomassepotenzial aus der Biotoppflege bestimmt werden.

Tabelle 2-3 Zuordnung der Standorte zu den vorkommenden Biotopgruppen (nach BfN 2004) – Tabelle beinhaltet vorerst nur die Standorte der Vorauswahl.

Code	Biotopgruppe	Vorkommen in potentiellen Modellstandorten
34	Natürliche Trockenrasen und Grünland trockener bis frischer Standorte	Wendland-Elbetal, Streuobstwiesen Reutlingen
35	Waldfreie Niedermoore und Sümpfe, Grünland nasser bis feuchter Standorte	Delmetal, Ostfriesland, Wendland-Elbetal, Odermündung, Diepholzer Moorniederung, Freisinger Moos
36	Hoch- und Übergangsmoore	Diepholzer Moorniederung,
37	Großseggenriede	
38	Röhrichte	Diepholzer Moorniederung
39	Staudenfluren, Ufer- und Waldsäume	Wendland-Elbetal
40	Zwergstrauchheiden	Lüneburger Heide
41	Feldgehölze, Gebüsche, Hecken und Gehölzkulturen	Ostfriesland, Streuobstwiesen Reutlingen

Die Auswertung des Ertrags aus den Angaben der einzelnen Standorte erfolgt nur für diejenigen Standorte, die einer Detailanalyse unterzogen wurden. Im Rahmen dieser Studie sollte über das Vorkommen (Flächengrößen/Häufigkeit) dieser Biotope das gesamte Biomassepotenzial aus der Biotoppflege in Deutschland neu bewertet werden. Doch liegen hierfür keine ausreichend differenzierten Flächennutzungsdaten vor, siehe Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**.

2.1.3 Gesamtpotenzial der Biotoppflegereste

Um das Gesamtpotenzial der Biotoppflegereste abschätzen zu können wurden im Rahmen dieses Projektes mit zwei Ansätzen gearbeitet, die jedoch beide nicht den gewünschten Erfolg brachten:

1. Ermittlung der Gesamtflächengröße der Biotoptypen

In vielen Bundesländern wird an einer GIS-gestützten Datenbank über die Biotoptypen der Schutzgebiete gearbeitet. Abgesehen davon, dass diese Informationen häufig nicht frei zugänglich sind, ist die Datengrundlage für die Fragestellung derzeit nicht ausreichend. Über Grünlandflächen sind Informationen zu erhalten, jedoch ohne Angabe welche Anteile gemäht werden.

2. Ermittlung der Höhe der Zahlungen durch den Vertragsnaturschutz

Der zweite Ansatz war, aus der Höhe der geleisteten Zahlungen auf die Größe der Pflegeflächen zu schließen. Angaben über Fördermittel sind im Rahmen dieses Projektes nicht zu ermitteln, da die Vergabe auf sehr viele verschiedene Körperschaften verteilt ist, und keine zentrale Erfassung erfolgt. Darüber hinaus fehlen auch hier oft Angaben über die Bewirtschaftungsweisen (z.B. Beweidung oder Mahd), so dass Biomassepotenziale nicht geschätzt werden können. Da die Art und das Ausmaß der tatsächlichen Pflege im konkreten Fall stark variieren wird eine Hochrechnung der anhand der Beispielstandorte nur sehr selektiv ermittelten Biomasseerträge als nicht sinnvoll erachtet.

Eventuell wäre eine ungefähre Abschätzung mittels einer bundesweiten Befragung der Unteren Naturschutzbehörden über beide Ansätze möglich, was allerdings den Rahmen dieses Projektes gesprengt hätte.

2.2 Auswahl der Beispielstandorte

Um potentielle Standorte für eine detaillierte Untersuchung der energetischen Nutzbarkeit von anfallendem Biotoppflegematerial zu ermitteln, wurden vom Bearbeitungsteam Befragungen bei Landschaftspflegeakteuren durchgeführt. Die Akteure wurden so gewählt, dass diejenigen Landschafts- bzw. Biotoptypen exemplarisch vertreten sind, zu deren Erhaltung eine kontinuierliche Landschaftspflege erforderlich ist. Gleichzeitig sollten die auszuwählenden Biotoptypen für Deutschland typisch sein, und die beispielhaften Standorte in ihrer räumlichen Verteilung das gesamte Bundesgebiet abdecken.

Die Befragung erfasste neben der Qualität und Menge der Landschaftspflegereste (Erträge) weitere wichtige Gesichtspunkte, wie die Gestaltung der Pflegeverträge und das Vorhandensein von möglichen Energieanlagen in der Region. Die Befragung erfolgte telefonisch. In einigen Fällen ist der entwickelte Fragebogen (Tabelle 2-4) auch verschickt und von den Befragten ausgefüllt worden. In diesen Fällen hat jedoch stets im Anschluss noch ein Telefongespräch zur besseren Einordnung der Ergebnisse stattgefunden.

Tabelle 2-4 Fragen an die Akteure für die Grobanalyse der Standorte

BIOMASSE ANGEBOT	
Organisation/Projekt	Befragter Akteur
	Wer führt die Befragung durch?
	Datum der Befragung?
	Weitere Empfehlungen/Kontakte etc. durch den Befragten
Einordnung des Standorts	
Organisation der Pflegemaßnahme	Wer führt die Maßnahme durch?
Qualität	Welchen Zeitraum umfassen die Pflegeverträge (Verlässlichkeit)
Quantität	Was passiert zurzeit mit den Landschaftspflegeresten?
	Schnitthäufigkeit
	Schnittzeitpunkt (Monat)
	Flexibilität der Gestaltung der Pflegemaßnahme: Von welchen Faktoren hängt Pflegemaßnahme ab?
	Erntemenge je Fläche
	Schwankungsbreite der Erträge (z.B. durch Wetter) Minimal und Maximalangabe, wenn möglich
	Größe der Pflegeflächen?
	Art des Pflegematerials: Holz/Grünschnitt (in jeweiligen Massenanteilen)
	Wassergehalt bei Ernte
	Ist eine Elementaranalyse vorhanden?
	Ist eine Abräumpflicht gegeben?
	Repräsentativität des Standorts "Wie oft gibt es den in Deutschland?"
Lage der Flächen	Transportentfernung, Anteil der Pflegeflächen in einem Gebiet
	Pflege mechanisierbar (Befahrbarkeit, Gefälle, ...)
BIOMASSE NACHFRAGE	
Energieanlagen	Gibt es in der Region bereits energetische Biomassenutzungen?
	Andere Möglichkeiten zur Mitverbrennung (Kohle-KW, MVA)?

Durch eine Befragung ausgewählter Mitgliedsverbände des Deutschen Verbandes für Landschaftspflege (DVL) sowie durch Literatur- und Internetrecherchen erfolgte die weitere Suche nach Akteuren mittels Expertenbefragungen. Insbesondere durch die Expertenbefragung haben sich verschiedene Kontakte zu Landschaftspflegeakteuren ergeben, die sich bereits mit der Frage nach einer energetischen Nutzung der Landschaftspflegereste beschäftigt haben.

2.3 Die Standorte der Befragung

Nachfolgend werden die befragten Standorte zunächst kurz vorgestellt. Die folgende Karte (Abbildung 2-1) zeigt alle Standorte auf einen Blick und erlaubt eine Aussage über die regionale Streuung. Gleichzeitig gibt sie damit einen ersten Anhaltspunkt zu deren geographischer Repräsentativität. Weitere Standortinformationen sind in Tabelle 2-5: aufgeführt. Aus den recherchierten Beispielstandorten wurden in einem ersten Auswahlschritt diejenigen ausgewählt, die grundsätzlich für eine Detailanalyse geeignet erscheinen und übertragbare Ergebnisse erwarten lassen.

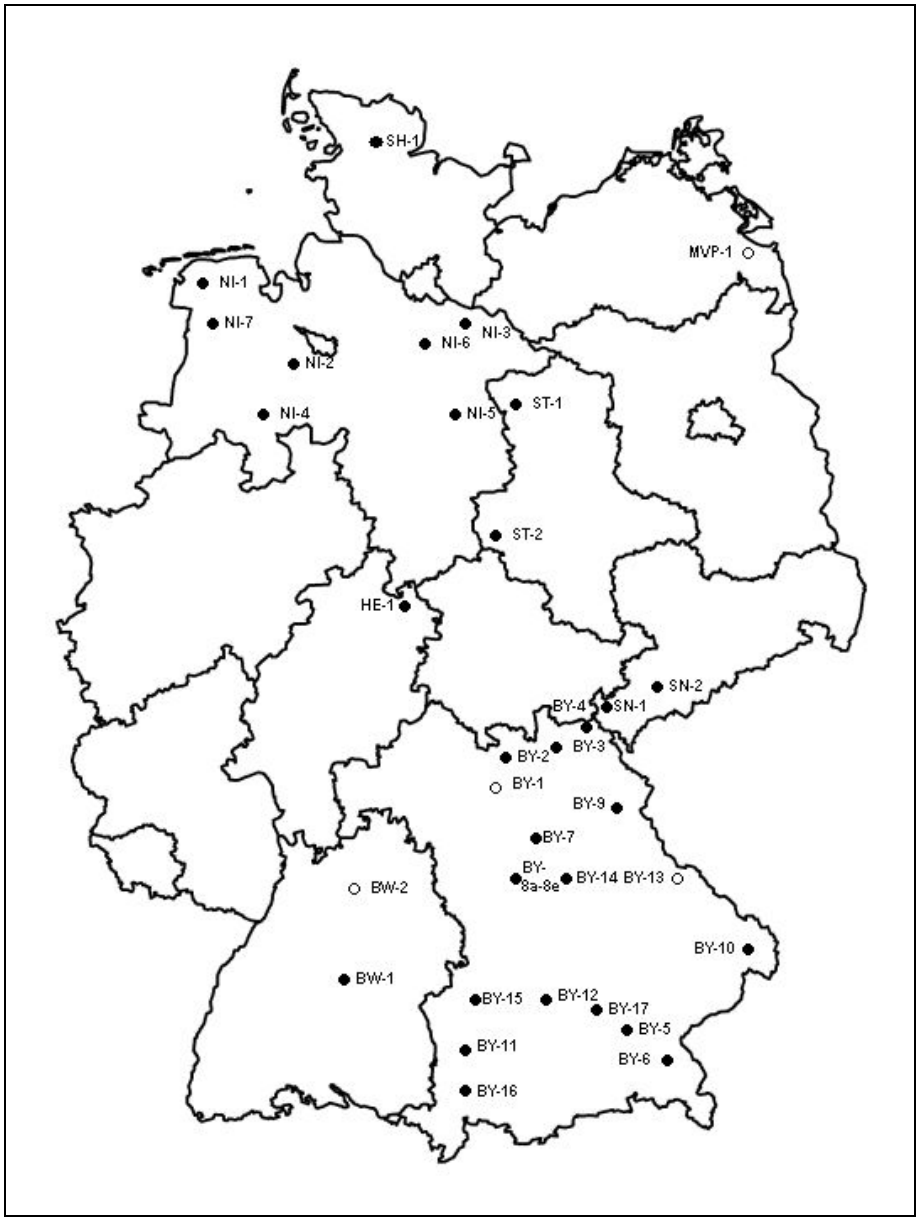

Abbildung 2-1 Untersuchte Standorte der Grobanalyse

Tabelle 2-5: Beschreibung der Standorte der Grobanalyse

Bundesland, Nr.	Kurzbezeichnung	Biotopptypen Bemerkungen	Repräsentativität	Pflegebedarf	Biomasse		Bioenergieanlagen
					Holz	Grünschnitt	
SH-1	**Schleswig Holstein 24 837 Schleswig**	Knicks	regional hoch	Regelmäßig alle 10-15 Jahre	X (+)		**SH-1**
NI-1	**Ostfriesland 26 624 Wiegboldsbur**	Wallhecken, Feuchtwiesen	hoch	alle 5-8 Jahre 1-2 x jährlich	>5700 km	>1000 ha	**NI-1**
NI-2	**Mittleres Delmetal 27243 Harpstedt**	Grünland auf Niedermoor	hoch	1-2 x jährlich		130 ha (+)	**NI-2**
NI-3	**Wendland / Elbetal 21 337 Lüneburg**	verschiedene Wiesentypen, Streuobstwiesen, ~90 Flusskilometer Ufergehölz	hoch	1-2 x jährlich	Ufergehölz	>20 000 ha (++) <20 ha Obst	**NI-3**
NI-4	**Diepholzer Moorniederung 49 419 Wagenfeld**	Grünland, Hochmoor, Gewässerränder	mittel (Hochmoore sind eher selten)		unregelmäßig	X	**NI-4**
NI-5	**Niedersächsischer Drömling 38 518 Gifhorn**	Grünland auf Niedermoor	hoch	alle 5-8 Jahre 1-2 x jährlich	X	600 ha	**NI-5**
NL 6	**Lüneburger Heide 29 646 Bispingen**	Calluna-Heide, 5500 ha Heidefläche wird gepflegt	regional hoch	regelmäßig aber wechselnde Flächen	X		**NL 6**
NI-7	**Wallhecken - Leer 26817 Rhauderfehn - Backemoor**	Wallhecken, Feuchtwiesen	hoch	alle 5-8 Jahre 1-2 x jährlich	>5700 km	>1000 ha	**NI-7**

Bundes-land, Nr.	**Kurzbezeichnung**	**Biotopptypen Bemerkungen**	**Repräsen-tativität**	**Pflegebedarf**	**Biomasse**		**Bioenergieanlagen**
					Holz	**Grün-schnitt**	
ST-1	**Sachsen-anhaltinischer Drömling 39646 Oebisfelde**				?	X (+)	**ST-1**
ST-2	**Harz 38 899 Hasselfelde**				X	40 ha	**ST-2**
MVP-1	**Odermündung 17379 Ferdinands-hof**	Feuchtwiesen +andere			X wenig	X	**MVP-1**
BW-1	**Schwäbische Alb 72 760 Reutlingen**	Streuobstwiesen, Mager- bis Fettwiesen	hoch	Wiesen 1-2x jährlich plus Obstbaumschnitt	X	X (+)	**BW-1**
BW-2	**Heilbronn PLZ 74 072**	60 % Kalkmagerrasen, 20 % Feucht- und Nasswiesen und 20 % Sonstige Steilhänge der Jagst und Kocher, Trockenmauern, bis 14 Terrassen, Steinriegel	selten	1x auf kleinen Flächen	X	X	**BW-2**
BW-3	**Schwarzwald 77 761 Schiltach**						**BW-3**
BW-4	**Emmendingen PLZ 79 312**						**BW-4**
HE-1	**Biotopverbund Werrra-Meißner-Kreis 37 213 Witzenhau-sen**	Grünland (frisch, feucht), Feldgehölz, Säume	hoch	1-2 x jährlich unregelmäßig 1 x jährlich	wenig	280 ha - 520 ha	**HE-1**

Bundes-land, Nr.	Kurzbezeichnung	Biotopptypen Bemerkungen	Repräsen-tativität	Pflegebedarf	Biomasse		Bioenergieanlagen
					Holz	Grün-schnitt	
BY-1	**Bamberg PLZ 96 052**	Jura, überwiegend trockene Standorte, Trocken-, Halb-trockenflächen, viele Stand-orte in Extremlagen (Steil-hang)	selten, nicht re-präsentativ	1x jährlich, kleine Flächen	X wenig	X wenig	**BY-1**
BY-2	**Lichtenfels PLZ 96 215**			regelmäßig, 1-2 x jähr-lich	X	X	**BY-2**
BY-3	**Coburger Land PLZ 96 275**	Keuper-Lias -Land, Jura (Kalk), überwiegend trocke-ne Standorte, Grünland mit Hecken, Hügelstandort mit großen Waldflächen		regelmäßig, 1-2 x jähr-lich	X	X	**BY-3**
BY-4	**Landkreis und Stadt Hof PLZ 95 032**	Hauptteil der Flächen liegt im Frankenwald, Nasswiesen mit hohem Binsen und Seg-genanteil		regelmäßig, 1-2 x jähr-lich	X	X	**BY-4**
BY-5	**Ebersberg PLZ 85 560**	Alpen Vorland, Jung-Moränengürtel, 80% der Flächen feucht, 20% trocken, offene Landschaft durch Waldflächen unterbrochen		regelmäßig, 1-2 x jähr-lich	X	X	**BY-5**
BY-6	**Traunstein PLZ 83 278**	Alpen Vorland, Jung-Moränengürtel, 80% der Flächen feucht, 20% trocken, magere, trockene aber auch feuchte Grünlandstandorte		regelmäßig, 1-2 x jähr-lich	X	X	**BY-6**

Bundes-land, Nr.	Kurzbezeichnung	Biotopptypen Bemerkungen	Repräsen-tativität	Pflegebedarf	Biomasse		Bioenergieanlagen
					Holz	Grün-schnitt	
BY-7	**Nürnberg PLZ 90 471**	Keuper-Lias-Land, Sandmagerrasen, trockener Grünlandstandort	selten - hoch	1-2x jährlich	X	X	**BY-7**
BY-8a-8e	**Mittelfranken PLZ 91 522**	Keuper-Lias-Land, magere trocken, aber auch Feuchtstandorte, Trockenrasen, Wachholderheiden, teilweise Niedermoor		regelmäßig, 1-2 x jährlich	X	X	**BY-8a-8e**
BY-9	**Naturpark Nördl. Oberpfälzer Wald PLZ 92 660**	Naturraum: Keuper-Lias-Land, mageres, trockenes auch feuchtes, sandiges Grünland, hoher Waldanteil in der Region		regelmäßig, 1-2 x jährlich	X	X	**BY-9**
BY-10	**Passau PLZ 94 032**	Molassenhügelland, Ostbayerisches Grundgebirge, nördlich von der Donau ca. 90% Feuchtwiesen		regelmäßig, 1-2 x jährlich	X	X	**BY-10**
BY-11	**Unterallgäu PLZ 87 719**	Molassenhügelland, Voralpines Hügel- und Moorland, Schwerpunkt: Streuwiesen		regelmäßig, 1-2 x jährlich	X	X	**BY-11**
BY-12	**Dachau PLZ 85 229**	Molassenhügelland, magere, trockene aber auch feuchte Grünlandflächen		regelmäßig, 1-2 x jährlich	X	X	**BY-12**
BY-13	**Cham PLZ 93 413**	Oberbayerisches Grundgebirge, Waldreiche Region, magere und feuchte Grünlandstandorte		regelmäßig, 1-2 x jährlich	X	X	**BY-13**

Bundes-land, Nr.	Kurzbezeichnung	Biotopptypen Bemerkungen	Repräsen-tativität	Pflegebedarf	Biomasse		Bioenergieanlagen
					Holz	Grün-schnitt	
BY-14	**Neumarkt PLZ 92 318**	Naturraum: Jura, Kalkmager-rasen, trocken		regelmäßig, 1-2 x jähr-lich	X	X	**BY-14**
BY-15	**Günzburg PLZ 89 335**			regelmäßig, 1-2 x jähr-lich	X	X	**BY-15**
BY-16	**Ostallgäu PLZ 87 616**			regelmäßig, 1-2 x jähr-lich	X	X	**BY-16**
BY-17	**Freising PLZ 85 356**	Niedermoor, Streuwiesen, Feuchtwiesen, sonstiges Grünland		regelmäßig, 1-2 x jähr-lich	X	X (++)	**BY-17**
SN-1	**Westerzgebirge PLZ 08 289**			regelmäßig, 1-2 x jähr-lich	X	X	**SN-1**

Quelle: Angaben beruhen auf der Auswertung der Interviews, grün hinterlegt sind die Zeilen der Beispielgebiete für die Detailanalyse, grün hinterlegt sind die ausgewählten Beispielgebiete. (+),(++) Einschätzung der Datenlage gut, sehr gut

2.4 Zwischenergebnisse der Fragebogenauswertung

Aus der Gesamtzahl der Standorte der Grobanalyse wurden vier für die Detailanalyse ausgewählt, in denen eine Energienutzung von Landschaftspflegeresten möglich erscheint oder schon realisiert wird. Im Fokus stand die Frage, inwiefern das Vorgehen vor Ort bzw. die regionalen Konstellationen geeignet erscheinen, um auf andere Standorte übertragen zu werden.

Hierfür wurden die Standorte nach verschiedenen Kriterien betrachtet, die schließlich gegeneinander abzuwägen waren. Diese Bewertung erfolgte dabei heuristisch und nicht nach einer quantitativen Methode. Es kam auf günstige Konstellationen folgender Aspekte an:

- Repräsentanz des Standortes
  (Häufigkeit des Vorkommens des Biotoptyps, Fläche, Ertrag, Pflegemaßnahme, Veränderungsdruck durch Wandel in der Landnutzung, wie z. B. schwindende Tierbestände)
- Besonders aufgeschlossene und engagierte Akteure
- Bereits geplante bzw. durchgeführte Aktivitäten /Überlegungen zur Energienutzung von Biomasse aus der Landschaftspflege
- Vorhandensein von Biomasseverwertungsanlagen (für Mitverbrennung bzw. reine Biomassenutzung)
- hohe Erträge (Holzschnitt, Gras)

2.5 Vorauswahl der vertieft betrachteten Standorte

Aus der Gesamtzahl der recherchierten und mittels Grobanalyse charakterisierten Beispielstandorte kam eine kleine Auswahl grundsätzlich für eine weitere Detailanalyse in Frage. Diese Standorte werden im Folgenden näher beschrieben und es wird begründet, welche weiter untersucht werden und welche nicht. Sofern nicht anders angegeben, stammen die Informationen aus den geführten Interviews mit den Akteuren am Standort.

2.5.1 Knicklandschaft um Schleswig

In Schleswig-Holstein wird das Landschaftsbild durch Knicks geprägt. Im gesamten Bundesland finden sich ca. 45.000 km dieses Lebensraumtyps. Um die Knicks zu erhalten ist eine regelmäßige Pflege erforderlich. Alle 10-15 Jahre müssen die Knickgehölze etwa eine handbreit über dem Boden abgeschnitten werden (= auf den Stock setzen). Einzelne Bäume sollten dabei im Abstand von etwa 50 Metern stehen gelassen werden (Überhälter). Die dabei anfallende holzige Biomasse eignet sich als Holzhackschnitzel vor allem zur thermischen Verwertung. Ein gutes Beispiel dafür ist die Knicklandschaft um Schleswig, in der in einem Umkreis von 20 km Knicks in einer Länge von 540 km

stehen. Aus deren Pflege könnten nach Potenzialabschätzungen der Schleswiger Stadtwerke 9.000 m³ Holzhackschnitzel gewonnen werden. In dem von den Stadtwerken betriebenen Holzheizwerk Gildestraße werden jährlich 1.800 Sm³ Holzhackschnitzel verfeuert. Hierdurch können 83 Haushalte zu 97 % mit Wärme aus Knickpflegematerial versorgt werden. Das erforderliche Heizmaterial wird dabei bereits als Hackschnitzel von den Landwirten, Lohnunternehmern und von der Autobahnmeisterei angeliefert.

Bei dem Beispiel Knicklandschaft um Schleswig handelt es sich also um einen Fall, der bereits über ein gut funktionierendes Nutzungskonzept verfügt. Im Rahmen des durchgeführten Projektes wurde das Beispiel vorgestellt und ausführlich diskutiert, so dass die in Schleswig gewonnenen Erfahrungen in die Bearbeitung der zur Detailanalyse ausgewählten Beispiele einfließen konnten.

2.5.2 Wallhecken in Ostfriesland

In Ostfriesland (Abbildung 2-2) gehören Wallhecken und Feuchtwiesen zur typischen Kulturlandschaft.

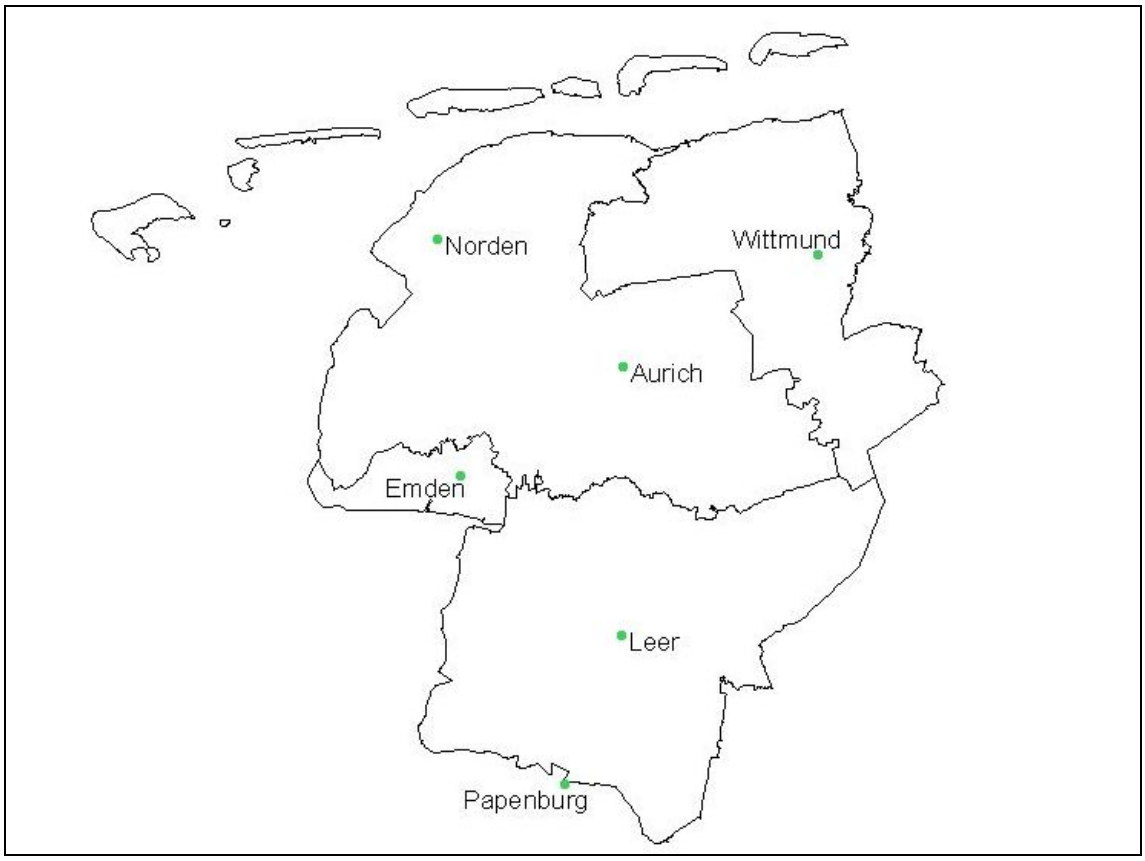

Abbildung 2-2: Ostfriesland mit den Landkreisen Leer, Aurich, Wittmund, der kreisfreien Stadt Emden sowie angrenzend Papenburg

Mehr als 5.700 km Wallhecken sind in Ostfriesland noch vorhanden. Für deren Erhalt ist es erforderlich, sie alle acht bis zehn Jahre auf den Stock zu setzen. Dadurch fallen große Mengen Holzschnitt an, die bisher meist ohne Nutzung der entstehenden Wärme verbrannt werden. Auch Grünschnitt aus Landschaftspflegemaßnahmen auf Feuchtwiesen (mehrere 1.000 ha) fällt in der Region an. Ein Landschaftspflegehof bewirtschaftet davon 300 ha. Seit 2002 führt der Verein „Region Ostfriesland e.V." das Programm „Regionen Aktiv" erfolgreich durch. Das Interesse an einer möglichen energetischen Verwertung von Landschaftspflegeresten ist hier sehr hoch. In Ostfriesland gibt es mehrere Biomasseheizkraftwerke (z.B. in Emden, Norden und angrenzend in Papenburg) sowie landwirtschaftliche Biogasanlagen, die möglicherweise für eine energetische Verwertung des Materials in Frage kommen.

Stellvertretend für den Biotoptyp Hecke werden die Wallhecken in Ostfriesland innerhalb der Detailanalyse Kapitel 4.2 betrachtet. Hierbei ist von besonderem Interesse, inwiefern sich Erkenntnisse aus der Nutzung der Knicks in Schleswig-Holstein auf die Ostfriesland übertragen lassen. Die detaillierte Standortbeschreibung des Gebietes befindet sich im Kapitel 4.2.1.

2.5.3 Mittleres Delmetal

Das Tal der Delme zwischen Harpstedt und Delmenhorst ist ein sehr naturnaher Abschnitt mit wertvollen Arten und Lebensgemeinschaften, das als FFH-Gebiet gemeldet ist. Die zu beiden Seiten an die Delme angrenzenden Flächen wurden von Landwirten noch bis vor wenigen Jahrzehnten extensiv genutzt. Heute sind die Flächen zum Teil entwässert und umgebrochen. Flächen, deren Bewirtschaftung sich nicht mehr lohnt, wurden aufgegeben und entwickelten sich zu Hochstaudenfluren und Gebüschen. Ca. 130 ha dieser Grünlandstandorte werden nun vom BUND naturgerecht bewirtschaftet.

Durch den kooperativen Betrieb einer mit Fördermitteln des Bundesamtes für Naturschutz eigens errichteten Biogasanlage soll das bei der Pflege von Grünland anfallende Mahdgut zukünftig der energetischen Verwertung zugeführt werden. Die entsprechende Trockenfermentationsanlage (BIOFERM© Anlage) hat im Herbst 2006 ihren Probebetrieb aufgenommen und wird mit ausschließlich Grünschnitt aus der Biotoppflege betrieben.

Ähnlich wie bei dem Beispiel „Knicklandschaft um Schleswig" handelt es sich hier also um einen Fall, der bereits über ein Nutzungskonzept verfügt. Im Rahmen des durchgeführten Projektes wurde aus dieses Beispiel vorgestellt und ausführlich diskutiert, so dass die im Delmetal gewonnenen Erfahrungen in die Bearbeitung der zur Detailanalyse ausgewählten Beispiele einfließen konnten.

2.5.4 Wendland-Elbetal

Das Gebiet Wendland-Elbetal (vgl. Abbildung 2-3) setzt sich räumlich aus dem Landkreis Lüchow-Dannenberg sowie den Samtgemeinden Scharnebeck, Bleckede, Amt Neuhaus und Dahlenburg (Landkreis Lüneburg) zusammen.

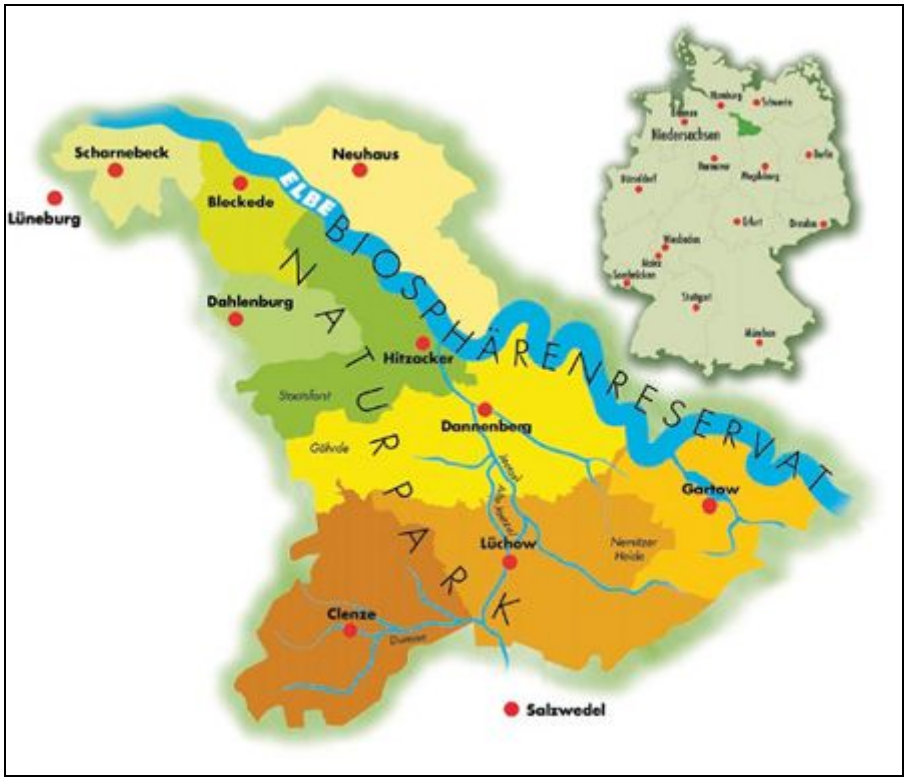

Abbildung 2-3 Lage der Region Wendland-Elbetal

Quelle: Region aktiv Wendland-Elbetal 2006

Die Landschaft ist vorrangig durch landwirtschaftliche Acker- und Grünlandnutzung geprägt. Weite Teile sind als FFH-Gebiete und Vogelschutzgebiete (Natura 2000) der europäischen Kommission gemeldet worden. Das Gebiet ist aus naturschutzfachlicher Sicht von großer Bedeutung. Die Elbe ist in ihrem Abflussregime relativ ungestört und daher eine der letzten naturnahen Ströme Mitteleuropas. Ihre weit verzweigten Arme, Rinnen und Senken sowie das weitreichende Feucht- und Nassgrünland sind Lebensraum für Kraniche, Fischadler, Weißstorch und Biber, sowie für weitere vom Aussterben bedrohte Tierarten. Auch eine einzigartige und sehr artenreiche Flora ist hier zu finden. Typisch sind hier zum Beispiel Stromtalwiesen (z. B. mit Brenndolde *Cnidium dubium*, Graben-Veilchen *Viola persicifolia*) sowie Mesophile Flachlandmähwiesen beispielsweise mit Wiesen-Glockenblume *Campanula patula*. Im Übergang zu Dünen und zur Geest sind auch Sandtrockenrasen (z. B. mit Feld-Mannstreu *Eryngium campestre*) vorhanden. Auch Streuobstwiesen bestimmen hier teilweise die Kulturlandschaft.

56 760 ha des Gebietes liegen im Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue sowie 75 000 ha im Naturpark Elbufer-Drawehn. 10 300 ha befinden sich in Naturschutzgebieten, 12 000 ha in Landschaftsschutzgebieten.

Landschaftspflegereste fallen aus den verschiedenen Grünlandtypen an. Dazu gibt es eine Studie über die Ertrags- und Qualitätsparameter in Abhängigkeit vom Biotoptyp inklusive Elementaranalyse von Gehalten an P, K, Mg, Si, S, Ca, Mn, Fe sowie zu den Schwermetallen As, Pb, Hg, Cd, Cr und Zn. Die in geringen Mengen anfallenden Grün- und Holzschnitt aus der Pflege von Streuobstwiesen werden bisher vom jeweiligen Eigentümer verbrannt oder anderweitig verwendet.

Von verschiedener Seite (u. a. Biosphärenreservatsverwaltung) wird angedacht, im Rahmen der Gewässerunterhaltung der Elbe Teile der spontanen Ufergehölze (v. a. Weiden) einer energetischen Nutzung zuzuführen. Im Rahmen von „Regionen Aktiv“ (gefördert vom BMELF) wurde eine Machbarkeitsstudie zur Pressung von Holz, Silage und Heu zu hochwertigem Futtermittel und Brennstoff erarbeitet. In der Region Wendland-Elbetal sind bereits einige Bioenergieanlagen vorhanden. Darunter ist eine Biogasanlage in Gartow sowie 5 Holzhackschnitzel-Feuerungsanlagen. Außerdem gibt einige landwirtschaftliche Biogasanlagen im Landkreis Lüchow-Dannenberg.

Dieser Standort ist von seinen naturschutzfachlichen Erfordernissen und von seinem Potenzial äquivalent zum Standort der Diepholzer Moorniederung. Um möglichst Standorte verschiedener Ausprägung zu bearbeiten, konnte nur einer von beiden ausgewählt werden. Aus dem Projektablauf heraus hat sich das Bearbeiterteam für die Diepholzer Moorniederung entschieden, fachliche Gründe gegen das Elbetal gab es keine.

2.5.5 Diepholzer Moorniederung

Die Diepholzer Moorniederung liegt in der Mitte des Dreiecks Bremen, Hannover und Osnabrück und hat eine Gesamtgröße von ca. 105.000 ha (vgl. Abbildung 2-4). Davon sind (ohne Dümmerregion) ca. 24.000 ha Hochmoore, ca. 15.000 ha Feuchtgebiet internationaler Bedeutung, ca. 11.900 ha Naturschutzgebietsfläche (im Landkreis Diepholz) und ca. 30.000 ha sonstige naturschutzwürdige Fläche.

Der Naturraum ist insgesamt ein herausragendes Brutvogelgebiet, so dass weite Teile, vor allem die Hochmoore und Feuchtwiesengebiete, aus avifaunistischer Sicht von lokaler, regionaler und nationaler Bedeutung sind.

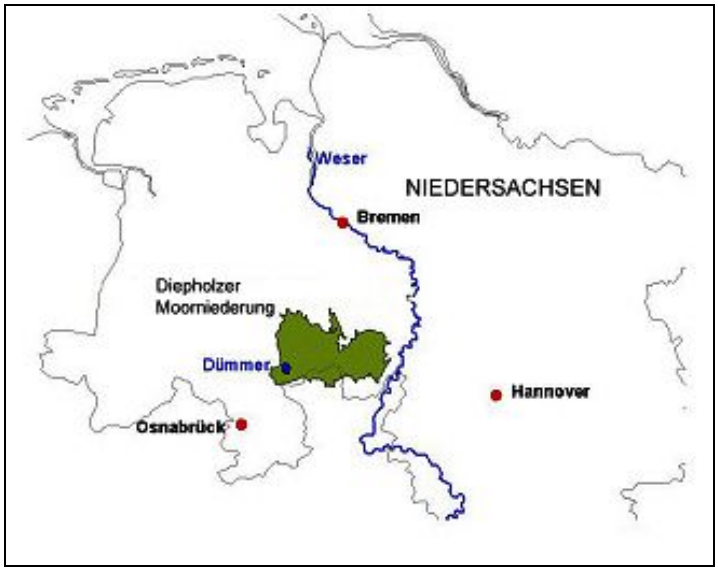

Abbildung 2-4 Lage der Diepholzer Moorniederung

Quelle: BUND Niedersachsen

Um den hohen naturschutzfachlichen Wert der Naturraums zu erhalten, ist der Großteil der schutzwürdigen Gebiete auf eine regelmäßige extensive Nutzung bzw. Pflege angewiesen.

Nur ein verhältnismäßig kleiner Teil der Moorflächen ist auf Grund von Wiedervernässungsmaßnahmen nicht regelmäßig zu pflegen. In den übrigen ehemaligen Torfabbaugebieten, erfolgt die erforderliche Pflege der Flächen insbesondere durch Schafbeweidung. Es gibt sowohl Verträge zwischen dem Landkreis und Schäfereibetrieben als auch im Rahmen eines Kooperationsprogramms zur Biotoppflege zwischen dem Land Niedersachsen und Schäfereien. Grünlandflächen, die dem Landkreis oder dem Land Niedersachsen gehören, sind darüber hinaus zur naturschutzkonformen extensiven Bewirtung an Landwirte verpachtet.

Die Diepholzer Moorniederung wurde als Beispielstandort für die Detailanalyse ausgewählt, da hier bereits verschiedene Akteure die energetische Nutzung der Pflegereste anstreben. Die detaillierte Standortbeschreibung des Gebietes im Kapitel 4.5.1.

2.5.6 Streuobstwiesen des Albtraufs im Landkreis Reutlingen

Das Vorland der Schwäbischen Alb, der sog. Albtrauf (Abbildung 2-5), ist durch Streuobstbau mit extensiver Grünlandnutzung geprägt. Diese historisch gewachsene Kulturlandschaft bietet Lebensraum für wertvolle Arten und Lebensgemeinschaften, insbesondere Vögel, Insekten und Kleinsäuger. Streuobstwiesen sind insbesondere ein für Süddeutschland repräsentativer Biotoptyp. Doch angesichts der ortsnahen Lagen sind die Obstwiesen durch Orterweiterungen, Flurbereinigungen (Neuordnung des Obstbaus)

und Verkehrswegebau gefährdet. Weitere Bedrohungen stellen einerseits mangelnde Pflege und andererseits eine Intensivierung des Obstbaus dar, so dass diese Kulturlandschaftsform ungeachtet zahlreicher Neu- und Nachpflanzungen bedroht ist. Angesichts der unrentablen Bewirtschaftung werden die Bestände heute vorwiegend nur noch als Privatgärten und durch den Einsatz ehrenamtlicher Streuobstinitiativen erhalten werden. Großflächiges Naturschutzziel für Baden-Württemberg ist die Erhaltung und Förderung des Streuobstanbaus mit extensiver Grünlandnutzung.

Die Gebietskulisse des Albtraufs umfasst etwa 98.000 ha, wovon 2 % Streuobstwiesen und 34 % Grünland sind. Im Landkreis Reutlingen finden sich große zusammenhängende Bestände (insgesamt 3800 ha). Weitere Flächen liegen in den benachbarten Landkreisen, mit denen im Rahmen von PLENUM[4]-Projekten bereits eine Zusammenarbeit stattfindet, so dass vom Albtrauf wesentliche Teile einbezogen werden können.

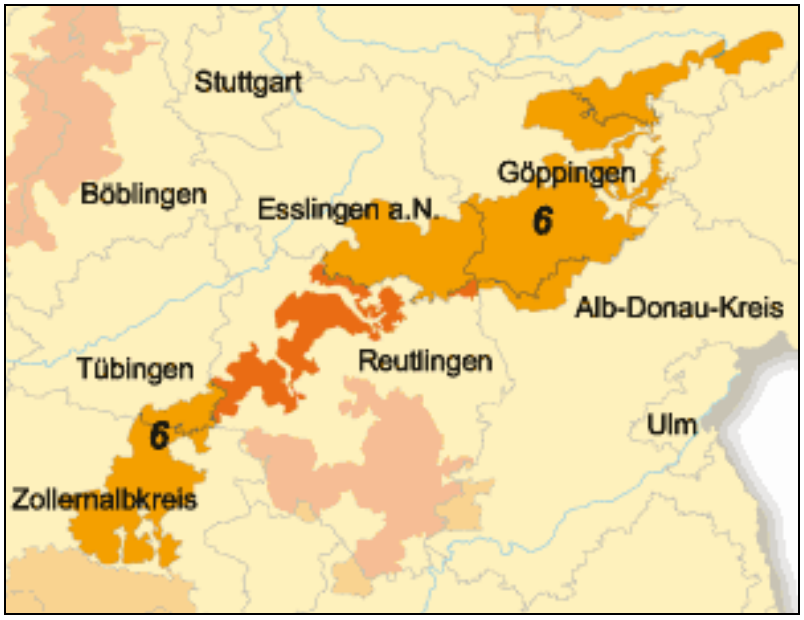

Abbildung 2-5 Lage und Ausdehnung des Albtraufs

Quelle: PLENUM (http://www.plenum-bw.de)

In den Höhenlagen der Schwäbischen Alb kommen noch Kalkmagerrasen und Wacholderheiden als weitere Biotoptypen hinzu. In beiden Fällen handelt es sich um ertragsarme Offenlandschaften, zu deren Erhalt ebenfalls Landschaftspflegemaßnahmen notwendig sind. Es ist geplant ein Biosphärenreservat Schwäbische Alb einzurichten. Neben einigen FFH-Lebensraumtypen gibt es hier auch Tier- und Pflanzenarten der FFH-Richtlinie. Einige Bereiche sind als FFH-Nachmeldegebiete vorgeschlagen.

4 Seit 1995 existiert in Baden-Württemberg das Projekt PLENUM (Projekt des Landes zur Erhaltung und Entwicklung von Natur und Umwelt). Es dient der langfristigen Sicherung der Lebensräume, ihrer ökologischen Funktionen und der nachhaltigen Nutzung aller Ressourcen. Das Modell verfolgt keinen hoheitlichen Natur- und Umweltschutz, vielmehr soll ein breites Akteursspektrum für den aktiven Umwelt- und Naturschutz in der Region gewonnen werden.

In der Region Reutlingen gibt es bereits Holzheizwerke der Gemeinden in Pfullingen und Metzingen und verschiedene landwirtschaftliche Biogasanlagen. Weiterhin ist der Biobrennstoffanbieter A+S in der Region aktiv, der bereits Erfahrungen mit der Nutzung von Landschaftspflegematerial hat (Holzschnitt für die energetische Nutzung und Grünschnitt nur für die Kompostierung).

Das Gebiet wurde für die weitere Detailanalyse ausgewählt, da es sich hierbei um einen besonders typischen Standort für Süddeutschland handelt und in der Region eine gute Infrastruktur an kleineren an Bioenergieanlagen und Brennstoffanbietern existiert. Die detaillierte Standortbeschreibung des Gebietes findet sich im Kapitel 4.3.1.

2.5.7 Biotopvernetzung Werra-Meißner-Kreis

Der Werra-Meißner-Kreis liegt im Nordosten Hessens. In einem vom BfN geförderten Entwicklungs- und Erprobungsvorhaben sollen Biotopverbund, Landschaftspflege, naturverträgliche Landwirtschaft und Energiegewinnung verknüpft werden. Das Biotopverbundkonzept wird mit den Landwirten zusammen erarbeitet und orientiert sich an den vorhandenen Zielarten. Damit verbunden ist das Ziel, nicht nur die Biotopflächen einzubeziehen, sondern die gesamte landwirtschaftliche Flur zu extensivieren. Einbezogen in die Konzeption sind mesophile Wiesen, Frischwiesen, Säume, Ackerrandstreifen mit gering intensiver Ackernutzung im Zwei-Kulturenanbau sowie Streuobstwiesen und Sukzessionsflächen, die als Kompensationsmaßnahmen angelegt wurden. Insgesamt kommen als Suchraum ca. 1.200 ha Biotopvernetzungsflächen in Frage.

Zur Analyse der Zusammensetzung der Biomasse von den unterschiedlichen Flächen sowie der zu erwartenden Massenerträge und Gaserträge wurden schon im Jahr 2005 erste Probenentnahmen durchgeführt, die in den kommenden Jahren fortgesetzt werden.

Für die energetische Verwertung der anfallenden bzw. produzierten Biomasse war zunächst eine Biogasanlage zur Nassfermentation geplant. Inzwischen hat man sich für den Bau einer Pilotanlage entschieden, in der nach einem Konzept der Universität Kassel (Prof. Dr. Scheffer) der zuvor silierte oder getrocknete Grünschnitt in einem ersten Arbeitsschnitt gepresst wird, um aus den Presssäften Biogas zu erzeugen und den gewonnenen Presskuchen dann zu Pellets zu verarbeiten, die thermisch genutzt werden können (vgl. http://www.getproject.de/sonstigedateien/pdf/getproject_Bioenergie_Broschuere.pdf).

Angesichts der bereits bestehenden wissenschaftlichen Betreuung durch das BfN-Vorhaben, wird der Werra-Meißner-Kreis im Rahmen dieses Vorhabens nicht näher betrachtet.

2.5.8 Niedermoorlandschaft Freisinger Moos

Das Freisinger Moos ist eines der größten noch erhalten gebliebenen Niedermoorgebiete in Bayern. Das Gebiet liegt im Naturraum Münchener Ebene südlich von Freising. Es bildet das Verbindungsglied zwischen dem Erdinger Moos im Osten und dem Dachauer

Moos im Westen, wodurch ihm insbesondere nach der Zerstörung von Teilen des Erdinger Mooses durch den Flughafen München II eine besondere Bedeutung zukommt.

Trotz massiver Eingriffe in den Wasserhaushalt schon in der ersten Hälfte des Jahrhunderts blieb der Charakter des Freisinger Mooses weitgehend enthalten, da es bis in die 60er Jahre traditionell extensiv genutzt wurde. Die durch kleinflächige Torfstriche, Streuwiesen sowie ein enges Nebeneinander verschiedener Feucht- und Nasswiesen geprägte Landschaft bietet seit jeher einer Vielzahl niedermoortypischer Pflanzen- und Tierarten Lebensraum. So gelten z.B. extensiv genutzte Nass- und Feuchtwiesen aufgrund ihres Blütenreichtums für den Insekten- und Schmetterlingsschutz als besonders wichtig.

Das Beispielgebiet Freisinger Moos wurde für die Detailanalyse ausgewählt, da es sich hierbei um ein Gebiet mit hohem Biomassepotenzial in einem Ballungsraum mit entsprechenden Nutzungsoptionen und Problemen (z.B. Flächenkonkurrenz durch Maisanbau) handelt. Außerdem gibt es hier bereits schon erste Aktivitäten zur Energienutzung der Biotoppflegereste. Die detaillierte Standortbeschreibung des Gebietes findet sich im Kapitel 4.4.1.

3 Energiegewinnung aus Landschaftspflegematerial (Techniken) und deren Wirtschaftlichkeit

3.1 Qualitätskriterien für Brennstoff und Substrat

Die Landschaftspflegereste der einzelnen Biotoptypen unterscheiden sich sowohl in ihrer Transport- und Lagerfähigkeit als auch in ihrem Energiegehalt und den damit möglichen energetischen Verwertungswegen. Zur Einordnung des zu erwartenden Qualitätsspektrums erfolgt eine Analyse der anfallenden Stoffgruppen hinsichtlich ihrer energetischen Kenngrößen (Heizwert, Biogasertrag) sowie der Anforderungen an die Qualität der Brennstoffe und Substrate zur energetischen Verwertung.

3.1.1 Nutzung als Festbrennstoff

Im Hinblick auf die Identifikation und Quantifizierung der zu definierenden Brennstoffeigenschaften werden in der Praxis v. a. nachfolgend aufgeführte Kenngrößen als entscheidend eingeschätzt (u. a. Härdtlein et al. 2004):

- Form und Größe,
- Dichte,
- Wassergehalt,
- Heizwert,
- Aschegehalt sowie
- Ascheerweichungsverhalten.

Die Kenngrößen werden im Folgenden genauer beschrieben.

Form und Größe

Form und Größe bestimmen die Transportmöglichkeiten und das Verhalten in der Konversionsanlage. Sie sind deshalb wesentliche verbrennungsrelevante Größen, für die eine Abstimmung von Brennstoff und Feuerungsanlage erforderlich ist. Diese Kenngrößen können sowohl bei den verschiedenen Brennstoffformen variieren, wie z. B. staubförmig (Holzstaub), pelletartig (Strohpellets), stückig (Hackschnitzel) oder ballenartig (Strohballen), als auch in Bezug auf den einzelnen Brennstoffpartikel, wie z.B. Größe eines einzelnen Hackstücks oder Form eines Strohballens

Jede Aufbereitungsform erfordert unterschiedliche Vorrichtungen bei Produktion, Transport, Lagerung und energetischer Nutzung. Ein möglichst homogener Brennstoff ist eine wichtige Voraussetzung dafür, dass die in der Regel vollautomatische Brennstoffförderung und Feuerraumbeschickung gut regel- und dosierbar ist und möglichst verstopfungs- bzw. störungsfrei und mit geringem Verschleiß und somit niedrigen Wartungskosten realisiert werden kann. Ein hoher Anteil an Übergrößen im Brennstoff kann

zur vermehrten Brückenbildung und Blockaden führen und hierdurch u. a. die Lagerbewirtschaftung und Brennstoffzuführung erschweren.

Dichte

Die *Roh- oder Einzeldichte* des Brennstoffs beschreibt die eigentliche Materialdichte ohne Berücksichtigung der Hohlräume zwischen den Teilchen. Sie hat Auswirkungen auf bestimmte feuerungstechnisch relevante Eigenschaften (z. B. spezifische Wärmeleitfähigkeit, Entgasungsrate. Die Rohdichte kann nur bei der Herstellung hoch verdichteter Presslinge beeinflusst werden.

Die *Lagerdichte* berücksichtigt dagegen die Hohlräume zwischen den Teilchen und bestimmt das erforderliche Lager- und Transportvolumen der Brennstoffe. Die Lagerdichte ist als Quotient aus der Masse des in einen Behälter eingefüllten Brennstoffs und dem Volumen dieses Behälters definiert.

Wassergehalt

Der Wassergehalt biogener Festbrennstoffe ist großen Schwankungen unterworfen und hängt u. a. vom Erntezeitpunkt, vom Lagerort, von der Lagerart (Freilager, überdachtes Lager, Lagerhalle etc.) sowie von der Lagerdauer, den Lagerbedingungen und der Brennstoffaufbereitung ab. Mit zunehmendem Wassergehalt nimmt der auf die Gesamtmasse bezogene Heizwert von biogenen Festbrennstoffen ab (Abbildung 3-1).

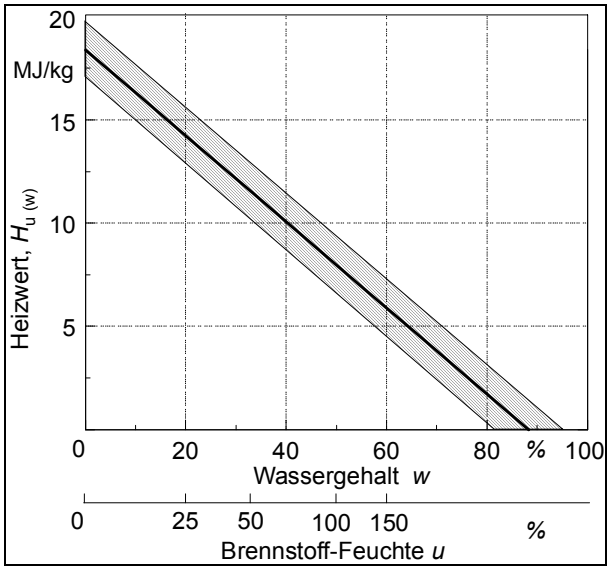

Abbildung 3-1 Heizwert von Holz in Abhängigkeit von Wassergehalt und Brennstoffeuchte

Quelle: Kaltschmitt und Hartmann (2001)

Je nach Klima und Vegetationszeitpunkt liegt der Wassergehalt von *Grasschnitt* zwischen 45 und 70 %. Der Wassergehalt erntefrischer *holzartige Biomassen* liegt zwischen 40 und 60 %. Um einen höheren Heizwert zu erreichen, wird das Holz getrocknet. Bei einem Wassergehalt von ca. 35 % wird das Holz als sommertrocken bezeichnet, bei etwa 18 % als lufttrocken. Voraussetzung dafür ist jeweils eine entsprechende längerfristige Lagerung, deren Zeitraum u. a. vom saisonalen Anfall des Materials, der Art der Biomasse und der ggf. eingesetzten technischen Trocknungsverfahren abhängig ist. Der Wassergehalt beeinflusst jedoch nicht nur den Heizwert, sondern auch die Lagerfähigkeit, die Feuerraumtemperatur, die produzierte Abgasmenge und das Abbrandverhalten.

Heizwert

Der Heizwert von biogenen Festbrennstoffen bezogen auf die wasserfreie Trockenmasse ($H_{u(wf)}$) liegt etwa zwischen 14 und 19 MJ/kg (Abbildung 3-2). Allgemein liegt der Heizwert von Nadelholz über dem von Laubholz. Es zeigt sich, dass die Heizwerte von holzartigen Biomassen liegen durchschnittlich um 10 % über denen von halmgutartigen Biomassen, wie Getreidestroh, Heu und Grasschnitt.

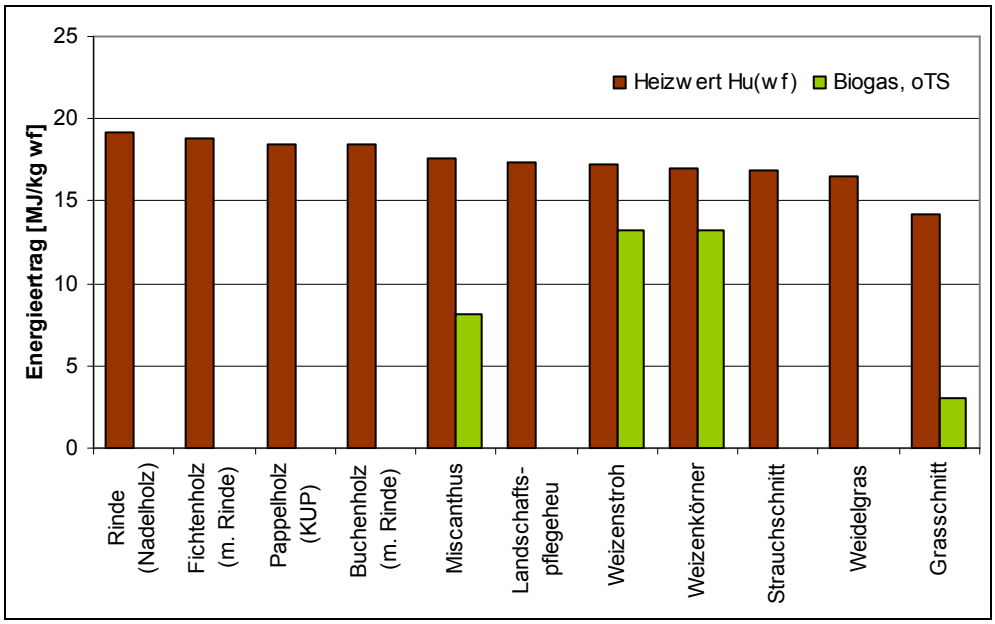

Abbildung 3-2 Energieerträge verschiedener Biomassen

Quelle: Kaltschmitt und Hartmann (2001), FNR (2005a und 2005b)

Aschegehalt

Der Aschgehalt eines Biobrennstoffs hängt von Biomassetyp und –art sowie von den (mineralischen) Verunreinigungen ab. Er beeinflusst den Heizwert der Biomasse und seine Einsatzmöglichkeiten in bestimmten Feuerungsanlagen und hat Auswirkungen auf

mögliche Umweltbelastungen (d. h. Schadstoffemissionen). Außerdem erhöhen sich mit höherem Aschegehalt der Betreuungsaufwand der Anlage und die Aufwendungen für die Entsorgung der anfallenden Verbrennungsrückstände. In der folgenden Tabelle sind die Aschegehalte unterschiedlicher Brennstoffe aufgeführt.

Tabelle 3-1 Aschegehalte unterschiedlicher Brennstoffe, nach FNR 2005a

Brennstoff	Aschegehalt (wf) in %	Brennstoff	Aschegehalt (wf) in %
Buchenholz mit Rinde	0,5	Weizenstroh	5,7
Fichtenholz mit Rinde	0,6	Weizenkörner	2,7
Pappelholz, Kurzumtrieb	1,8	Miscanthus	3,9
Weidenholz, Kurzumtrieb	2,0	Landschaftspflegeheu	5,7
Nadelholzrinde	3,8	Weidelgras	8,8

Bei der Verbrennung von Gras fallen im Vergleich zur Holzverbrennung deutlich höhere Aschemengen an. Bei der Entsorgung von Aschen auf landwirtschaftliche Flächen bestehen Bedenken in Hinblick auf den Gehalt von Schwermetallen. Dies zeigt auch die aktuelle Diskussion über die Entsorgung von Aschen über diesen Weg und es wurden noch keine abschließenden Regelungen getroffen. Bei der Nutzung von Heu als Brennstoff ist daher auch der Entsorgungsweg der Asche zu beachten.

Ascherweichungsverhalten

Jeder Brennstoff verfügt über ein eigenes Ascheerweichungsverhalten, das vom Temperaturniveau bei der Verbrennung abhängt. Mit höheren Temperaturen kommt es zum Verkleben („Versintern“) bis zum völligen Aufschmelzen der Aschepartikel. Dadurch kann es zu Anbackungen und Ablagerungen im Feuerraum, am Rost und an den Wärmeübertrageflächen kommen, die zu Betriebsstörungen führen. Während Holz und Rinde mit einem Ascheerweichungspunkt von ca. 1 300 bis 1 400 °C aus technischer Sicht meist unkritisch sind, liegen die entsprechenden Temperaturen bei halmgutartigen Brennstoffen größtenteils unter 1 200 °C (bei Biomassefeuerungen liegen die Temperaturen in der Hauptverbrennungszone, je nach Brennstoff und Feuerungsart, zwischen 900 und 1 300 °C), wodurch es zu den beschriebenen Nachteilen kommen kann (FNR 2005a).

Die Bedeutung der übrigen Kenngrößen zur Brennstoffcharakterisierung (z. B. Inhaltsstoffe, Aschezusammensetzung) hängt vielfach von der Art der eingesetzten Biomasse und von der Größe und dem Feuerungskonzept der Konversionsanlage und der Abgasreinigung ab. So variiert die Relevanz der chemisch-stofflichen Eigenschaften je nach Herkunft des Brennstoffs und ist bei den halmgutartigen Brennstoffen wegen der ver-

gleichsweise höheren Nährstoffgehalte grundsätzlich größer als bei den holzartigen Brennstoffen.

3.1.2 Nutzung als Biogassubstrat

Die Lager- und Transportfähigkeit von Biogassubstraten ist in der Regel deutlich begrenzter als die von Festbrennstoffen. Damit ist die Entwicklung überregionaler Märkte weniger bedeutend und die Standardisierung hinsichtlich der Substratqualität nicht soweit fortgeschritten. Da es sich bei den möglichen Biogassubstraten aus der Landschaftspflege jedoch um halmgutartige und somit feste Biomassen handelt, können einige Eigenschaften (Form und Größe, Dichte, Wassergehalt) aus der Nutzung als Festbrennstoff (siehe Abschnitt 3.1.1) übernommen werden. Neben diesen Eigenschaften ist jedoch der Biogasertrag des verwendeten Substrats von entscheidender Bedeutung.

Biogasertrag

Das bei der Vergärung gebildete Gasgemisch (Biogas) besteht hauptsächlich aus Methan (CH_4) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) und ist wasserdampfgesättigt. Der Anteil des energetisch nutzbaren Methans liegt zwischen 55 und 80 %. Je nach Zusammensetzung der eingesetzten Gärsubstrate (z. B. Überschuss an Eiweiß) entstehen geringe Mengen an Schwefelwasserstoff (H_2S) und Ammoniak (NH_3). Der Heizwert (H_u) von Biogas ist grundsätzlich proportional zum Methangehalt. Er beträgt bei einem Volumenanteil von 55 bis 80 % Methan im Biogas ca. 19 bis 28 MJ/m³ (Heizwert von Methan 35,89 MJ /m³).

Der Biogasertrag von Grasschnitt liegt (bei einem Wassergehalt von 45 bis 70 %) zwischen 150 und 200 m³/t FM, der Methangehalt des Gases wird mit ca. 55% angegeben. Daraus resultiert ein Energieertrag von 3 MJ/kg (Abbildung 3-2) (FNR 2005b). Aufgrund der sehr unterschiedlichen Qualitäten von Gras, welche sich vom jungen und kurzen Golfrasenschnitt über landwirtschaftliches Futtergras bis zum überständigen Gras von nur einmal jährlich gemähten Naturschutzflächen erstrecken, weist die Literatur eine sehr große Spannweite von Biogaserträgen aus. Die im Rahmen dieses Projektes angenommenen Biogasparameter werden im Kapitel 4.4.2 erläutert.

Grundsätzlich sind Grün- und Rasenschnitt in klassischen Nassfermentationsanlagen als Kosubstrate nutzbar, aufgrund der Neigung zu Schwimmdeckenbildung ist jedoch eine abgestimmte Rührtechnik erforderlich. Eine weitere Verwertungsmöglichkeit stellt die sog. Trockenfermentation dar. Beide Biogasverfahren werden im folgenden Abschnitt näher erläutert. Da Grün- und Rasenschnitt nur saisonal anfällt, muss es für eine ganzjährige Bereitstellung siliert werden. Hier kann er durch das weit verstreute Aufkommen zu hohen Transportkosten kommen. Gegebenenfalls muss das Material vor Einbringen in die Biogasanlage von Störstoffen wie Ästen oder Steinen befreit und homogenisiert werden. Eine Hygienisierung ist in der Regel nicht erforderlich (FNR 2005b).

3.2 Verwertungskonzepte

Im Folgenden werden prinzipiell mögliche Verwertungskonzepte für Landschaftspflegematerialien vorgestellt. In Hinblick auf die Praxisrelevanz im hier betrachteten Kontext wird jeweils ein kurzes Fazit zur vorgestellten Verwertungstechnik formuliert.

3.2.1 Thermochemische Umwandlung

Bei der klassischen Verbrennung fester Biomasse in entsprechenden Feuerungsanlagen wird im Allgemeinen zwischen dem Einsatz in Kleinst-, Klein- und Großanlagen zur Wärme- und/oder Strombereitstellung unterschieden. Die folgende Darstellung soll hierzu einen groben Überblick geben.

Verfahrensvarianten

Die Wärmebereitstellung ist in allen Leistungsbereichen seit Jahrzehnten im praktischen Einsatz. Die ausschließliche und/oder gekoppelte Stromerzeugung in Anlagen im Megawattbereich über konventionelle Dampfprozesse (Turbine) ist ebenfalls gängige Praxis und hat in Deutschland infolge des EEG im Leistungsbereich bis zu einer elektrischen Leistung von 20 MWel erheblich an Bedeutung gewonnen. In solchen Biomasseheizkraftwerken ist auch die Mitverbrennung von Landschaftspflegereste in Form von Holz oder Heu grundsätzlich denkbar. Es stellt sich v. a. die Frage der emissionsrechtlichen Genehmigung des Kraftwerks, sowie der erforderlichen Eigenschaften des Brennstoffs und der Möglichkeit des Betreibers zur Zahlung eines für den Brennstofflieferanten tragfähigen Preises.

Anlagen mit elektrischen Leistungen größer 20 MW_{el} sind technisch, ökologisch und wirtschaftlich realisierbar, finden jedoch aufgrund der EEG-Gestaltung in Deutschland aktuell keine Verwendung. Auch die Stromerzeugung im unteren Leistungsbereich mit hohen Stromwirkungsgraden ist bislang nicht technisch darstellbar. Alle derzeit diskutierten Optionen beinhalten mehr oder weniger große technische (und ökonomische) Defizite. Daraus resultieren für eine direkte Verbrennung biogener Festbrennstoffe die in Abbildung 3-3 dargestellten Möglichkeiten. Grundsätzlich ist auch die Mitverbrennung von Landschaftspflegematerialien in Kohlekraftwerken möglich, allerdings erfolgt hierbei generell keine Vergütung nach dem EEG, weshalb im Rahmen dieses Projekts keine weitere Betrachtung erfolgt[5].

Des Weiteren können thermochemische Veredelungsverfahren zum Einsatz kommen. Dabei erfolgt eine Umwandlung biogener Festbrennstoffe primär unter dem Einfluss

[5] Grundsätzlich bietet die Mitverbrennung von Biomasse die Möglichkeit, CO_2-Zertifikate aus dem Emissionshandel „freizusetzen“ und zu verkaufen, da sie entsprechende Mengen an fossilem Brennstoff einspart. Aufgrund der vergleichsweise hohen Ausstattung der fossilen Kraftwerke mit CO_2-Zertifikaten im Rahmen des Nationalen Allokationsplans sowie der relativ geringen Handelspreise für CO_2-Zertifikate sind daraus resultierenden Kosteneinsparungen bzw. Einnahmen durch die Mitverbrennung von Biomasse aber relativ gering.

von Wärme in gasförmige, flüssige und/oder feste Sekundärenergieträger. Es kann zwischen Vergasung, Verkohlung und Pyrolyse unterschieden werden. Da sich die Verfahren teilweise noch in der Entwicklung und Forschung befinden bzw. in Demonstrations- und Pilotanlagen erprobt werden, sollen diese Nutzungstechnologien im Folgenden nicht weiter betrachtet werden.

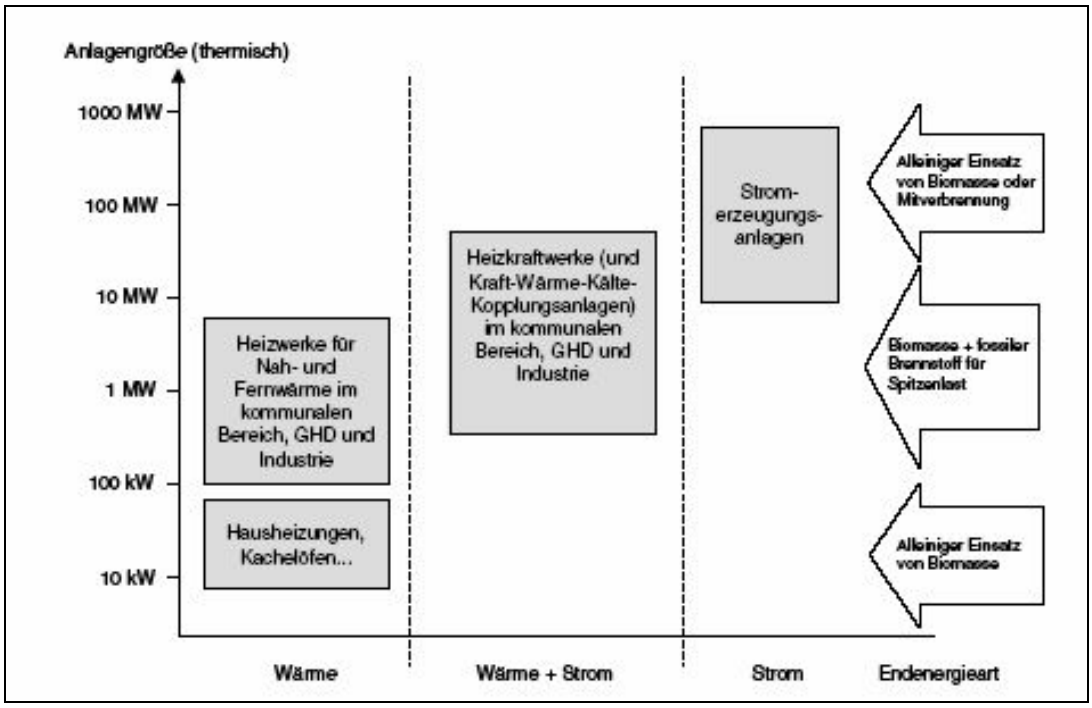

Abbildung 3-3 Derzeitige Anwendungen zur thermochemischen Nutzung fester Biomassen

Quelle: FNR (2005a)

Bei der Planung einer Biomasseverbrennungsanlage muss die Feuerungstechnik auf den einzusetzenden Brennstoff und die notwendige Feuerungswärmeleistung abgestimmt werden. Die Techniken zur Verbrennung von Holz sind weitgehend ausgereift und erprobt. Verfahren zur Verbrennung halmgutartiger Biomassefraktionen stellen dagegen vergleichsweise junge Techniken dar, die nur vereinzelt in Form von Pilot- oder Demonstrationsanlagen über längere Betriebserfahrungen verfügen. Daher erfolgt in diesem Projekt keine genauere Betrachtung dieser prinzipiell möglichen, in der Anwendungspraxis aber nicht etablierten Verwertungsmethode von Heu.

In Tabelle 3-2 werden die verschiedenen Feuerungsarten sowie deren möglicher Einsatzbereich genannt. Im Allgemeinen sind diese Anlagenkonzepte für groben und nicht zu feuchten Brennstoff geeignet. Es werden hauptsächlich Hackschnitzel, Pellets und Späne eingesetzt, wobei die Brennstoffqualität insbesondere durch den Wassergehalt bestimmt wird. Dieser sollte möglichst nicht mehr als 50% betragen. Der Feuerraum wird auf die jeweilige Brennstoffqualität eingestellt um technische Störungen zu

vermeiden und eine möglichst vollständige Verbrennung zu gewährleisten. Die Zuführung des Brennstoffes erfolgt i. d. R. vollautomatisch über Förderschnecken oder Stokerschnecke in den Feuerungsraum. Insbesondere Rostfeuerungen, deren Einsatzbereich im Wesentlichen großstückige und feuchte Holzreste sowie aschereiche Rindenabfälle umfasst, sind für die holzartigen Bestandteile von Landschaftspflegematerialien gut geeignet. In handbeschickten Anlagen werden biogene Brennstoffe in stückiger Form eingesetzt. Da Landschaftspflegematerialien selten in Form von Stückholz bzw. Scheitholz bereitgestellt werden, kommen sie kaum für diese Option in Frage. Für eine ausführlichere Beschreibung der Feuerungsarten wird auf die einschlägige Fachliteratur (u. a. FNR 2005a, Hartmann 2003, Kaltschmitt et al. 2003) verwiesen.

Tabelle 3-2 Systematik der Feuerungsarten

Feuerungsart	**Beschickung**	**Brennstoff**	**Feuerungswärmeleistung**	**Wassergehalt FM**
Holzfeuerungen				
Schachtfeuerung	manuell	stückige Holzreste, Scheite, grobe Hackschnitzel	10 bis 250 kW	< 20 %
Vorofenfeuerung mit Rost	mechanisch	trockene Hackschnitzel	20 bis 1 500 kW	5 bis 35 %
Unterschubfeuerung	mechanisch	Pellets und trockene Hackschnitzel	10 bis 2 500 kW	5 bis 40 %
Vorschubrostfeuerung	mechanisch	alle Holzbrennstoffe	0,15 bis 50 MW	5 bis 60 %
Stationäre Wirbelschichtfeuerung	mechanisch	Partikeldurchmesser < 90 mm	5 bis 35 MW	5 bis 60 %
Zirkulierende Wirbelschichtfeuerung	mechanisch	Partikeldurchmesser < 40 mm	15 bis 250 MW	5 bis 60 %
Einblasfeuerung	pneumatisch	Partikeldurchmesser < 5 mm	0,5 bis 50 MW	< 20 %
Halmgutfeuerungen				
Ballenfeuerung mit stirnseitigem Abbrand („Zigarrenfeuerung“)	mechanisch	Halmgutballen (Hesstonballen)	> 3 MW	< 20 %
Ballenfeuerung mit Ballenteiler	mechanisch	Halmgutquaderballen	0,5 bis 3 MW	< 20 %
Ballenfeuerung mit Ballenauflöser	mechanisch	Halmgutquaderballen	< 0,5 MW	< 20 %
Halmguttaugliche Schüttgutfeuerungen - Schubbodenfeuerung - Vorschubrostfeuerung	mechanisch	Häckselgut, Pellets, Quaderballen	 0,5 bis 3 MW 2,5 bis > 20 MW	< 20 %

Quelle: FNR (2005a)

Brennstoffbedarf

Nachfolgend wird beispielhaft die Bestimmung des Brennstoffbedarfs holzartiger Landschaftspflegematerialien zur thermochemischen Nutzung beschrieben. Damit kann abgeschätzt werden, inwieweit bestehende Potenziale, die im Rahmen von Naturschutz und Landschaftspflege anfallen, die notwendigen Brennstoffmengen der verschiedenen Anlagenoptionen abdecken können. Für holzartige Biomassen werden folgende Kennwerte angenommen:

Heizwert	2 kWh/kg
Wassergehalt	~ 50 %
Dichte	~ 250 kg/m³

Die benötigten Brennstoffmengen, hier als Holzhackschnitzel (HHS) angegeben, sind von der Anlagenleistung und den aus der Endenergieart (Wärme und/oder Strom) resultierenden Vollbenutzungsstunden abhängig. Der Brennstoffbedarf kann mit der aufgeführten Formel berechnet werden:

$$HHS[t/a] = \frac{Leistung[kW] \times Volllaststunden[h/a]}{Heizwert[kWh/kg] \times 1.000}$$

Im kleinen Leistungsbereich (bis 100 kW) wird Biomasse ausschließlich zum Zweck der Wärmeerzeugung genutzt. Zur Bestimmung des durchschnittlichen Brennstoffbedarfs können typischerweise 1 400 Volllaststunden angesetzt werden. Für eine 100 kW Anlage ergibt sich daraus z. B. ein Brennstoffbedarf von etwa 70 t/a. Demgegenüber wird bei der Stromerzeugung von bis zu 8 000 Volllaststunden ausgegangen – Wärme fällt hier als Sekundärprodukt an. Eine 1 MW Anlage benötigt dafür etwa 4 000 t/a Holzhackschnitzel.

3.2.2 Biochemische Umwandlung

Biogas wird durch anaerobe Fermentation organischer Stoffe erzeugt. Dafür stehen verschiedene Verfahrensvarianten in einem breiten Spektrum der Anlagentechnik zur Verfügung. Neben der Einteilung der Verfahren nach Anzahl der Prozessstufen (einstufig, zweistufig, mehrstufig), Prozesstemperatur (psychrophil, mesophil, thermophil) und der Art der Beschickung (diskontinuierlich, quasikontinuierlich, kontinuierlich) kann in Abhängigkeit des Trockensubstanzgehaltes der eingesetzten Substrate in Nass- und Trockenvergärung unterschieden werden.

Die Verfahrensvarianten Nass- und Trockenvergärung

Derzeit sind in Deutschland etwa 3.500 Biogasanlagen in Betrieb, die fast ausschließlich im landwirtschaftlichen Sektor als Nassvergärung (einstufig im mesophilen Bereich) betrieben werden. Die Verfahren zur Nassfermentation können als technisch ausgereift bezeichnet werden und sind in der Fachliteratur hinreichend beschrieben (z. B. FNR 2005b). Dagegen erfolgt nach wie vor eine Weiterentwicklung von Trockenfer-

mentationsverfahren, welche die Technikumsphase bereits erreicht haben und am Markt verfügbar sind. Allerdings kann noch auf keine breite wissenschaftliche Erfahrung zurückgegriffen werden. Da mit der Novellierung des EEG im August 2004 die Stromerzeugung aus Biomasse bei Einsatz innovativer Technologien, zu denen u. a. die Trockenfermentation gehört, zusätzliche Anreize erhält, besteht jedoch ein stark gestiegenes Interesse am Einsatz von Trocken- bzw. Feststoffvergärungsanlagen. Spezielle Feststoffvergärungsanlagen sind in der Landwirtschaft bisher selten, allerdings von besonderem Interesse, da sie Feststoffe ohne aufwändige Aufbereitung in stapelfähiger Form und ohne Gülleeinsatz vergären können (Kusch und Oechsner 2004). Gleichzeitig erfolgt ein geringerer Einsatz von teurer und störanfälliger Technik und es ist die Vergärung von Substraten möglich, welche in Nassfermentationsanlagen nicht oder nur nach erheblichem Aufbereitungsaufwand möglich sind.

Erst im Januar 2007 hat das BMU eine Auslegungshilfe für die Definition einer Trockenfermentation für kontinuierliche Biogasverfahren veröffentlicht. Trockenfermentation im Sinne des EEG ist gegeben, wenn stapelbare Substrate mit einem durchschnittlichen Wassergehalt, in der Regel unter 70 Prozent eingesetzt werden. Unabhängig davon sind Maissilage, Getreideganzpflanzensilage, Rinderfestmist, Schweinefestmist, Grassilage, frischer Grasschnitt, Rübenblattsilage und Rapsganzpflanzensilage auch dann zulässige Substrate, wenn der Wassergehalt im Einzelfall über 70 Prozent liegt. Wichtig ist hierbei das Kriterium der Energieeffizienz, das einen Nachweis der Einhaltung feste Grenzwerte für die Raumbelastung und das Essigsäureäquivalent verlangt

Nach einer kurzen Einführung in die Nassfermentation werden nachfolgend schwerpunktmäßig die Verfahren der Trockenfermentation beschrieben. Anschließend erfolgt eine vergleichende Gegenüberstellung beider Verfahren.

Nassfermentation

Die derzeit angewandten Verfahren zur Biogasgewinnung nutzen fast ausschließlich die Technik der Nassvergärung. Zur Vergärung von tierischen Exkrementen (Gülle) und weiteren fließfähigen Substraten hat sich diese Technologie als optimal erwiesen. Die Wahl der verfahrenstechnischen Komponenten einer Biogasanlage ist von den zur Verfügung stehenden Substraten abhängig.

Eine in der Praxis recht übliche Variante ist die einstufige, mesophile Nassvergärung. Bei dieser Anlage stellt ein stehender Beton- oder Stahlzylinder das Kernstück der Vergärung dar, in dem das Substrat über eine Eintragsschnecke quasi-kontinuierlich eingebracht wird. Die mechanische Volldurchmischung des Fermenters wird durch Rührwerke erreicht. Dies fördert u. a. die Methanisierung und Homogenisierung, vermeidet Totraumvolumen und verbessert den Stofftransport und den Gasaustrag aus dem Substrat. Um einen optimalen Vergärungsprozess sicherzustellen, wird über eine integrierte Heizung das Gärsubstrat im Fermenter bei gleich bleibender Temperatur gehalten. Die Speicherung des gewonnenen Biogases erfolgt zumeist örtlich direkt über dem Fermenter in einer Folienhaube. Die aus dem Fermenter ausgetragenen Gärreste werden in einem geschlossenen Gärrestbehälter gesammelt, um freiwerdende Emissionen zu minimieren. Die zusätzlichen Methanemissionen im Gärrestelager können ferner ebenfalls

über das Blockheizkraftwerk (BHKW) energetisch genutzt werden. Der Gärrest kann anschließend als Wirtschaftsdünger eingesetzt werden.

Trockenfermentation

Im Gegensatz zur Nassvergärung existieren auf dem Gebiet der Feststoffvergärung nur wenige anwendungsreife Verfahren. Erfahrungen mit der Vergärung von schüttfähigen bzw. stapelbaren Materialien basierten bislang hauptsächlich auf Verfahren der Bioabfallvergärung, die meist mit kontinuierlichen Verfahren unter Einsatz einer komplexen und kostenintensiven Verfahrenstechnik arbeiteten. Im Laufe der Jahrzehnte wurden verschiedene Verfahrensansätze zur Feststoffvergärung entwickelt und erprobt. Diese Verfahren werden im Folgenden kurz vorgestellt und anschließend bewertet (Daniel et al. 2005).

Garagenverfahren

Bei diesem einstufigen, diskontinuierlichen Verfahren werden stapelbare organische Feststoffe in garagenartigen Betonfermenter vergoren[6]. Die Fermenterkammern können mit unterschiedlichen Substraten betrieben werden. Das zu vergärende Substrat wird zunächst für ca. 3 - 4 Tage in einer Lagerhalle einer aeroben Vorrotte unterzogen, bei der sich das Material erwärmt.

Per Radlader werden die Fermenter befüllt und nach etwa 4 bis 6 Wochen entleert. Durch hydraulisch bewegliche Tore werden die Kammern gasdicht verschlossen. Als Impfmaterial dient bereits vergorenes Substrat aus der vorangegangenen anaeroben Behandlung. Frischsubstrat (ca. 30 bis 40 Gew. %) und Impfmaterial (ca. 60 bis 70 Gew. %) werden entweder gemischt oder schichtweise in den Fermenter eingebracht. Eine Umwälzung oder tägliche Zugabe von Gärmaterial entfällt. Während der Fermentation wird das Gärgut in regelmäßigen Abständen, über an der Decke befindliche Düsen, mit erwärmter Perkolationsflüssigkeit beimpft. Das mikrobiologisch angereicherte Perkolat sickert durch das Substrat hindurch, wird im Fermenterboden abgezogen und in einem Vorratsbehälter gesammelt (Abbildung 3-4). Um die verminderte Gasproduktion während der Anfangs- und Endphase auszugleichen, werden die beheizten Fermenter zeitlich versetzt befüllt, um auf diesem Weg eine gleich bleibende Biogasproduktion zu ermöglichen.

Am Ende des Gärprozesses wird der Gärraum mit Frischluft gespült. Die anfallenden Gärreste werden z. T. wieder zur Animpfung zurückgeführt oder können als Dünger verwendet werden.

[6] Der von der Fa. BIOFERM© verwendete Anlagentyp ähnelt von der Bauweise her dem einer Doppelgarage.

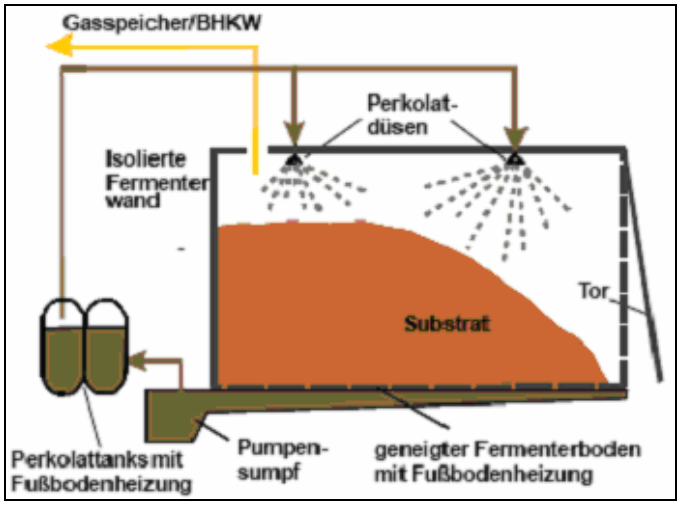

Abbildung 3-4 Verfahrensschema einer garagenartigen Feststoffvergärungsanlage

Quelle: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (2004)

Trocken-Nass-Simultan-Verfahren (TNS®-Verfahren)

Das TNS®-Verfahren stellt die Kombination einer Trockenvergärung mit einer herkömmlichen Nassvergärung dar, wobei in der heutigen Verfahrensvariante[7] die Trockenfermenter ausschließlich mit dem Prozesswasser (Perkolat) befeuchtet werden. In diesem einstufigen, diskontinuierlich betriebenen Trockenfermentationsverfahren wird stapelbare Biomasse in baulich separaten Fermenterkammern vergoren. Diese Fermenterkammern werden dabei in einem zeitlichen Versatz zueinander im Batch-Verfahren betrieben. Das heißt, die Fermenter werden mit den Gärsubstraten beschickt und verbleiben bis zu einer Verweilzeit von 3 bis 4 Wochen im Fermenter. Das organisch angereicherte Prozesswasser (Perkolat) wird im Kreislauf zwischen dem Perkolatspeicher und den Feststofffermentern geführt, wobei die Prozessstabilität durch die Vergärung des Perkolates im Speicher und den damit verbundenen Abbau von organischen Säuren erhöht wird. Die Biogasbildung erfolgt sowohl in den Trockenfermentern als auch im Perkolatspeicher, in dem rund ein Drittel des Biogases produziert wird.

Die Beschickung der Fermenterkammern erfolgt meist mittels Radlader und ist ebenfalls zeitlich versetzt, um eine gleich bleibende Biogasproduktion über die Verweildauer von 3 bis 4 Wochen zu erzielen. Die Feststofffermenter sind aus Stahlbeton gefertigt und lassen sich durch Stahltore gasdicht verschließen. Die für die Feststoffvergärung übliche Vorrotte erfolgt bei diesem Verfahren unter aeroben Bedingungen im Fermenter. Durch den beginnenden aeroben Abbau kommt es zur Vorerwärmung des Substrats,

[7] Das TNS®-Verfahren basiert auf dem so genannten HGG-Verfahren (Ing. Büro Holsteiner Gas Gesellschaft), welches Ende der 80-er Jahre von der Firma Loock (Loock Consultants 2005) entwickelt und patentiert wurde. Durch Weiterentwicklung und Modifizierungen entstand das TNS-Verfahren.

wodurch anschließend weniger Wärmezufuhr für die Beheizung der Fermenter notwendig ist. Vor der Beschickung eines Fermenters werden dem Substratmaterial zwischen 10 und 20 % Gärrestmaterial zugemischt, wodurch ein Animpfen des frischen Materials erfolgt. Nach dem Gärprozess werden die Fermenter belüftet. Der verbleibende Gärrest ist geruchsneutral und kann als Dünger verwendet werden.

Pfropfenstromverfahren

Bei dem aus der Abfallbehandlung stammenden kontinuierlichen Feststoffvergärungsverfahren handelt es sich um ein Anlagekonzept mit einem liegenden Fermenter. Das Substrat wird über eine quasi-kontinuierliche Beschickung in den liegenden Gärreaktor eingebracht. Eine Rührwelle sorgt für eine radial-tangentiale Durchmischung der Gärmasse, so dass der Pfropfen in axialer Richtung nicht gestört wird (MPE 2005). Auf diese Weise erfolgt eine optimale Entgasung des Materials. Die Kontinuierlichkeit des Verfahrens wird gewährleistet, indem Frischsubstrat am Fermentereingang eingebracht und am Ende des Fermenters als Gärrest ausgetragen wird. Der Gärprozess basiert oft auf einer thermophilen Feststoffvergärung (Temperaturbereich von ca. 55°C). Die Verweilzeit im Pfropfenstromfermenter ist substratabhängig und beträgt etwa 3 bis 4 Wochen. Der entstehende Gärrest wird als Dünnschlamm (Trockensubstanz 10 %) in einem entsprechendem Lager zwischengespeichert. Durch die kompakte Bauart des Fermenters kann die Anlage platzsparend errichtet werden.

Die Pfropfenstromfermenter sind im Leistungsbereich unter 500 kW_{el}, aufgrund der technischen Komponenten, deutlich teurer als konkurrierende landwirtschaftliche Verfahren. Hauptsächlich werden diese Fermenter im Bioabfallbereich eingesetzt, wo aufgrund des Substrates eine aufwendigere Rührtechnik notwendig ist. Für die Vergärung von NawaRo (und auch Landschaftspflegeresten) kann die Anlagentechnik deutlich reduziert werden (kleinere Rührwerke, geringere Drehmomente etc.), so dass die Kosten im Vergleich zur Bioabfallvergärung deutlich sinken werden (Linde 2005, MPE 2005). Derzeit werden Biogasanlagen in kleinen Leistungsgrößen unter 500 kW_{el} nur für die Vergärung von Bioabfall angeboten. Nach Aussagen der Anlagenplaner laufen Bemühungen, NawaRo-Anlagen im Leistungsbereich zwischen 300 und 350 kW_{el} zu entwickeln.

Bis vor wenigen Jahren hat sich keines der beschriebenen Feststoffverfahren bis zur breiten Markteinführung bei der Nutzung von Nachwachsenden Rohstoffen durchgesetzt. Das TNS®-Verfahren der Fa. Loock wurde über mehrere Jahre optimiert und erprobt und scheint derzeit das effektivste Feststoffvergärungsverfahren zu sein. Die Problematik aller Feststoffverfahren, dass ein übersäuertes Perkolat durch Auswaschung organischer Säuren entsteht, wurde beim TNS®-Verfahren gelöst, indem das Perkolat/ Sickerwasser in einem genügend großen Fermenter (Perkolatspeicher) aufgefangen und nach dem Prinzip der Nassfermentation vergoren wird. Dadurch lässt sich die Prozessstabilität des TNS®-Verfahrens gegenüber den gängigen Feststoffverfahren deutlich erhöhen. Ein weiterer Vorteil ist die vergleichsweise geringe Menge erforderlichen Impfmaterials welches dem frischen Substrat beigemischt werden muss.

Vergleichende Betrachtung zwischen Nass- und Feststoffvergärung

Ein Großteil der Einsatzstoffe, die für die Nassvergärung zur Verfügung stehen, sind auch für die Feststoffvergärung geeignet. Lediglich Substrate, die nicht in stapelbarer Form eingebracht werden können, in der Landschaftspflege i. d. R. jedoch auch nicht anfallen, sind für die Trockenfermentation ungeeignet. Für trockene halmgutartige Biomassen, deren Einsatz in der Nassvergärung aufgrund ihrer Struktur problematisch sind, stellt die Feststoffvergärung eine zukünftig vielleicht viel versprechende Option dar. Vor- und Nachteile beider Verfahren sind in Tabelle 3-3 aufgeführt.

Tabelle 3-3 Vor- und Nachteile von Nass- und Feststofffermentation

Nassfermentation	**Feststofffermentation**
Praxiseinsatz / Marktreife in der Praxis bewährt ausgereifte Technik derzeit fast ausschließlich Nassfermentation	- vereinfachte Verfahrenstechnik - derzeit nur wenige anwendungsreife Verfahren - Einsatz stapelbarer, fester Substrate, die in der Nassfermentation nur mit hohem Wasserbedarf und Substratvorbehandlung verarbeitet werden können - geringe Anfälligkeit gegenüber Störstoffen - infolge der EEG Novellierung 2004 verstärkte Nachfrage nach Trockenfermentationsanlagen
Wasserbedarf Vergärung von Substraten mit hohen TS-Gehalten nur mit Wasserzugabe und Energieaufwand/Substratvorbehandlung möglich ausgereifte Technik	- kaum externer Wasserbedarf notwendig - Rezirkulat wird zur Animpfung verwendet - keine Anmaischung notwendig
Durchmischung Durchmischung notwendig	i. d. R. keine Durchmischung notwendig

Fortsetzung von Tabelle 3-3

Eigenstrombedarf ca. 10 %, bei NawaRo Anlagen eher geringer insgesamt höherer Eigenstrombedarf aufgrund des höheren Anteils technischer Komponenten (Rührwerke, Pumpen) zumindest im Vergleich zu den herkömmlichen Garagenverfahren ohne Durchmischung	- Garagenverfahren: etwa 1 %, da geringer Technikanteil (lediglich Tortechnik, keine Durchmischung mit Rührwerken; Herstellerangaben); obwohl verstärkter Radladereinsatz (Dieselkraftstoff) im Vergleich zur Nassfermentation nicht zu vernachlässigen ist - Pfropfenstrom-Verfahren: etwa 5 % - TNS®-Verfahren: Eigenstrombedarf dürfte nicht wesentlich geringer als bei der Nassfermentation sein, da Durchmischung mit Druckluftgebläse viel Strom verbraucht
Eigenwärmebedarf Gülle-Anlagen: etwa 30 % (da hoher Wasseranteil) NawaRo-Anlagen: etwa 20 %	Pfropfenstrom-Verfahren: ca. 20 % Garagen-Verfahren und TNS®-Verfahren: ca. 25 % (ggf. Nachtrocknung des Gärrestes durch BHKW-Abwärme)
Nass- und Feststofffermentation	
Gasertrag bislang keine wissenschaftliche Bestätigung, dass Gasertrag bei Feststoffvergärung geringer ausfällt als bei der Nassvergärung bei einigen Versuchsanlagen (Bioferm/ Garagenverfahren in Moosdorf) wurde der theoretisch mögliche Gasertrag nicht erreicht andere Versuchsanlagen berichten über geringere Gaserträge, dafür aber höherer Methangehalte, so dass sich der Energiegehalt beider Verfahren in annähernd gleicher Größenordnung befindet im Rahmen eines wissenschaftlichen Messprogramms einer Pilotanlage[a] konnte bestätigt werden, dass das TNS®-Verfahren die Energiegehalte der Literaturwerte zur gängigen Nassfermentation erreicht, dies sogar in kürzerer Verweilzeit (20 Tage statt 30 - 50 Tage)	
Effizienz den Feststoffvergärungs-Verfahren wird oft weniger Effizienz zugeschrieben, weil ein Großteil des Gärrests für die neue Charge zurückgeführt werden muss (beim Garagenverfahren werden etwa 50 - 70 % des Gärmaterials zur Animpfung verwendet, bei TNS®-Verfahren etwa 10 - 20 %) gemäß der Ergebnisse des wissenschaftlichen Messprogramms wurde bestätigt, dass die Verweilzeit des TNS®-Verfahrens mit etwa 20 Tagen kürzer als bei Nassvergärungen gleicher Charge ist mit der Feststoffvergärung können Substrate vergärt werden, die mit der Nassfermentation nur unter erhöhtem energetischen Aufwand (Wasser, Zerkleinerung etc.) eingesetzt werden können	

[a] Pilotanlage Pirow, wissenschaftliche Begleitung des durch die FNR finanzierten Messprogramms durch ATB Potsdam

Quelle: Daniel et al. 2005

Im Vergleich zum Potenzial der Nassfermentation kann durch Feststoffvergärung kein zusätzliches Energieträgerpotenzial[8] erschlossen werden, da mit marktverfügbarer Technik auch feste Substrate in Nassvergärungsanlagen eingesetzt werden können. In Anbetracht der Tatsache, dass durch die Feststoffvergärung Substrate vergoren werden können, die mit der Nassvergärung nur mit größerem Aufwand verwertet werden können, sollten beide Verfahren jedoch nicht in Konkurrenz sondern als Ergänzung zu einander betrachtet werden.

3.2.3 Zusammenfassung

Biomasse fällt – nicht nur in der Landschaftspflege – in sehr unterschiedlichen Qualitäten an. Dem gegenüber stehen unterschiedliche Verwertungsoptionen (thermo- und biochemisch) zur Verfügung, durch welche spezifische Anforderungen an die zu nutzende Biomasse gestellt werden. Dieses sind u. a. die chemische Zusammensetzung, physikalische Eigenschaften, den Wassergehalt sowie den Grad an Verunreinigungen mit Fremdmaterial. Dieser heterogenen Ausgangsqualität stehen bei der energetischen Verwertung klare Anforderungen der Verwertungstechnologie gegenüber, die einen störungsfreien Betrieb der Brennstoff- / Substratzufuhr und der Anlage selbst, eine möglichst hohe Energieausbeute sowie geringe Emissionen und schließlich einen reibungslosen Umgang mit den Reststoffen gewährleisten sollen. Zu diesen technisch bedingten Brennstoffeigenschaften gehören u. a.:

- Limitierung des Anteils an inertem Material bei allen Optionen der energetischen Verwertung;
- Limitierung des Nährstoffgehaltes bei Anlagen zur thermochemischen Nutzung, da diese sowohl hinsichtlich der Staubemissionen als auch in Hinblick auf die Verschlackung des Brennraums (so genannte Ascheerweichung) nachteilig sind;
- Möglichst keine ligninhaltige Substanzen für Vergärungsprozesse, da diese in der Vergärung nicht umgesetzt werden können; das erfordert eher frühe Schnittzeitpunkte;
- Definierte Größe der Brennstoffpartikel bei automatischer Beschickung (z. B. Limitierung von Strukturstoffen zur Sicherung der Pumpfähigkeit bei Nassverfahren);
- Definierter Wassergehalt, der z. B. bei ca. 90 % für die nassen Vergärungsverfahren und ca. 30 % bei ausgewählten Biomassekesseln liegen kann.

Mit Ausnahme des Gehölzschnitts ist das typische Landschaftspflegematerial (Halmgutartig, inhomogen) weder für die Biogaserzeugung noch für die Verbrennung optimal geeignet. Eine Nutzung erfordert im Vergleich zu anderen Biomassen erhöhten techni-

[8] Abgesehen von der Erschließung von Stroh, für das jedoch zuverlässige Aufschlussverfahren derzeit noch nicht marktreif sind.

schen Aufwand bei in der Regel geringerer Energieausbeute. Daher ist eine genaue technische und ökonomische Analyse bei jeder einzelnen Investitionsentscheidung erforderlich.

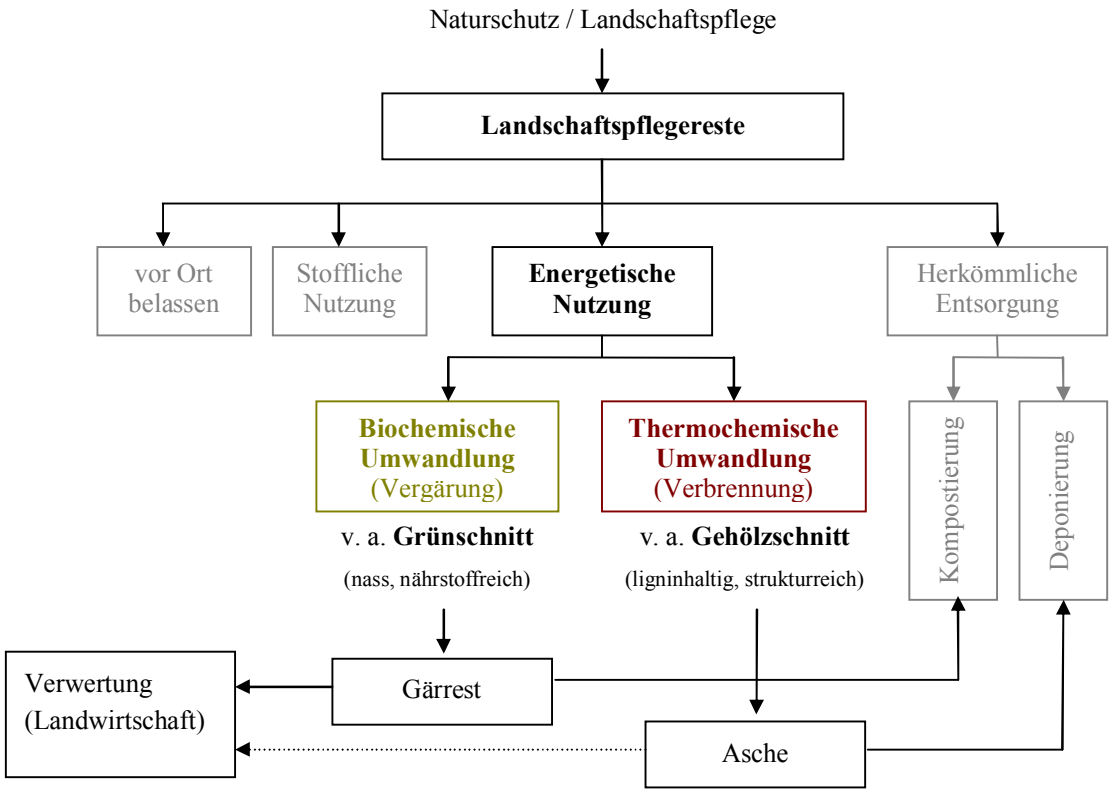

Abbildung 3-5 Nutzbarmachung von Biomassen aus der Landschaftspflege

Aus diesen technisch bedingten Brennstoffanforderungen ergeben sich für die effiziente energetische Nutzung von Landschaftspflegeresten unterschiedliche Technikoptionen. Der vergleichsweise nasse und nährstoffreiche Grünschnitt führt in Verbrennungsprozessen leicht zu Problemen und eignet sich daher eher zur Vergärung, während der ligninhaltige und strukturreiche Gehölzschnitt in einer Vergärung eher störend ist und daher thermochemisch nutzbar gemacht werden sollte. Unabhängig von der geplanten Verwertungsoption ist für einen störungsfreien Anlagenbetrieb eine gleich bleibende Brennstoffqualität zu gewährleisten.

3.3 Erfahrungen aus der Praxis

Aus Sicht des Naturschutzes besteht großer Bedarf an Optionen zur Nutzung von Biomasse aus der Biotoppflege, die Erlöse ermöglichen und damit letztlich die Gesamtaus-

gaben für die Biotoppflege reduzieren helfen. Bisher gibt es jedoch kaum praktische Erfahrungen mit der energetischen Nutzung von Biomasse aus der Biotoppflege. Eine Ausnahme bildet allenfalls die thermische Verwertung von Holz aus der Knickpflege in Schleswig- Holstein.

Um Landschaftspflegereste energetisch nutzen zu können, müssen die technischen Herausforderungen gelöst und die naturschutzfachlichen Notwendigkeiten eingehalten werden.

Die folgende Darstellung bezieht sich zunächst nur auf einige energietechnische Erfahrungen aus der Praxis der Verwertung von Landschaftspflegeresten. Die Integration aller Aspekte erfolgt erst innerhalb der Detailanalyse. Dabei handelt es sich in erster Linie um Laborversuche sowie Versuche im (halb)technischen Maßstab in (Modell) Praxisanlagen. Da hierzu bislang relativ wenige Erfahrungen existieren, wurden hauptsächlich *halmgutartige Biomassen* (Grasschnitt) untersucht, die zumeist in konservierter Form vorliegen (Heu oder Grassilage). Nur in einigen Laborversuchen wurde frischer Grasschnitt eingesetzt. Die energetische Nutzung von *holzartigen Biomassen* durch Verbrennung ist dagegen Stand der Technik und wird daher hier nicht weiter betrachtet.

3.3.1 Beispiele für die thermochemische Nutzung von Grasschnitt

Neben Untersuchungen im Labor (Kasper 1997), bei denen frischer Grasschnitt eingesetzt wurde, finden sich eine Reihe von Versuchen in (Modell)Praxisanlagen, denen entweder trocken konservierter (Mauer und Oechsner 2004, Elsäßer 2004, Nendel et al. 2004) oder feucht konservierter Grasschnitt (Scheffer et al. 1996) zugeführt wurde. In Tabelle 3-4 sind die Feuerungsanlagen aufgeführt, auf die sich die nachfolgend beschriebenen Erfahrungen beziehen.

Tabelle 3-4 Praxisbeispiele der thermochemischen Nutzung von Grasschnitt

Feuerungstyp	**Firma**	**Feuerungswärme-leistung**
Automatisch beschickte Schubboden-feuerung mit Wasserkühlung	Ökotherm Compact CO, Hirschau	15 bis 20 kW
Ballenteiler-Einschub-Rostfeuerungsanlage mit Vorvergasung	Linka, Lem (Dänemark)	1,9 MW
Ganzballenvergaser	HERLT, Vielist	70 bis 350 kW
Staubfeuerung (Einblasfeuerung)	k. A.	k. A.
Vorschubfeuerung	k. A.	0,5 bis 3,0 MW
Vorschub-Rostfeuerung	Volund Energy Systems A/S, Esbjerg (Dänemark)	5 MW
Wirbelschichtfeuerungsanlage	Versuchsanlage des Technikums der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg	15 kW
Vergaser-Vorofenfeuerung mit nachgeschalteter Wirbelbrennkammer	Wittwar Heiztechnik, Neubulach	1,9 MW

Brennstoffaufbereitung

Die thermochemische Nutzung von Grünschnitt wird entscheidend vom Wassergehalt beeinflusst, da mit zunehmendem Wassergehalt der Heizwert sinkt. Neben dem Schnittzeitpunkt wird dieser von der Schnitthöhe, der Artenzusammensetzung, dem Massebelag (g/m²) auf der Fläche, der Art und Häufigkeit der Schwadbearbeitung sowie der Anzahl der (verfügbaren) Feldliegetage beeinflusst (Kasper 1997). Bei ausreichend frühen Schnittzeitpunkten (Juli/August) kann durch Ausnutzung und Unterstützung (Schwadbearbeitung) der natürlichen Bodentrocknung eine Reduzierung des Feuchtegehalts unter 20 %, wie sie für die Verbrennung in bisher bestehenden Anlagen zumeist gefordert werden, realisiert werden. Bei aus naturschutzfachlicher Sicht geforderten späten Schnittzeitpunkten (Sept./Okt.) gelingt dies dagegen nur noch selten. Die Folgen sind eine verminderte Energieausbeute sowie eine unvollständige Verbrennung aufgrund zu niedriger Temperaturen in der Brennzone, wodurch sich die Konzentration von Schadstoffen im Rauchgas erhöhen kann (Kasper und Hahn 1994). Um eine bessere Transport- und Lagerfähigkeit (Konservierung) des frisch geschnittenen Grases zu erreichen, werden Heuwerbung oder (bei hohen Wassergehalten) Silierung durchgeführt.

Als *Heuwerbung* wird der Vorgang der Heuproduktion bezeichnet. Heuwerbung umfasst den Schnitt der Gräser sowie die Trocknung und Bergung des Heus (z. B. Pressen). Der Erfolg hängt stark von der Witterung und den entsprechenden Schnittzeitpunkten ab. Die Heuwerbung führt zu einer Erhöhung des Fahrverkehrs auf der Fläche und damit verbundenen Bröckelverlusten sowie einem erhöhten Verschmutzungsrisiko. Um ein höheres Schüttgewicht und damit weniger Lagerraum und einen kostengünstigen

Transport zu erreichen, ist das Pressen des Heus zu empfehlen. Je nach Anlagengröße bzw. Feuerungsleistung unterscheidet man folgende Formen (Maurer und Oechsner 2004):

- Groß/Rundballen (100-500 kW),
- Hochdruckquaderballen (ab 100 kW),
- Heubriketts (15-20 kW) und
- Heupellets (k. A.).

Als problematisch erweist sich hierbei die eingeschränkte Befahrbarkeit feuchter Standorte (z. B. Moorböden), die bisher nur den Einsatz von Rundballenpressen zulässt. Es besteht erheblicher Forschungsbedarf hinsichtlich kleinerer und damit leichterer Quaderballenpressen (Elsäßer 2004). Zur Heupelletherstellung entwickelten die Technische Universität Chemnitz und die Otto-von-Guericke Universität Magdeburg ein zweistufiges Verfahren (Nendel et al. 2004), bei dem Grasschnitt mit einem Feuchtegehalt von 40-50 % eingesetzt werden kann. Mittels eines Doppelschneckenextruders werden zunächst bei hohen Temperaturen (80-100 °C) die Zellen aufgefasert und zerstört, so dass ein fließfähiger, warmer Faserstoff entsteht, der unmittelbar danach in einer Profil-Hohlwalzenpresse zu Pellets verdichtet wird. Anschließend werden die noch recht instabilen Pellets durch Trocknung an der Umgebungsluft bzw. unter Ausnutzung der Prozesswärme stabilisiert und haltbar gemacht. Der Einsatz von unterschiedlichen Gutarten (holz- und halmgutartige Biomasse) stellt dabei kein Problem dar, sondern wird sogar als vorteilhaft für die angestrebte Abriebfestigkeit angesehen.

Grasschnitt mit hohen Feuchtegehalten (>20 %) kann aber auch über die *Silierung* lagerfähig gemacht und anschließend über das Konzept der „Feuchtgutlinie“ zu einem Brennstoff weiterverarbeitet werden (Scheffer et al. 1996, Stülpnagel 1998). Hierfür ist zunächst eine Zerkleinerung zu Häckselgut oder Kurzschnitt erforderlich, da Energieanlagensysteme bestimmte Anforderungen an die Brennstoffgröße stellen. Nach der Silierung des Grasschnitts erfolgt anschließend eine Reduzierung des Wassergehaltes auf max. 40% mittels Entwässerung über eine Schneckenpresse. Hierbei werden mit dem Presssaft auch große Teile der Nährstoffe (v. a. N, K, Cl) ausgetragen, wodurch weniger Emissionsprobleme in den Feuerungsanlagen auftreten. Bei Einhaltung oben genannter technischer Maßnahmen sowie gegebenenfalls Beimischung von Stroh konnten positive Ergebnisse bei der Verbrennung des Pressgutes erzielt werden. Auch bei diesem Aufbereitungsverfahren ist der Einsatz unterschiedlicher Biomassearten möglich, da über die Entwässerung eine Homogenisierung hinsichtlich physikalischer Brennstoffeigenschaften (v. a. Materialdichte) erreicht werden kann.

Anforderungen an die Verfahrenstechnik

Hinsichtlich der verbrennungstechnisch interessanten Eigenschaften von Grasschnitt werden in erster Linie die deutlich höheren Aschegehalte, eine niedrige Ascheerweichungstemperatur und höhere Nährstoffgehalte (insbesondere Cl, N, K) genannt. So wurde beispielsweise von Kasper (1997) bei der Verbrennung von Grasschnitt einer

Wiesenfuchsschwanz-Honiggraswiese ein Anteil gesinterter bzw. geschmolzener Asche von 62,5 % ermittelt. Ein weiteres Problem bei der Verbrennung von Grasschnitt/Heu, ebenso wie bei anderen halmgutartigen Biomassen (Stroh, Getreideganzpflanzen) sind die emittierten Luftemissionen von Schadstoffen. Besonders häufig werden erhöhte Chlor-, Stickoxid-, Kohlenmonoxid- und Staubemissionen beobachtet. Um die Grenzwerte nach der TA- Luft einhalten zu können und einen optimalen Prozessablauf zu gewährleisten, sind eine Reihe von Primär- und Sekundärmaßnahmen hinsichtlich Anlagenkonzeption und Verbrennungsführung notwendig (Tabelle 3-5).

Tabelle 3-5 Maßnahmen zur Verbesserung der thermochemischen Nutzung halmgutartiger Biomassen

Ziel	**Maßnahme**
Erhöhung des Wirkungsgrades, Gewährleistung einer hohen Ausbrandqualität	elektronische Regelung der Luftzufuhr und der Brennstoffdosierung durch Lambdasonde und Feuerraumüberwachung
Verringerung der Verschlackungsgefahr	Wasserkühlung des Glutbettbereichs Anpassung der Verweilzeit der Asche im Glutbett durch Ascheschieber
zuverlässige Entaschung	spezieller Rost, Ascheaustragung möglichst automatisiert, z. B. über Schnecke
Reduzierung der Schadstoffemissionen	- Verwendung eines Brennstoffmixes - Regulierung der Verbrennung über Luftzufuhr bzw. Luftstufung - Eindüsen von Kalkhydrat in den Brennraum - Rauchgasreiniger über Zyklon-, Gewebe- oder Elektrofilter - Trennung von Vergasungs- und Verbrennungszone
Gewährleistung des Dauerbetriebes	Druckstoßabreinigung in Rauchabzugrohren des Wärmetauschers z.B. durch Reinigungsschnecken

Wirtschaftlichkeit

Die speziellen technischen Anforderungen führen dazu, dass die Investitionssumme für Halmgutfeuerungen deutlich über der von Holzfeuerungssystemen liegt. Deshalb arbeiten die wenigen marktverfügbaren Heu-, Getreide- bzw. Strohfeuerungsanlagen fast ausschließlich im Leistungsbereich ab einer Feuerungswärmeleistung (FWL) von 1 MW_{FWL}. Für Kleinanlagen bedeuten die Abgasanforderungen bisher eine unverhältnismäßig hohe Investition (Maurer und Oechsner 2004). Außerdem müssen Halmgutfeuerungen über 100 kW_{FWL} in Deutschland ein relativ aufwendiges Genehmigungsverfahren durchlaufen und die Schadstoffemissionen durch ein zugelassenes Messinstitut ü-

berwacht werden. Im Unterschied dazu gelten diese Bestimmungen bei Holzfeuerungsanlagen derzeit erst ab einer Anlagenleistung von 1 000 kW_{FWL} (Hartmann 2003). Der Einsatz von konserviertem Grasschnitt in speziellen Feuerungsanlagen wird daher nur dann als wirtschaftlich angesehen, wenn der Brennstoff (Heu, Silagepressgut) kostenlos zur Verfügung gestellt werden kann, d. h. die Bergungs- und Bereitstellungskosten über eine flächenbezogene Förderung gedeckt werden (Elsäßer 2004). Hinsichtlich einer Reduzierung der Bereitstellungskosten sollte eine gute Befahrbarkeit der Flächen gewährleistet sein (Nendel et al. 2004). Häckseln und Pelletierung wirken sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit aus.

Fazit

Die Verbrennung von Heu im kleineren Leistungsbereich kann prinzipiell in Form von Ballen, losem Heu oder Pellets bzw. Briketts erfolgen. Die Nutzung von Heuballen hat für den Leistungsbereich bis 500 kW keine Relevanz, da die Anforderungen an die Abgasemissionen nicht eingehalten werden können (Maurer und Oechsner 2004). Darüber hinaus ist aufgrund der anzunehmenden eingeschränkten Befahrbarkeit von Naturschutzflächen nur der Einsatz von Rundballenpressen möglich. Für diese Ballenform gibt es bisher jedoch nur eine Verbrennungsanlage auf dem Markt. Durch den Einsatz von Heupellets/-briketts können die Verbrennungseigenschaften verbessert und die geforderten Emissionswerte durchaus eingehalten werden, allerdings wirkt sich die Aufbereitung des Heus negativ auf die Wirtschaftlichkeit aus (Elsäßer 2004). Allen Heuverbrennungsanlagen gemein sind deutlich höhere Investitionskosten im Vergleich zu Holzfeuerungen, ein hoher technischer Aufwand für Verbrennungsführung und Abgasreinigung und die Gefahr von Problemen bei der Einhaltung von Emissionswerten (vgl. Elsäßer 2004; Rösch et al 2006). Auch die Frage einer fachgerechten und umweltverträglichen Ascheentsorgung steht noch in der Diskussion. Trotz vielfältiger Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen kann die Heuverbrennung daher nicht als „Stand der Technik“ angesehen werden. Aus diesem Grund erfolgt keine weitere Betrachtung dieser Verwertungsoption im Rahmen dieses Projektes.

3.3.2 Beispiele für die biochemische Nutzung von Grasschnitt

Wie auch bei der thermochemischen Nutzung wurde neben Laboruntersuchungen mit frischem Grasschnitt eine Reihe von Versuchen in (Modell)Praxisanlagen durchgeführt, in denen entweder trocken-konservierter Grasschnitt, Grassilage oder frisches Gras zum Einsatz kamen. Die Herkunft des Grases ist dabei vielfältig. Lemmer und Oechsner (2001) untersuchen vier verschiedene Standorte: eine naturschutzfachlich geschützte Wiese, extensives Grünland mit zwei Schnittnutzungen, intensives Grünland mit vier Schnittnutzungen und einen Golfplatzrasen mit Stickstoffdüngung und täglichem Schnitt. Bei Baserga (1998) steht Grasschnitt aus Extensivgrünland nach der schweizerischen Ökobeitragsverordnung zur Verfügung. Van Dooren (2005) nutzt Wiesenschnitt aus niederländischen Naturschutzgebieten und Prochnow et al. (2005) aus dem brandenburgischen Naturschutzgebiet Nuthe-Nieplitz-Niederung.

Zu unterscheiden ist die Art des gewählten Verfahrens. Es liegen sowohl zur Trocken- als auch Nassfermentation Ergebnisse vor. Bei allen Versuchen wurde im mesophilen (35-37 °C) Temperaturbereich gearbeitet.

Substrataufbereitung

Für den Einsatz von Gras(silage) in Biogasanlagen ist aufgrund der eingesetzten Pump- und Rührtechnik und zur Verbesserung der Abbaugeschwindigkeit eine vorhergehende Zerkleinerung des Materials unerlässlich. Baserga (1998) nutzt Grassilage von 1 bis 3 cm Länge. Auch für eine optimale Silierung ist das Häckseln des Grasschnitts von großem Vorteil (Lemmer und Oechsner 2001). Die Silierung bei spätem Schnitt kann problematisch werden, da der Zuckergehalt im Laufe der Vegetationsperiode sinkt, das mikrobielle Risiko steigt, Folienbeschädigungen durch sperriges Material verursacht werden können und die Verdichtung durch die Sperrigkeit erschwert wird (Prochnow et al. 2005). Während der Vegetationsperiode kann frisches Gras verwendet werden.

Anforderungen an die Verfahrenstechnik

Bei der *Nassfermentation* bestätigen alle Untersuchungen einen maximalen Trockensubstanzgehalt der Gülle-Kosubstrat-Mischung von 10 % im Fermenter. Bei Anlagen, die speziell auf die Grasmitvergärung ausgerichtet sind (verstärkte Rührwerke) kann der TS-Gehalt bis zu 12 % betragen (Lemmer und Oechsner 2001). Wird dieser Wert beim Beschicken der Anlage erheblich überschritten, kann es zur Schwimmdeckenbildung und damit einhergehend zu einem gehemmten Gasaustritt sowie Verstopfungen von Ein- und Austragsrohren kommen. Zur Vermeidung von Schwimmdeckenbildungen sind leistungsstarke Rührwerke (Tauchpropeller-, Paddel- bzw. Haspelrührwerke) erforderlich.

Bei der *Trockenfermentation* gibt es derzeit nur wenig anwendungsreife Verfahren (siehe Kapitel 3.2.2). Das Substrat sollte möglichst locker im Fermenter geschichtet sein, um ein zu schnelles Absetzen und Verdichten des Materials zu verhindern. Zu stark komprimierte Silagen führen zu einer schlechten Benetzung des Gärsubstrates mit Flüssigkeit und somit ungleichmäßigen Abbauraten im Fermenter. Daraus resultiert eine, im Vergleich zu Laborwerten um 15 bis 20 % niedrigere spezifische Gasausbeute (Baserga 1998).

Die Firma BIOFERM© hat in einer Pilotanlage Trockenvergärungsversuche mit Grassilage und Landschaftspflegegrün (LPG) durchgeführt (s. unter http://www.bioferm.de). Der verwendete Anlagentyp ähnelt von der Bauweise dem einer Doppelgarage (siehe Abschnitt 3.2.2). das Anlagenkonzept beinhaltet, vor der eigentlichen Vergärung eine drei- bis viertägige aerobe Vorrotte voranzustellen, um eine Erwärmung des Substrats und ein Aufbrechen cellulosehaltiger Strukturen zu erreichen. Allerdings wird dabei organische Substanz u. a. zu CO_2 umgesetzt, so dass dieser Kohlenstoff bei der nachfolgenden anaeroben Vergärung nicht mehr zur Bildung von CH_4 zur Verfügung steht. Dies wirkt sich negativ auf den Gasertrag aus. Das Verhältnis von Frischsubstrat und

Impfmaterial (bereits vergorenes Substrat) betrug bei Grassilage 40 : 60 Gew. % und bei LPG 35 : 65 Gew. %. Ein höherer Anteil an Frischmaterial konnte nicht realisiert werden, da dies ein zu starkes Absinken des pH-Wertes und damit ein mögliches Erliegen des Gärprozesses zur Folge gehabt hätte (Gronauer und Aschmann 2002) Eine Anlage diesen Typs wurde Ende 2006 im Mittleren Delmetal im Rahmen eines geförderten BUND-Projektes errichtet. (vgl. BUND 2007).

Biogas- und Methanerträge

In Tabelle 3-6 sind die substratspezifischen Biogas- und Methanerträge sowie die durchschnittlichen substratspezifischen Methangehalte des Biogases der ausgewerteten Untersuchungen angegeben. Sie beziehen sich immer auf das eingesetzte Grassubstrat (frisches Gras, Silage oder Heu). Im Vergleich mit den Biogaserträgen von z. B. Maissilage (500 – 700 l/kg oTS) sind die von Gras als niedrig einzustufen. Sie nehmen weiterhin im Jahresverlauf ab, da mit zunehmendem Alter der Pflanzen der Ligningehalt steigt und damit die Verwertbarkeit der organischen Substanz für die Biogasproduktion sinkt. Höchste Biogas - Flächenerträge werden im August und September erreicht (ca. 3000 m³/ha) (Prochnow et al. 2005). Der spezifische Methanertrag von Naturschutzwiesen und extensivem Grünland ist als sehr gering einzustufen.

Nach Elsäßer (2004) kann die Trockenfermentation Biogas von höherer Qualität liefern, d. h. mit Methangehalten von 70 - 80 %. Eine Steigerung der Methanerträge (bis 12,5 %) durch eine längere Verweilzeit (40 Tage) im Fermenter konnte durch Lemmer und Oechsner (2001) nachgewiesen werden.

Tabelle 3-6 Biogas- und Methanerträge von Gras (Frischgras, Grassilage, Heu)

Quelle	**Spez. Biogasertrag** in l/kg oTS	**Spez. Methanertrag** in l/kg oTS	**Methangehalt** in %
Prochnow et al. (2005)	500-550 (Juni) 400-420 (Sept.) 280-300 (Jan.)	300 (Juni) 230 (Juli) 190 (Jan.)	48-55
Baserga (1998)	500-550 (NF) 350-380 (TF)		
Krieg und Fischer (2006) Krieg und Fischer (2000)	147 l/kg FM Dauergrünlandgras 108 l/kg FM Landschaftspflegegras 309-654 (in Abhäng. von Raumbelastung)		54-65
Lemmer und Oechsner (2001)		80 (NSG-Mähgut) 220 (Extensivgrünland) 260 (Golfplatzrasen) 390 (Intensivgrünland)	53-55
Van Dooren (2005)		250	57
Gronauer und Aschmann (2002)	191 (TF)	97 (2. und 3. Schnitt Extensivgrünland)	53
Maissilage (zum Vgl.)	*500 - 700*	*300*	*50 - 55*

Wirtschaftlichkeit

Der Einsatz von Gras(silage) als Kosubstrat in Nassfermentationsanlagen erfordert ab eine Mengenzugabe von ca. 20 % höhere Investitionen (Lagerkapazitäten, Rührwerke, Pumpen, größere Nachgärbehälter usw.), denen entsprechend hohe Einnahmen entgegenstehen müssen, damit ein wirtschaftlich sinnvoller Betrieb gewährleistet ist. Nach Berechnungen von Lemmer und Oechsner (2001) lohnt sich der Einsatz von Gras als Kosubstrat nur dann, wenn eine bereits ausreichend große Anlage bzw. ein ungenutztes Fahrsilo vorhanden ist und Grasschnitt von intensivem Grünland oder von kommunalen Grünflächen, Sport- und Golfflächen verwendet wird (deutliche Steigerung der Gasausbeute durch junges, kurzes Gras und evt. Entsorgungserlöse durch die Kommunen). Dagegen kann Grasschnitt von extensivem Grünland und von Naturschutzflächen aufgrund geringerer Gaserträge und erschwerter Ernte nur dann rentabel eingesetzt werden, wenn Ausgleichszahlungen für die Bereitstellung gezahlt werden. Die Höhe dieser Ausgleichszahlungen wird, wie Abbildung 3-6 zeigt, unterschiedlich eingeschätzt und liegt zwischen 122 Euro/ha und 1 300 Euro/ha. Demgegenüber ergeben sich jedoch auch Erlöse aus dem Stromverkauf, die van Dooren (2005) mit etwa 81 bis 150 Euro/t TS

angibt (zum Vergleich: bei der Kofermentation von Mais können Einnahmen von etwa 200 Euro/t TS angenommen werden). Schweppe-Kraft (2003) weist darauf hin, dass unter der Prämisse, dass die Pflege von extensivem Grünland und Naturschutzwiesen politisch gewollt ist, die Kofermentation im Vergleich zu anderen Pflege- und Verwertungsvarianten eine relativ kostengünstige Alternative ohne Nachfragegrenzen (im Gegensatz zur Verwertung als Futter für Kleintiere und Pferde) darstellen kann. Die Aussage über eine unbegrenzte Nachfragesituation kann jedoch stark angezweifelt werden, da Naturschutzgras mit seinen geringen Biogaserträgen und seiner oft stark ausgeprägten Halmstruktur (abgestimmte Technik erforderlich) deutliche Nachteile zu jüngerem Gras aus landwirtschaftlicher Kultur aufweist. Daher ist es fraglich, ob ein Biogasanlagenbetreiber ohne weiteres „hochwertigere“ Substrate durch Naturschutzgras ersetzen würde.

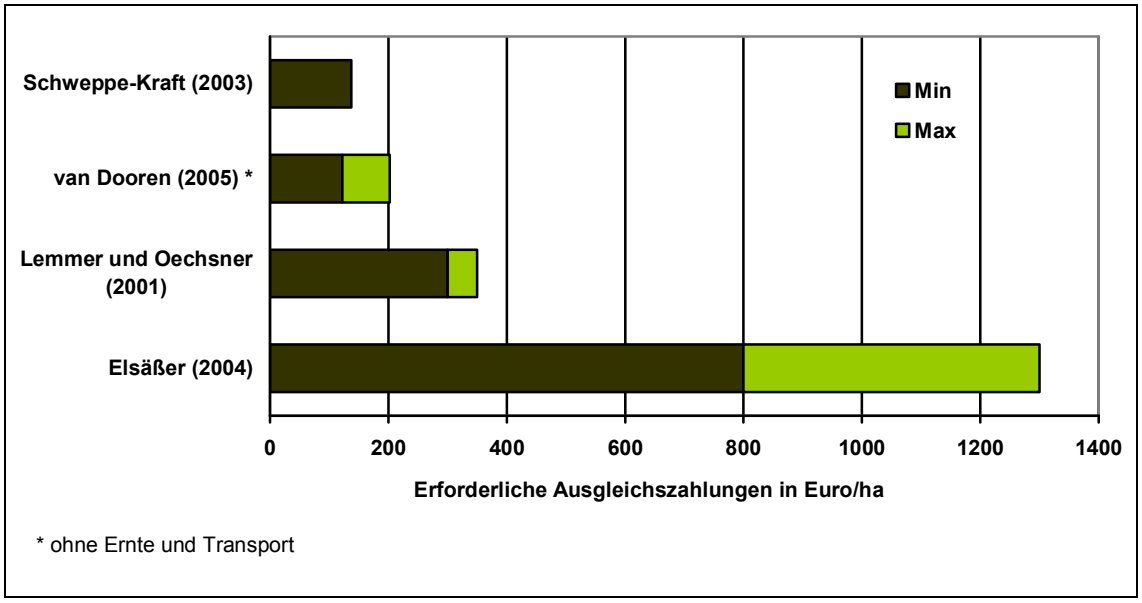

Abbildung 3-6 Erforderliche Ausgleichszahlungen für Grasschnitt von extensivem Grünland und Naturschutzflächen

Fazit

Eine Kofermentation von Biotoppflegegras in klassischen, landwirtschaftlichen Nassfermentationsanlagen stellt erhöhte Anforderungen an die Verwertungsanlage, was meist eine spezifische Abstimmung der Technik auf diesen speziellen Inputstoff erfordert. Darüber hinaus muss eine Ausgleichszahlung an den Biogasanlagenbetreiber erfolgen, um den Konkurrenznachteil des Biotoppflegegrases gegenüber anderen Substraten auszugleichen. Die Höhe dieser Ausgleichszahlungen wird von unterschiedlichen Autoren in der sehr großen Spannweite von 122 bis 1 300 EUR/ha angegeben. Um im Rahmen dieses Projektes dem Anspruch einer möglichst eindeutigen, nachvollziehbaren und übertragbaren Wirtschaftlichkeitsaussage über die Vergärung von Biotoppflegegras gerecht zu werden, erfolgt beim entsprechenden Modellstandort die Vorgabe einer Biogasanlage im TNS®-Verfahren (Trockenfermentation) zur alleinigen Verwertung von Biotoppflegegras.

Die Wahl einer Trockenfermentation liegt in der Absicht begründet, eine Verwertungsform ausschließlich für das thematisierte Gras zu wählen. Das Verfahren wird durch die zusätzliche Vergärung des Perkolats als prozessstabiler bewertet und es wurde durch unabhängige Messungen bestätigt, dass die Energieerträge denen klassischer Nassfermentationen gleichen (LINKE et al, 2006). Darüber hinaus weisen vergleichende Wirtschaftlichkeitsanalysen zwischen den hier beschriebenen Trockenfermentationsverfahren die geringsten Stromgestehungskosten für das TNS®-Verfahren aus (SCHOLWIN et al, 2006).

3.4 Allgemeiner Teil: Zentrale Kenngrößen für die Wirtschaftlichkeitsanalyse

3.4.1 Verwertung von Holz in Verbrennungsanlagen

Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der energetischen Nutzung von Landschaftspflegeholz findet hier auf Basis der Bereitstellungskosten der Hackschnitzel frei Feuerungsanlage statt, da Holzhackschnitzel sowohl in Anlagen zur Stromerzeugung mit EEG-Vergütung als auch in dezentralen Heizungsanlagen verbrannt werden können. Außerdem bestimmen die Brennstoffkosten maßgeblich die Wirtschaftlichkeit einer Bioenergieanlage und stellen damit eine relevante Beurteilungsgröße dar.

Produktionskosten des Brennstoffs

Da es sich bei Hackschnitzeln aus Landschaftspflegeholz um einen Reststoff handelt, sind nur die Vollkosten für die Ernte und Bergung sowie für den Transport relevant. Berücksichtigt werden die Arbeits- und Maschinenkosten, Transportkosten sowie die Lagerungskosten. Die folgenden Arbeitsgänge sind zur Bereitstellung notwendig, wobei jedoch nicht sämtliche Schritte zum Einsatz kommen müssen:

- Strauch- bzw. Baumschnitt
    - Motormanuell mit Motorsägen
    - Hydraulische Scheren und Fahrzeug mit Auslegerarm
- Aufschichten und Lagern des Holzes auf der Fläche
- Bergung am Wegesrand (mechanisiert oder per Hand)
- Abtransport zum Häckselplatz bzw. Abtransport der Hackschnitzel ins Lager oder zur Energieanlage
- Häckseln (vor Ort oder an einem Häckselplatz)
- Trocknung und Lagerung des Holzes

Genau wie bei der Bereitstellung von Grasschnitt, hängt die Mechanisierbarkeit der einzelnen Arbeitschritte des Baum- und Strauchschnitts von der Struktur des Naturschutzgebiets ab:

- Größe der Parzellen (Einsatz von Traktor oder Kleingerät)
- Befahrbarkeit des Bodens
- Geländegegebenheiten wie Hangneigungen, Gräben, Baumbestände etc.
- Länge der Transportwege
    - Anordnung der Parzellen
    - Entfernung zum Ort der Brennstoffaufbereitung bzw. -nutzung

Eingesparte Entsorgungskosten

Wird Landschaftspflegeholz von der Fläche geborgen und entsorgt, können eingesparte Entsorgungskosten angerechnet werden. Doch in der Praxis wird das Material oft direkt auf der Fläche verbrannt oder lediglich zu Haufen aufgeschichtet und vor Ort belassen. Daher werden in dieser Arbeit keine eingesparten Entsorgungskosten angerechnet.

3.4.2 Verwertung von Gras in einer Biogasanlage

Angesichts der geringen Transportfähigkeit nasser Substrate, liegen der Betrieb einer Biogasanlage sowie die Substratbereitstellung häufig in einer Hand, insbesondere landwirtschaftliche Biogasanlagen.

Daher werden für die Option der energetischen Nutzung von Grassschnitt sowohl die Kostenstruktur der Substratbereitstellung betrachtet, als auch die Kosten und Erlöse, die mit dem Betrieb der Anlage selbst verbunden sind.

Für die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit der Vergärung von Biotoppflegegras ist zum einen die Seite der Kostenstrukturen, zum anderen die Seite der Erlöse zu betrachten. Im Folgenden werden zunächst die Kostenfaktoren und anschließend die Faktoren der Erlöse dargestellt:

Bau und Unterhaltung der Biogasanlage

Die Kosten für Bau und Unterhaltung der Biogasanlage können in kapital-, verbrauchs-, betriebsgebundene und sonstige Kosten unterteilt werden.

- kapitalgebundenen Kosten sind z.B. Bau der Anlage, Technik, BHKW, Waage
- verbrauchsgebundene Kosten sind Kosten für Substrat und Eigenbedarf an Strom

- betriebsgebundene Kosten sind Kosten für Personal, Rücklagen, Produktuntersuchungen, Betriebsmittel für das BHKW und z.B. Kosten für einen Radlader für die Fermenterbeschickung
- sonstige Kosten sind Kosten für Versicherung, Verwaltung und Unvorhergesehenes

Produktionskosten des Substrats

Die Produktionskosten für das Substrat und die daraus resultierenden Substratkosten haben großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage. Im betrachteten Zusammenhang setzen sie sich aus den Arbeits- und Maschinenkosten der folgenden Arbeitsgänge zusammen:

- Mahd des Grases (Traktor oder Einachsmäher)
- evt. Wenden des Grases zum Anwelken
- evt. Schwaden
- Bergung (mechanisiert mit Ladewagen oder per Hand und Anhänger)
- Transport zum Ort der Silagebereitung
- Festfahren und Abdeckung der Silage
- Auslagerung der Silage

Alle Arbeitschritte außer die Bereitung und Auslagerung der Silage hängen in starkem Maße von der Struktur des Naturschutzgebiets und damit von der Mechanisierbarkeit der Flächen ab. Zu nennen sind

- Größe der Parzellen (Einsatz von Traktor oder Kleingerät)
- Befahrbarkeit des Bodens
- Geländegegebenheiten wie Hangneigungen, Gräben, Baumbestände etc.
- Länge der Transportwege

Starken Einfluss auf die entscheidende Größe der spezifischen Substratkosten (hier Grassilagekosten) in EUR/t FM hat neben der Mechanisierbarkeit auch der Massenertrag der gemähten Grasfläche. Der Ertrag pro Hektar ist dabei abhängig von der Anzahl der Mahden im Jahr.

Biogasertrag des Substrats

Der Biogasertrag, genauer der Energieertrag des Substrats, kann als der entscheidenden Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit genannt werden. Durch ihn ergibt sich die Menge produzierter Energie i. F. v. Strom und Wärme, wodurch sich die Einnahmen der Biogasanlage aus dem Energieverkauf ergeben.

Eingesparte Entsorgungskosten

Eine Entsorgung des Grases durch Kompostierung oder dem häufig praktizierten Ausbringen auf landwirtschaftlichen Flächen verursacht Entsorgungskosten. Diese Kosten werden i. d. R. durch Förderzahlungen an die ausführenden Landwirte bezogen auf die Fläche oder Volumeneinheit Gras abgedeckt. Entsorgungskosten können eingespart werden, wenn es alternativ zu einer Verwertung in Biogasanlagen kommt.

Erlöse durch die Biogasnutzung

Die Erlöse die durch eine Nutzung des Grases in einer Biogasanlage erwirtschaft werden können, setzen sich aus den unterschiedlichen, von der Anlagenkonzeption und Dimensionierung abhängigen Vergütungen nach dem EEG zusammen. Die Vergütungshöhe je kWh eingespeisten Stroms ist abhängig von der installierten elektrischen Leistung des BHKW und der Gewährung der Boni für

- den Einsatz Nachwachsender Rohstoffe (NawaRo-Bonus)
- eine Realisierung von Kraft-Wärmekopplung (KWK-Bonus)
- den Einsatz innovativer Technologien (Technologie-Bonus)

Eine weitere Einnahmequelle ist der Verkauf der anfallenden Wärme, die durch eine Wärmeleitung an einen oder auch mehrere Abnehmer übertragen werden kann. Als Wärmeabnehmer bieten sich größere Gebäude und Einrichtungen an, die einen ausreichend hohen Wärmebedarf haben, so dass möglichst viel der vom BHKW produzierten Wärme genutzt werden kann. Die Realisierung eines anlagenspezifisch zu planenden Wärmenutzungskonzepts ist für die Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage von entscheidender Bedeutung. Darüber hinaus ist es auch unter dem Gesichtspunkt einer möglichst hohen Effizienz bei der Energieerzeugung und -nutzung zu forcieren.

4 Detaillierte Standortanalysen

4.1 Untersuchungsprogramm der Detailanalyse

Bezogen auf die für die weitere Detailanalyse ausgewählten Fallbeispiele Freisinger Moos, Diepholzer Moorniederung, Wallhecken in Ostfriesland und Streuobstwiesen im LK Reutlingen erfolgt aufbauend auf der Darstellung der aktuellen Pflege und der notwendigen Pflegeerfordernisse der einzelnen Biotope zunächst eine genauere Analyse der Biomassepotenziale aus der Biotoppflege. Im Rahmen des Projektes wurde das Biomassepotenzial dabei allein auf die oberirdische pflanzliche Biomasse bezogen. Die Analyse sollte dabei nicht allein auf das theoretische Potenzial zielen, sondern auch den Anteil ermitteln, der als sinnvoll erachtet wird.

Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Pflegeflächen, der anfallenden Biomassen sowie der beteiligten Akteure an den Beispielstandorten, war von vorn herein klar, dass die Vorgehensweisen bei den Potenzialanalysen sehr unterschiedlich sein mussten. Einzelheiten werden bei den detaillierten Analysen genannt.

Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse kann nur für diejenigen Standorte durchgeführt werden, für die ausreichend gute Potenzialdaten ermittelt werden konnten. Dabei wurden die Daten im Zweifel eher konservativ geschätzt Die Kenngrößen für die Wirtschaftlichkeitsanalyse sind bereits in Kapitel 3.4 genannt, gezahlte Förderungsgelder werden miteinbezogen.

Wie in Kapitel 4.6 ausgeführt werden im Rahmen der Stoffstromanalysen nur die Treibhausgasbilanzen der energetischen Nutzung von Landschaftspflegeresten erfasst. Dabei werden nur die als wirtschaftlich identifizierten Nutzungsoptionen genauer betrachtet.

4.2 Wallhecken in Ostfriesland (Holz)

Bei Wallhecken handelt es sich um mit Bäumen oder Sträuchern bewachsene Wälle, die als Einfriedung dienten oder heute noch dienen (Drachenfels 2004). In Ostfriesland sind reine Strauch-Hecken (Abbildung 4-1) eher selten, meist sind die Wälle mit Bäumen und Sträuchern bestanden (Abbildung 4-2), zunehmend sogar nur mit Bäumen (Abbildung 4-3).

Abbildung 4-1 Wallheckenabschnitt mit reinem Strauchbewuchs, Landkreis Leer, Ostfriesland (Foto: A. Heintzmann)

Abbildung 4-2 Dicht bewachsene Strauch-Baum-Wallhecke in Rhauderfeen, Landkreis Leer, Ostfriesland (Foto: A. Heintzmann)

Abbildung 4-3 Lückige Wallhecke mit reinem Baumbewuchs, Landkreis Leer, Ostfriesland (Foto: A. Heintzmann)

4.2.1 Detaillierte Standortbeschreibung

Von den mehr als 5000 km Wallhecke in Ostfriesland werden in dieser Beispielregion etwa 130 km genauer betrachtet. Hierfür liegen zwei Wallheckenkartierungen aus Rhauderfehn sowie eine aus dem Gebiet um Aurich-Oldendorf (Rosskamp 2005) vor (Abbildung 4-4, Abbildung 4-5, Abbildung 4-6).

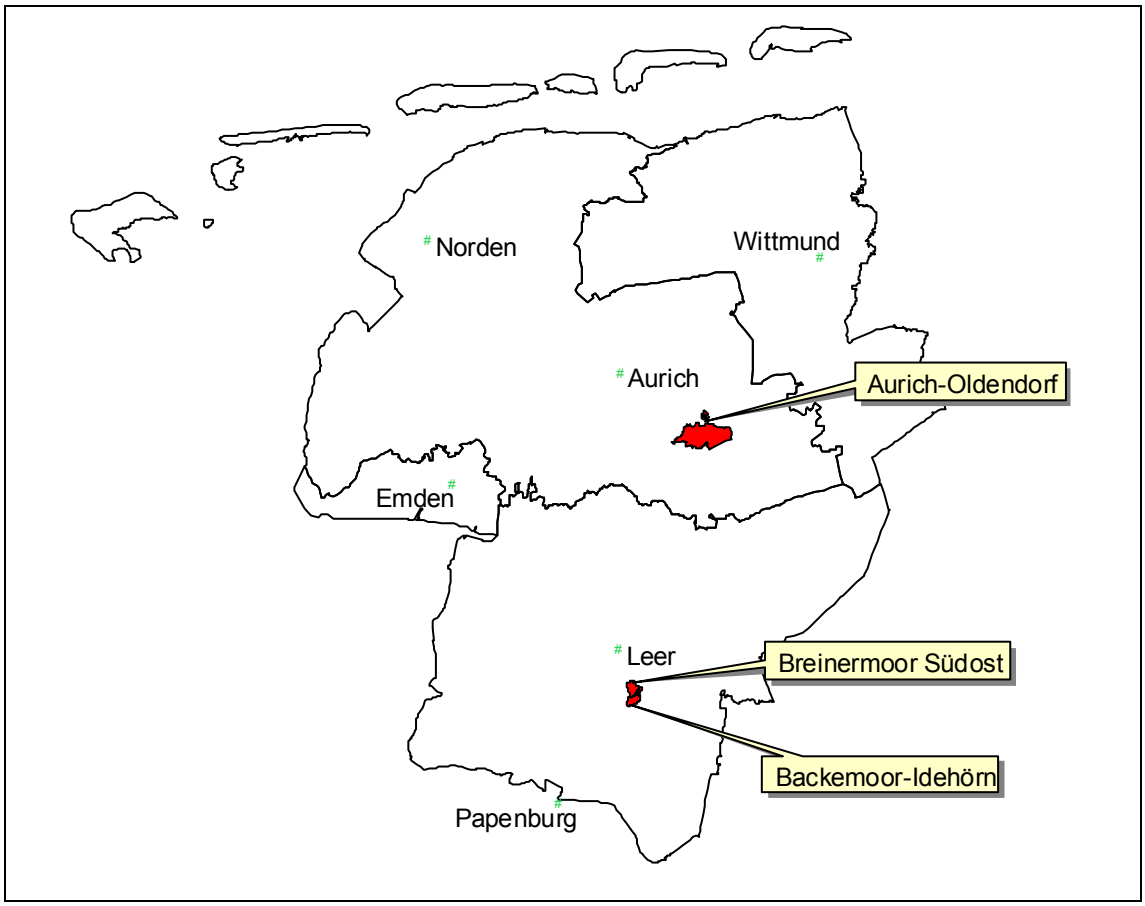

Abbildung 4-4 Lage der Untersuchungsgebiete, Maßstab ca. 1: 700 000

Tabelle 4-1 Größe der Untersuchungsgebiete und Dichte der Wallhecken

Untersuchungsgebiete	Größe [ha]	Gesamt-Länge der Wallhecken [km]	Wallheckendichte [km/ha]
Aurich-Oldendorf	1005	85,6	0,085
Backemoor	122	31,3	0,257
Breinermoor	129	14,5	0,112

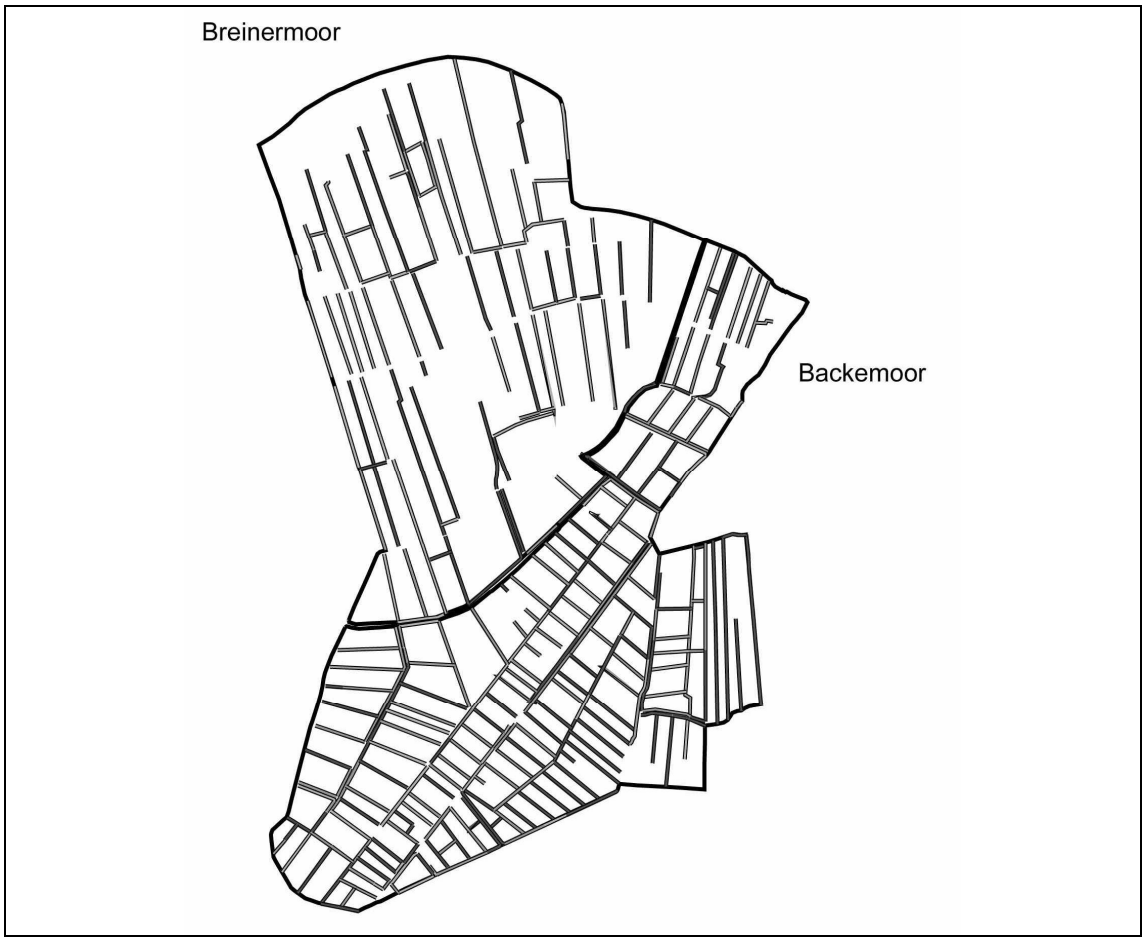

Abbildung 4-5 Untersuchungsgebiete Wallheckenlandschaften in Rhauderfehn: Breinermoor und Backemoor, dargestellt ist die Lage der Wallhecken, Maßstab ca. 1: 20 000

Abbildung 4-6 Untersuchungsgebiet Wallheckenlandschaft um Aurich-Oldendorf, Maßstab ca. 1: 35 000, grün dargestellt die Lage der Wallhecken (nach Rosskamp 2005)

Neben der Lage der Wallhecken werden mit den Wallheckenkartierungen auch Informationen über die Strauch- und Baumdeckung erhoben. Die Deckungsangaben werden zur vereinfachten Bewertung klassifiziert (Tabelle 4-2, Tabelle 4-3).

Tabelle 4-2 Klassifizierung der Deckung Strauchschicht sowie Entnahme bei der Pflege

Klasse	Strauch-Deckung	durchschnittliche Deckung	Entnahmefaktor
0	0-5%	2,50%	0%
1	6-20%	12,50%	100%
2	21-40%	30%	100%
3	41-60%	50%	100%
4	61-80%	70%	100%
5	81-100%	90%	100%

Tabelle 4-3 Klassifizierung der Deckung Baumschicht sowie Entnahme bei der Pflege

Klasse	Baum-Deckung	durchschnittliche Deckung	Entnahmefaktor
1	0-20%	10,00%	0%
2	21-60%	40,00%	10%
3	61-100%	80%	40%

Die Bewertung der Wallhecken erfolgte im Gelände. Für homogene Heckenabschnitte wurden die Deckungen der Baum- und Strauchschicht nach Augenschein eingestuft. Die Lage der Wallhecken wurde kartografisch festgehalten.

Das bei weitem größte Untersuchungsgebiet ist mit mehr als 1000 Hektar Aurich-Oldendorf (Tabelle 4-1). Die höchste Wallheckendichte mit der höchsten Strauchdeckung befindet sich in Backemoor-Idehörn. Hier sind auch viele Überhälter zu finden. Die höchste Baumdeckung zeigt Aurich-Oldendorf, wo allerdings die Strauchdeckung am geringsten ist. Breinermoor-Südost hat sowohl eine mittlere Strauchdeckung als auch eine mittlere Baumdeckung.

In Interviews mit den Akteuren werden empirisch Faustzahlen bestimmt, die eine typische Wallhecke beschreiben (Tabelle 4-4, Tabelle 4-5).

Die typische Baumart der Überhälter ist die Eiche (vor allem *Quercus robur*), viel seltener sind Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*) und Birke (*Betula pendula, Betula pubescens*) oder andere Baumarten.

Tabelle 4-4 Artspezifisches Gewicht eines Festmeters sowie geschätzte Häufigkeit der Art in Ostfriesland

Baumart	geschätzte Häufigkeit [%]*	durchschnittliches Gewicht eines Festmeters [kg atro]**
Eiche	80	630
Erle	10	480
Birke	5	585
andere Arten	5	ca. 500

**mündlich Sander 2006, Rosskamp2006, **Wienerbörse 2007*

4.2.2 Potenzialanalyse der Wallhecken

Untersuchungen über das Biomassepotenzial von Wallhecken in Ostfriesland liegen nicht vor. Daher wird auf Erfahrungen aus anderen Regionen zurückgegriffen.

Um das oberirdische Biomassepotenzial der Wallheckenvegetation abzuschätzen, werden die vorliegenden Kartierungen der untersuchten Wallhecken ausgewertet. Die Potenzialermittlung erfolgt getrennt für die Strauch- und die Baumbiomasse.

Eine typische Wallhecke mit 100% Strauchdeckung und 100% Baumdeckung besitzt eine Kronenbreite von 8 Metern, alle 8 m steht ein Überhälter mit einer Höhe von 15 Metern und einem Brusthöhendurchmesser von 0,5 Metern (Tabelle 4-5).

Tabelle 4-5 Faustzahlen für die Potenzialberechnung

	Wert	Einheit	Quelle
Kronenbreite	8	m	mdl. Sander 2006, Rosskamp 2006
BHD Überhälter	0,5	m	mdl. Sander 2006, Rosskamp 2006
Höhe Überhälter	15	m	mdl. Sander 2006, Rosskamp 2006
Pflegezyklus	10	a	mdl. Sander 2006, Rosskamp 2006
spez. Gewicht eines Stammes	605	kg/m³	arithm. Mittel aus Tabelle 4-4
Wassergehalt Frischmasse	45%		FNR 2005
1 t-atro HHS	2,43	SRM	FNR 2005

4.2.2.1 Strauchbiomasse

Uckert (1998) hat die Strauch-Biomasse zweier Heckenabschnitte mit hoher Strauchdeckung und wenigen Überhältern in Schleswig-Holstein untersucht. Die dort ermittelten Werte der Trockenmasse je laufendem Meter werden als Grundlage für eigene Potenzialberechnungen verwendet (Tabelle 4-5).

4.2.2.2 Baum-Biomasse

Überhälter spielen in Ostfriesland eine große Rolle. Die Biomasse eines Überhälters kann in die der Baumkrone und die des Stammes unterteilt werden.

Für die Berechnung des Volumens eines Baumes innerhalb von Hecken sind die bewährten Verfahren aus der Forstwirtschaft nicht anwendbar, da sie sich auf Waldholz beziehen. Heckenbäume sind deutlich abholziger, daher wird das Volumen eines solchen Baumes mit der Volumenberechnung eines Kegels angenähert. Aus Gründen der Vereinfachung wird die Biomasse der Krone vernachlässigt.

Der Festmetergehalt des Stammes lässt sich nun grob aus dem Brusthöhendurchmesser (Durchmesser in 1,3 m Höhe) und der Baumhöhe abschätzen.

Volumen eines Kegels

$$V = \frac{\pi}{3} \cdot r^2 \cdot h$$

$V = Volumen$

$r = Radius$

$h = Höhe$

Festmetergehalt eines Stammes

$$F = \frac{\pi}{3} \cdot \left(\frac{r_{BHD} \cdot h}{h - 1{,}3} \right)^2 \cdot h$$

$F = Festmetergehalt$

$r_{BHD} = Radius\ des\ Brusthöhendurchmessers$

$h = Gesamthöhe\ Baum$

4.2.2.3 Aktuelle Pflegetechnik

Zurzeit werden Wallhecken in Ostfriesland nur selten fachgerecht gepflegt (Rosskamp 2005). Dadurch wird das Strauchwachstum stark eingeschränkt und ein Durchwachsen der Bäume zu Überhältern gefördert. Wenn gepflegt wird, ist eine Verbrennung des Schnittmaterials vor Ort oder als „Osterfeuer“ üblich.

Seit Anfang 2006 gibt es innerhalb der Schutzgemeinschaft Wallhecken e.V. eine Einsatzgruppe Wallhecken, die im Auftrag der jeweiligen Eigentümer eine fachgerechte Wallheckenpflege durchführt. Dieses geschieht motormanuell. Für die Entsorgung des Schnittmaterials sind die Eigentümer zuständig.

4.2.2.4 Ziele fachgerechter Pflege

Um Wallhecken langfristig zu erhalten, müssen sie regelmäßig gepflegt werden. Bei einem veranschlagten Pflegeturnus von 10 Jahren, müssten von den insgesamt mehr als 5700 Kilometern jährlich 570 km geschnitten werden. Nach Angaben des Naturschutzbundes Ostfriesland (Bergmann 2006) und der Schutzgemeinschaft Wallhecken (Sander 2006) ist in Ostfriesland das generelle Pflegeziel, eine vielfältig strukturierte Wallhecken-Landschaft zu erhalten bzw. wieder zu schaffen. Wallhecken in Ostfriesland bieten mit mäßiger Überhälterdichte und hohem Strauchbewuchs optimale Bedingungen für eine hohe Artenvielfalt (Rosskamp 2005).

Daher wird von Akteursseite eine Reduzierung der Überhälter vorgeschlagen. Allerdings besteht Skepsis dahingehend, ob das politisch durchsetzbar wäre, da das Abholzen von alten Bäumen allgemein häufig missbilligt wird. Auch sei es zweifelhaft, ob im Gegenzug zur Entnahme von Bäumen tatsächlich Sträucher nachgepflanzt und bestandserhaltend gepflegt werden. Es spricht nach Ansicht der Schutzgemeinschaft Wallhecken nichts gegen die Entnahme von Überhältern, wenn diese so dicht stehen, dass sie das Wachstum der Strauchschicht behindern. Im Sinne einer nachhaltigen Wallheckennutzung muss dann jedoch gewährleistet sein, dass sich die Strauchschicht erholen kann bzw. dass sie durch Nachpflanzen ihre ehemals geschlossene Struktur zurückerhält. Holzgewinnung ohne Regenerationsmöglichkeit wäre dagegen Raubbau und wird von der Schutzgemeinschaft abgelehnt.

Die Art und Intensität der Wallheckenpflege wird in der Regel durch Einzelfallentscheidung festzulegen sein, denn die Wallhecken unterscheiden sich untereinander deutlich in Alter und Struktur. Einzelne Gehölze dürfen wegen ihres kulturgeschichtlichen oder naturschutzfachlichen Wertes keinesfalls gefällt werden (Baumharfen, Fledermausbäume etc). Je nach Alter der Hecke kann es auch empfehlenswert sein, sie nicht bodennah zu schneiden (Auf-den-Stock setzen), sondern in Knie- bis Oberschenkelhöhe (Plentern). Dies erhöht gerade bei alten Sträuchern, die lange nicht geschnitten wurden, die Wahrscheinlichkeit des Wiederaustriebs. Das derzeit laufende Wallhecken-Pflegeprogramm für Ostfriesland sieht aus den o.g. Gründen eine Begehung mit Fachleuten vor, bei der die Schnittmaßnahmen mit dem Landnutzer diskutiert und einvernehmlich festgelegt werden. Zusammenfassend wird Wallheckenpflege i.d.R. nicht mit Großmaschinen sondern in Handarbeit durchzuführen sein (Sander 2007).

4.2.2.5 Holzmengen-Varianten

Zwei verschiedene Biomassepotenziale werden bei der Modellierung betrachtet: zum einen das Biomassepotenzial der reinen Strauchschicht (S), zum anderen zusätzlich die

Biomasse der Überhälter (Ü) (Tabelle 4-6). Ist die Strauchdeckung 5% oder geringer, wird auf einen Pflegeschnitt verzichtet. Überhälter werden nur bei einer höheren Deckung der Baumschicht entnommen (Tabelle 4-2, Tabelle 4-3).

Für die Szenarien wird vereinfachend von folgenden Maßnahmen ausgegangen:

S (Ernte Strauchschicht)

- nur die Strauchschicht wird auf den Stock gesetzt

Ü (Ernte Strauch- und Baumschicht)

- strauchdominierte Wallhecken werden komplett auf den Stock gesetzt
- reine Baum-Wallhecken werden aufgelichtet, um sie mit Sträuchern zu unterpflanzen
- Baum-Strauch-Wallhecken mit dichtem Strauchbewuchs werden strukturerhaltend zurück geschnitten (Strauchschicht auf den Stock gesetzt, Baumschicht ggf. aufgelichtet.

4.2.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Für eine Analyse der Wirtschaftlichkeit werden Bereitstellungsketten betrachtet, deren Varianten im Folgenden erläutert werden (Abbildung 4-7).

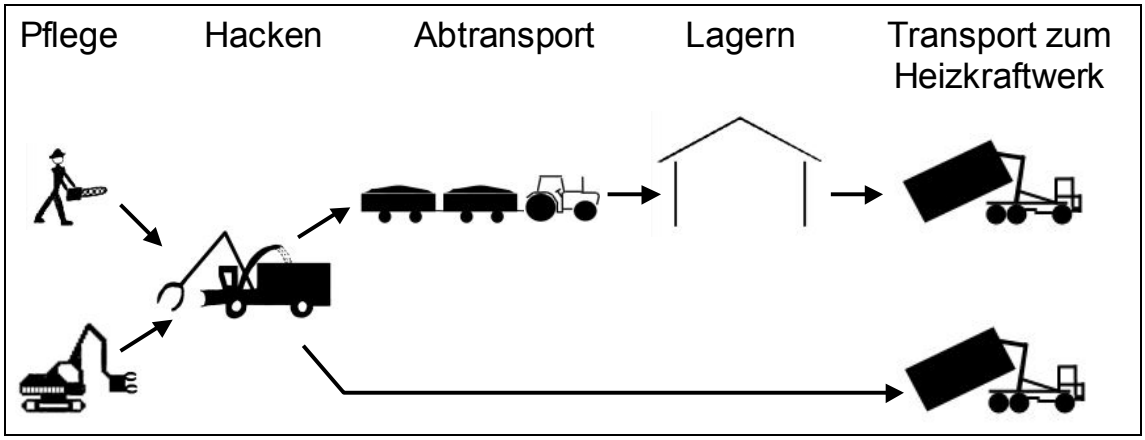

Abbildung 4-7 Bereitstellungsketten Holzhackschnitzel aus Wallheckenpflege

4.2.3.1 Technische Methoden fachgerechter Pflege

Ein Pflegeschnitt der Wallhecken kann in den Herbst- und Wintermonaten Oktober bis Februar durchgeführt werden. Derzeit werden Pflegearbeiten in den Untersuchungsge-

bieten per Hand- oder Motorsäge durchgeführt. Alternativ hierzu wird eine maschinelle Schnitttechnik betrachtet, die in Schleswig-Holstein zum Einsatz kommt. Ob diese Technik im Beispielgebiet real angewendet werden kann, hängt unter anderem von der Verfügbarkeit solcher Maschinen ab.

Motormanuelle Pflege

Für die Modellierung der Pflege per Hand werden erste Erfahrungen einer Einsatzgruppe Wallhecken verwendet. Kleine Gruppen von Landschaftspflegern schneiden mit Motorsägen Sträucher in der Regel 20 bis 30 cm über dem Erdboden ab. Überhälter werden je nach Baumhöhe auch abschnittsweise gefällt. Das geschnittene Holz wird zur weiteren Verarbeitung im Längsschwad abgelegt.

Maschinelle Pflege

Küstennahe Wallheckenlandschaften besitzen u.a. aufgrund einer ähnlichen Entstehungs- und Nutzungsgeschichte große Ähnlichkeiten. Pflegeerfahrungen aus der Knicklandschaft Schleswig-Holsteins (Bartelingh 2001, sowie mündliche Aussagen eines Lohnunternehmers 2006) werden im Rahmen dieses Projektes für die maschinelle Pflegevariante in Ostfriesland übertragen:

Mit einer auf einen Bagger montierten hydraulischen Schere (Habbig, Schnitt-Griffy HS 850) werden entlang der Wallhecke Sträucher und Bäume bis zu einem Durchmesser von cirka 30 Zentimetern abgeschnitten. Das betrifft auch die Krone größerer Bäume, so dass danach noch eventuell vorhandene Stümpfe mit der Motorsäge entfernt werden. Das geschnittene Holz wird zur weiteren Verarbeitung im Längsschwad abgelegt.

Pflegeszenarien

Mit der Berücksichtigung der Holzmengenvarianten ergeben sich vier Pflegeszenarien (Tabelle 4-6).

Tabelle 4-6 Pflegeszenarien der Wallhecken in den Untersuchungsgebieten

		technische Varianten	
		Ernte per Hand mit Motorsäge (H)	**maschinelle Ernte (M)**
Holzmengen-Varianten	**reine Strauch-Ernte (S)**	SH	SM
	Ernte von Sträuchern und Überhältern (Ü)	ÜH	ÜM

4.2.3.2 Verwertung des Schnittgutes

Für eine energetische Nutzung des Heckensubstrates wird der Heckenschnitt gehackt und dann entweder zwischengelagert oder direkt zum Biomassekraftwerk transportiert (Abbildung 4-7).

Hacken

Ein Häcksler (Bruks 804), der auf einen Rübenroder montiert ist, fährt wie die Maschinen für den Heckenschnitt entlang der Hecken und produziert Hackschnitzel aus dem Heckenschnitt (maximaler Durchmesser cirka 60 Zentimeter). Die Hackschnitzel werden direkt in einem Vorratsbunker gesammelt. Zur Verhinderung von Bodenverdichtung sind die schweren Maschinen mit Niederdruckbereifung oder ähnlichem ausgestattet. Anhänger bzw. Container werden noch im Gebiet mit den Holzhackschnitzeln befüllt.

Aufgrund relativ hoher Kosten eines Häckslers, wird angenommen, dass das Häckseln komprimiert stattfindet, so dass der Häcksler unter voller Auslastung von 40 Sm^3/Stunde arbeitet.

Lagervariante

Für die weitere Verwendung werden zwei Varianten betrachtet. Entweder werden die Holzhackschnitzel mit einem Traktor und zwei Anhängern vom Feld in ein Zwischenlager gefahren. Die Lagerung erfolgt in einer Halle ohne Boden. Dabei werden die Holzhackschnitzel auf 35% Wassergehalt getrocknet. Das Gewicht des Substrates reduziert sich durch den Wasserverlust, aber auch Trockenmasseverluste entstehen. Danach wird das Substrat mit einem Container-LKW zum Kraftwerk geliefert. Eine Lagerung kann aus Gründen der Transportlogistik sinnvoll sein. Durch die Lagerung erhöht sich die Qualität der Holzhackschnitzel, so dass höhere Preise beim Abnehmer erzielt werden oder dass sich diese auch für Kleinfeuerungsanlagen eignen.

In einer zweiten Variante werden die Holzhackschnitzel direkt vom Erntegebiet zum Kraftwerk gebracht.

Transportwege

Um den Einfluss des Transportweges der Holzhackschnitzel vom Ernteort, bzw. vom Lager zum Biomassekraftwerk zu untersuchen, werden die Entfernungsvarianten 15 km bzw. 50 km betrachtet. Die geringste Entfernung der untersuchten Wallheckengebiete zu einem bestehenden Biomassekraftwerk beträgt real 15 Kilometer. Größere Transportentfernungen sind aus wirtschaftlichen Gründen attraktiv, wenn dadurch höhere Erlöse erzielt werden können.

4.2.3.3 Ergebnisse

Kosten des Wallheckenschnitts

Den stärksten Einfluss auf die Erntekosten hat die Pflegetechnik: Durch den Einsatz hydraulischer Scheren lassen sich die Kosten gegenüber motormanueller Pflege mittels Motorsäge mehr als halbieren. Eine Entnahme von Überhältern erhöht die Erntemengen bei nur wenig höherem Aufwand deutlich und führt damit zu effizienterer Ernte (eine nachhaltige Nutzung vorausgesetzt siehe Kapitel 4.2.2.4) mit geringeren Kosten pro Tonne Frischmasse.

Die Kosten der Ernte einer Tonne Frischmasse schwanken in Abhängigkeit von Holzmengenvarianten, Pflegetechnik und Gebiet zwischen 16 und 59 Euro (Abbildung 4-8). Wird nur die Strauchschicht auf den Stock gesetzt, gibt es bei der motormanuellen Pflege kaum Unterschiede, bei der maschinellen Ernte schwanken die Schnittkosten um 20 % um den Mittelwert (nach oben und nach unten). Hier spiegelt sich der Einfluss der Strauchdeckung deutlich wider. Ist die Strauchdeckung häufig niedrig (wie in Aurich-Oldendorf), so liegen die Schnittkosten überdurchschnittlich hoch.

Werden auch Überhälter entnommen, so schwanken die Kosten in Abhängigkeit vom Deckungsgrad der Bäume bei der motormanuellen Pflege besonders. Darin spiegelt sich der hohe Aufwand bei der motormanuellen Entnahme von Überhältern wider. Dennoch ist der Einfluss der Gebiete gegenüber den Schwankungen, die durch Holzmengenvarianten und Pflegetechnik entstehen, gering und wird daher in der weiteren Analyse nicht weiter differenziert. Stattdessen wird mit den Durchschnittswerten der Pflegeszenarien über die Gebiete gerechnet (Abbildung 4-8).

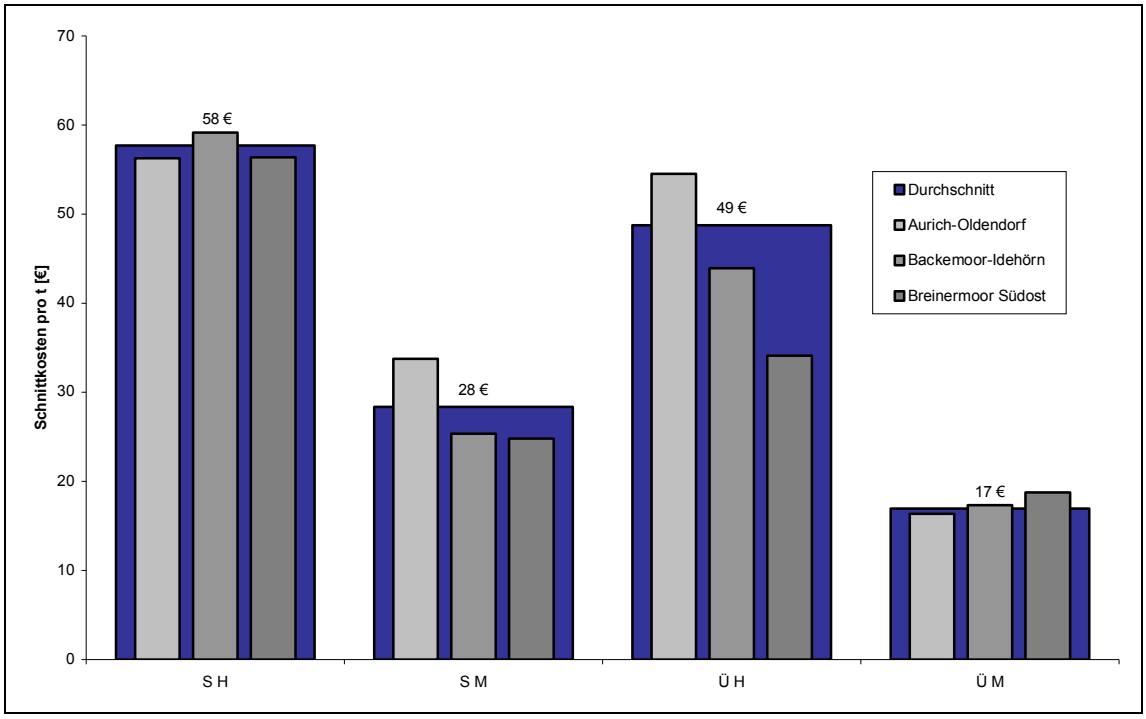

Abbildung 4-8 Schnittkosten in Abhängigkeit von Pflegevarianten und Untersuchungsgebiet

Kosten des Häckselns

Die Hackkosten errechnen sich aus Leistung und Betriebskosten des Häckslers und werden unabhängig von der Zusammensetzung des Schnittgutes mit 17 Euro pro Tonne Frischmasse angenommen (Tabelle 4-7).

Lagerkosten

Die Lagerkosten liegen inklusive Transport zum Zwischenlager bei gut 15 Euro pro Tonne. Der Anteil an den Gesamtkosten schwankt zwischen 13 und 25 Prozent. Wird das Material gelagert, so muss auch der Gewichtsverlust durch das Lagern berücksichtigt werden. Wird 1 Tonne Holzhackschnitzel mit einem Wassergehalt von 35% (HHS_{35}) am Ende der Kette bereitgestellt, müssen knapp 1,2 Tonnen dafür geschnitten werden. Daher werden durch eine Lagerung auch alle Vorketten (das betrifft den Heckenschnitt und das Häckseln) teurer (vgl. Abbildung 4-9 und Tabelle 4-7).

Transportkosten zum Kraftwerk

Der Transport zum Kraftwerk beträgt je nach Entfernung zwischen knapp sieben Euro und gut elf Euro pro Tonne Holzhackschnitzel. Das entspricht zwischen sechs und 25 Prozent der gesamten Bereitstellungskosten.

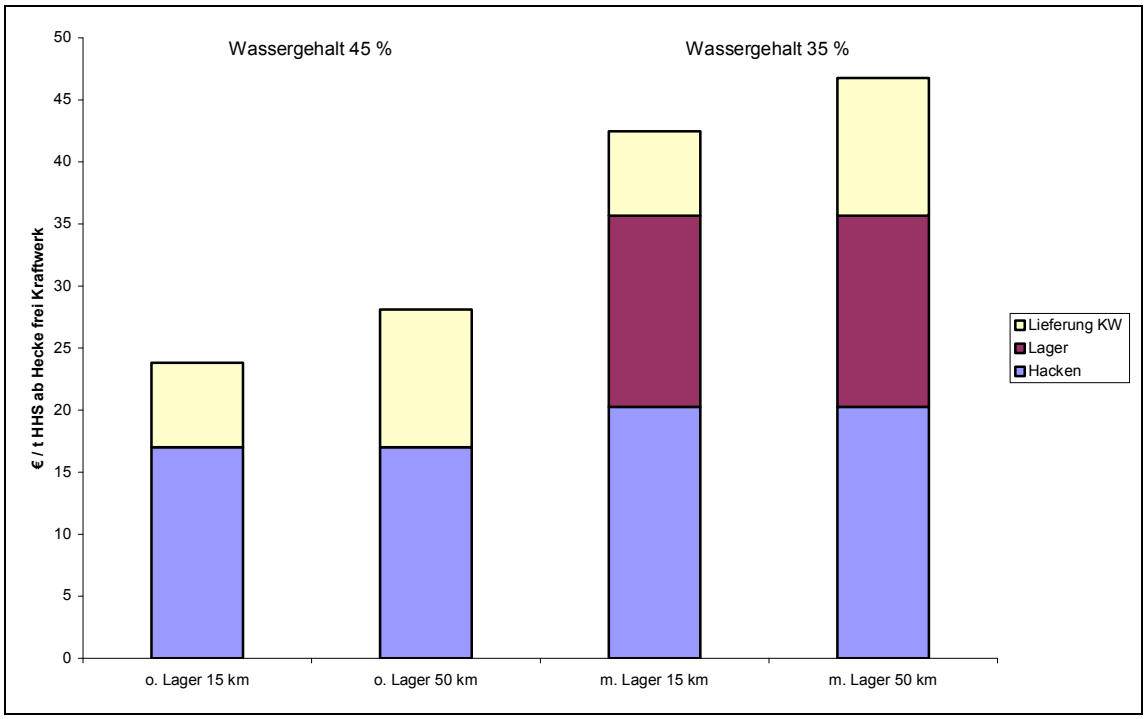

Abbildung 4-9 Bereitstellungskosten ohne Pflegeschnitt

Holzhackschnitzelpreise

Die Gesamtkosten frei Kraftwerk (Tabelle 4-7) stellen den Preis dar, der erzielt werden müsste, um die gesamten Bereitstellungskosten zu decken. Die errechneten Bereitstellungskosten liegen für Material aus der maschinellen Pflege zwischen 40 und 80 Euro, für die motormanuelle Ernte entsprechend höher zwischen 72 und 116 Euro (Tabelle 4-7).

Waldhackschnitzelpreise variierten Ende 2006 laut C.A.R.M.E.N. 2007 für eine Tonne Hackschnitzel mit 35% Wassergehalt zwischen 40 und 125 €. Allerdings liegen dieser Untersuchung im wesentlichen süddeutsche Zahlen zugrunde.

Regionale Angaben aus Ostfriesland liegen für Holzhackschnitzel im Mittelfeld der Angaben von C.A.R.M.E.N. Die Preise schwanken je nach den Qualitätsansprüchen der Kraftwerke an das Substrat und je nach Wassergehalt und Qualität der Holzhackschnitzel. Daher werden z.B. von Kraftwerken, die auch Altholz verbrennen dürfen, nur Erlöse von weit unter 40 Euro pro Tonne gezahlt.

Tabelle 4-7 Bereitstellungskosten für eine Tonne Holzhackschnitzel frei Kraftwerk

Szenario	Schnitt	Hacken	Lager	Lieferung	Gesamtkosten 1 t HHS frei Kraftwerk
Ü M o.L. 15 km	16,94	17,01	0,00	6,80	40,75
Ü M o.L. 50 km	16,94	17,01	0,00	11,10	45,05
Ü M m.L. 15 km	20,18	20,26	15,41	6,80	62,66
S M o.L. 15 km	28,37	17,01	0,00	6,80	52,18
Ü M m.L. 50 km	20,18	20,26	15,41	11,10	66,96
S M o.L. 50 km	28,37	17,01	0,00	11,10	56,48
S M m.L. 15 km	33,79	20,26	15,41	6,80	76,27
S M m.L. 50 km	33,79	20,26	15,41	11,10	80,57
Ü H o.L. 15 km	48,75	17,01	0,00	6,80	72,56
Ü H o.L. 50 km	48,75	17,01	0,00	11,10	76,86
S H o.L. 15 km	57,70	17,01	0,00	6,80	81,51
S H o.L. 50 km	57,70	17,01	0,00	11,10	85,81
Ü H m.L. 15 km	58,07	20,26	15,41	6,80	100,54
Ü H m.L. 50 km	58,07	20,26	15,41	11,10	104,84
S H m.L. 15 km	68,73	20,26	15,41	6,80	111,20
S H m.L. 50 km	68,73	20,26	15,41	11,10	115,50

Strauch- und Überhälterernte (Ü), reine Strauchernte (S), maschineller Pflegeschnitt (M), motormanueller Pflegeschnitt (H), mit Lagerung (m.L.), ohne Lagerung (o.L.), Transportentfernungen (15km, 50 km), Holzhackschnitzel (HHS).
Für die Lieferung von 1 t Holzhackschnitzel mit 35% Wassergehalt frei Kraftwerk müssen knapp 1,2 t Frischmasse geerntet werden.

Tabelle 4-7 zeigt die Kostenverteilung der gesamten Bereitstellungskette von der Holzernte bis zur Anlieferung frei Biomassekraftwerk. Insgesamt entsteht der größte Kostenanteil durch den Pflegeschnitt (zwischen 30 und 71 Prozent), gefolgt vom Hacken (18 bis 42 Prozent). Eine Zwischenlagerung verursacht zwischen 13 und 25 der Bereitstellungskoten, allerdings kommt es durch die Trockenmasseverluste zu indirekter Steigerung der Kosten in den Vorketten Schnitt und Häckseln.

Der Transport zum Abnehmer hat mit sechs bis 25 Prozent einen ähnlichen Anteil an den Gesamtkosten wie die Lagerung.

4.2.3.4 Diskussion

Aufgrund der derzeitig hohen Deckung der Baumschicht wäre die Holzmengenvariante Ü (Strauch- und Überhälterernte) für **eine** Pflegeperiode realistisch. Nach einer zehnjährigen Pflegemaßnahme der gesamten Untersuchungsgebiete, würde sich die Erntemenge der Holzmengenvariante S (reine Strauchernte) annähern, da danach kaum noch Überhälter zu entnehmen wäre. Allerdings ist davon auszugehen, dass sich bei fachgerechter Pflege die Strauchdeckung mit der Zeit erhöht, so dass der Holzertrag auch bei reiner Strauchernte etwas über der Variante S läge.

Zurzeit wird innerhalb eines Wallheckenförderprogramms des Landes Niedersachsen im Projektgebiet Ostfriesland die Pflege von Wallhecken mit 10 Euro pro laufenden Meter gefördert (NLWKN 2007). Damit lässt sich der Schnitt der Hecken unabhängig von der technischen Variante problemlos finanzieren. Muss der Schnitt dagegen aus dem Erlös

der Holzhackschnitzel mitfinanziert werden, ist dieses bei derzeitiger Ertragslage nur mit maschineller Pflege möglich.

Mit der Annahme, dass die Schnittkosten durch die Fördermittel abgedeckt werden, sind Erlöse von 24 bis 47 Euro pro Tonne nötig, um die Kosten der Weiterverarbeitung (Hacken, eventuell Lager und Transport) zu decken.

4.3 Streuobstwiesen im Landkreis Reutlingen (Holz und Grünschnitt)

4.3.1 Detaillierte Standortbeschreibung

Streuobstbestände sind kulturhistorisch entstandene, traditionell extensive Nutzungsformen des Obstbaus. Die hochstämmigen Streuobstbestände gelten mit rund 3000 Tier- und Pflanzenarten als einer der artenreichsten Lebensräume Mitteleuropas (NABU 2005). Entlang des gesamten Traufs der Schwäbischen Alb liegt das größte zusammenhängende Streuobstgebiet Deutschlands (98.000 ha). Allein rund 1.000 ha erstrecken sich entlang des südöstlichen Stadtrands von Reutlingen, rund um Eningen und Pfullingen.

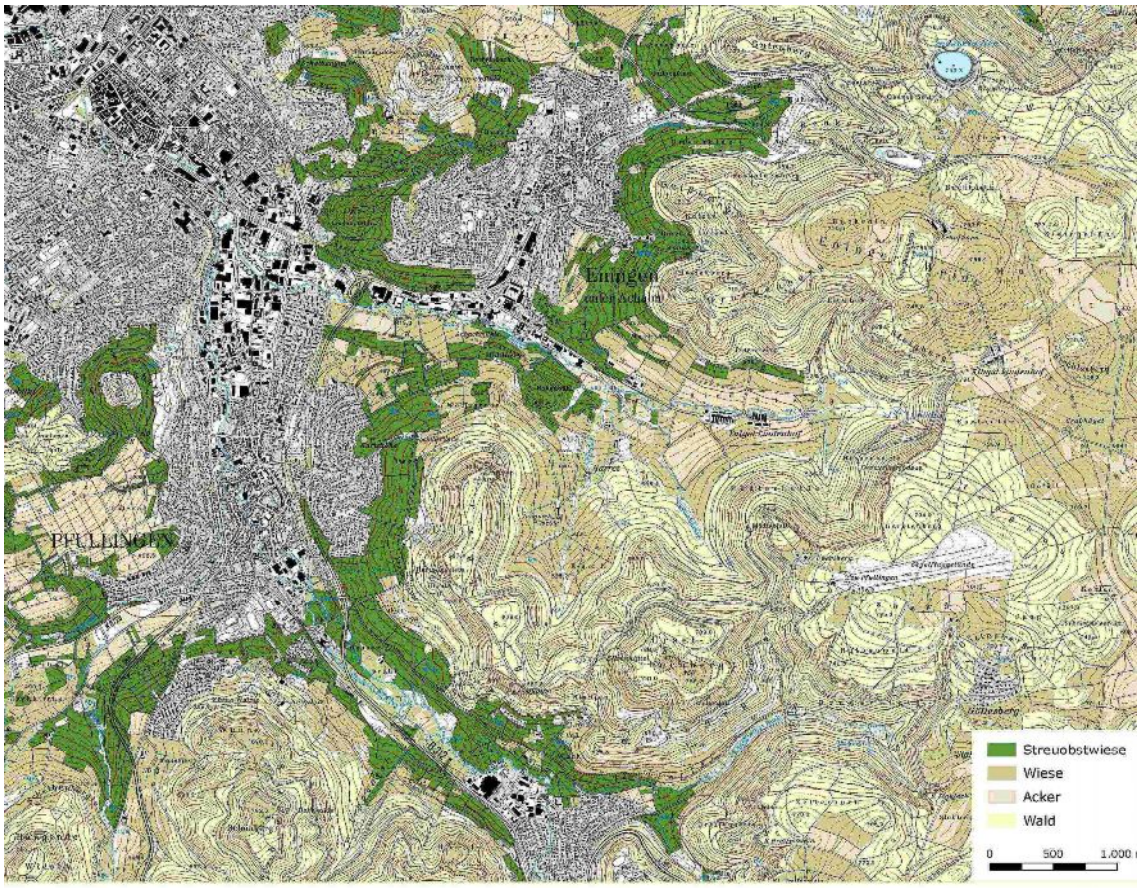

Abbildung 4-10 Beispielgebiet Streuobstwiesenbestände im Südosten Reutlingens

In Baden-Württemberg ist der Streuobstbau über zwei Programme förderfähig, nämlich den Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich (MEKA) und die Landschaftspflegerichtlinie (LP-RL). Da der ökologische Wert der Flächen sowohl im Baumbestand als auch im Grünland liegt, umfasst die Förderung die Pflege beider Elemente: Es ist im

Rahmen von MEKA III geplant, für den Erhalt von Streuobstbeständen jährlich 2,50 Euro je Streuobst-Hochstamm zu zahlen, bei verpflichtender Pflege unter den Bäumen. Darüber hinaus gibt es eine Förderung für die extensive Bewirtschaftung von artenreichem Grünland in Höhe von 50 € je Hektar (vorbehaltlich der Genehmigung durch die EU) (MLR 2007). Auch nach der LP-RL können Ausgleichszahlungen für eine extensive Grünlandbewirtschaftung gewährt werden, eine Doppelförderung ist jedoch nicht möglich.

Zur Verhinderung der natürlichen Sukzession sollten die Flächen mindestens einmal, besser zwei- bis dreimal jährlich gemäht werden. Eine Mahd ist gegenüber einer Beweidung der Vorzug zu geben, da die Bäume – je nach Tierart – vor Verbiss geschützt werden müssen. Außerdem weiden die Tiere in der Regel nicht bis an die Baumstämme heran, so dass Sträucher unter den Bäumen noch per Hand entfernt werden müssen, um eine Überwucherung und Verpilzung infolge mangelnder Belüftung zu vermeiden (Vresky 2006).

Die Pflege der Flächen obliegt i. d. R. Privatpersonen, die die Wiesen unterschiedlich häufig mähen (0 bis 6[9] mal pro Jahr). Das Schnittgut wird entweder abgeräumt oder gemulcht, wobei eine Abräumpflicht aus naturschutzfachlicher Sicht ideal wäre. Die Graserträge werden als mittelhoch eingestuft, die Bandbreite reicht von Magerstandorten bis zur Fettweide – je nach Höhenlage. Die Parzellengröße ist durch die Realerbteilung sehr klein und reicht von 3 Ar bis 2-3 ha. Flächenzusammenschlüsse sind teilweise möglich.

Zusätzlich zum Grünschnitt fällt Holz vom jährlichen Obstbaumschnitt an. Die Bäume werden im Winterhalbjahr geschnitten, das Holz bleibt dann auf Haufen in den Gärten liegen – entweder zur Verrottung oder zur Trocknung. Bereits heute wird das Holz z. T. von Privatleuten genutzt oder direkt in den Obstgärten verbrannt. In den Streuobstwiesen stehen überwiegend Hochstämme. Der Großteil der Obstbäume im Gebiet muss als überaltert und abgängig eingestuft werden. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen zweier detaillierter Zustandskartierungen der FH Rottenburg (2006a und 2006b) für benachbarte Streuobstbestände bei Mössingen und Tübingen. Demnach sind durchschnittlich etwa 80 bis 90 % der Obstwiesen als falsch gepflegt, ungepflegt oder vernachlässigt einzustufen.

Der Obstbaumschnitt dient sowohl der Ertragssteigerung als auch der Steigerung des Lebensalters der Bäume. Insofern sollten die Bäume geschnitten werden, selbst wenn der Obstertrag in den seltensten Fällen hoch ist. Jungbäume erhalten nach Möglichkeit einen jährlichen Erziehungsschnitt, während für ausgewachsene Bäume nur noch alle 3 bis 5 Jahre ein Auslichtungsschnitt notwendig ist (FH Rottenburg 2006a und 2006b).

Angesichts der Ortsrandlage sind die Wege zum Häckselplatz bzw. zu Energieanlagen kurz. Sie werden durchschnittlich mit 5 km Länge angenommen.

[9] Häufige Schnitte sind meist durch fahrbare Rasenmäher verursacht, die keine langen Grasstände mähen können.

Abbildung 4-11 Blick auf eine Streuobstwiese (Foto: Schroefel 2006)

Abbildung 4-12 Streuobstbestand mit häufig geschnittener Wiese (Foto: Schroefel 2006)

Abbildung 4-13 Ungepflegter Streuobstbestand mit bereits eingesetzter Sukzession (Foto: Schroefel 2006)

4.3.2 Potenzialanalyse

In Streuobstwiesen fällt Biomasse als Holzschnitt und als Grünschnitt an. Es wurde jedoch nur der holzige Anteil für die Potenzialanalyse berücksichtigt, da eine Grünschnittnutzung kaum zu wirtschaftlichen Bedingungen realisiert werden kann[10]. Im Rahmen eines PLENUM Projekts wurden 2003 bereits einmal Optionen der energetischen Grasschnittnutzung betrachtet, eine tatsächliche Nutzung blieb bisher jedoch aus.

Für den Holzertrag liegen im Landkreis Reutlingen keine Erfahrungswerte vor, weshalb das Potenzial hochgerechnet wird. Hierfür kann das Potenzial nur mit einem einheitlichen Wert für alle Einzelflächen angegeben werden, da für das Gebiet keine Zustandskartierung vorliegt. Zunächst wird eine durchschnittliche Schnittgutmenge für einen Einzelbaum abgeschätzt. Aus dem schlechten Pflegezustand resultiert, dass die Bäume dicht gewachsene Kronen haben, ähnlich wie Hecken. Die Berechnung der Holzmasse der Baumkronen erfolgt daher in Anlehnung an die Methode zur Erfassung des Holzpotenzials der Knicks in Schleswig-Holstein bzw. Wallhecken in Ostfriesland. Für diese werden 60-70 kg Trockenmasse Holz je laufendem Meter angegeben (Mette 2005).

[10] Diese Einschätzung resultiert aus den Ergebnissen des Freisinger Mooses (Kapitel 4.4.3), das als Niedermoorstandort deutlich höhere Graserträge als die Streuobstwiesen aufweist, aber dennoch kaum die Grenze der Wirtschaftlichkeit erreicht.

In der Literatur schwanken die Angaben für den Kronendurchmesser von Obstbaum-Hochstämmen zwischen 5 und 20 m, im Mittel kann ein Durchmesser von etwa 8,5 bis 10 m angenommen werden. Das entspricht der Breite einer Hecke, so dass ein Obstbaum wie ein Heckenabschnitt mit 8,5 bzw. 10 m Länge behandelt wird[11].

Das jährliche Holzpotenzial einer Streuobstwiese ergibt sich letztlich aus der Bestandsdichte der Bäume auf einem Hektar, der Entnahmerate von Kronenholz beim Obstbaumschnitt und dem Pflegeturnus. In den Obstgärten rund um Reutlingen stehen etwa 80 Bäume pro Hektar (Schroefel 2006). Die Entnahmeraten sind vom Alter und Pflegezustand der Bäume abhängig. Hier wird von 20 bis 30 % der Kronenmasse ausgegangen, wovon jedoch nur die Hälfte als erfassbar betrachtet wird. Ein ausgewachsener Baum sollte alle 5 Jahre geschnitten werden. Angesichts des hohen Arbeitszeitbedarfs für den Obstschnitt werden hier davon ausgegangen, dass alle 5 bzw. 8 Jahre gepflegt wird.

Mit den genannten Werten ergibt sich folgendes jährliche Holzpotenzial für die betrachteten Streuobstwiesen:

Tabelle 4-8: Holzpotenzial aus der Pflege von Streuobstwiesen

	Einheit	**Minimum**	**Maximum**	**Mittel**
Kronendurchmesser	m	8,5	10	
Kronenbiomasse	kg-atro pro-Baum	365	430	
Pflegeturnus	Jahre	8	5	
Erfassbare Entnahmerate	%	10	15	
jährlicher Obstschnitt (gerundete Werte)	**t-atro/ha**	**0,5**	**1,5**	**1,0**

Werte dieser Größenordung sind auch in der Literatur zu finden (Meinhardt (2000) 1,6 t-atro/ha (erfassbarer Anteil), Rösch (1996) 1 t-atro/ha). IZES (2002) gibt dagegen mit 3,8 t-atro/ha ein deutlich größeres Potenzial an, dabei handelt es sich möglicherweise um Intensivobstbau.

Deutlich niedriger liegt dagegen eine Angabe aus der Praxis: Ein Verjüngungsschnitt von 76 Obstbäumen hat eine Holzmenge von ca. 2 t-atro ergeben (Beideck 2007). Bei einem Pflegeturnus von 5 Jahren ergibt sich damit ein jährliches Holzpotenzial von nur 0,4 t-atro/ha.

Es muss beachtet werden, dass diesen Werten die Annahme zugrunde liegt, dass alle Obstgartenbesitzer ihre Bäume pflegen und ihr Schnittgut zugänglich machen. Diese

[11] Es muss jedoch noch der Unterschied in der geometrischen Form berücksichtigt werden: Die Krone eines Einzelbaums kann näherungsweise als eine Kugel betrachtet werden, die Hecke wie ein Zylinder. Ein Einzelbaum hat damit nur 2/3 des Volumens eines vergleichbar großen Heckenabschnitts.

Annahme stellt das technische Potenzial dar, entspricht aber nicht den derzeitigen Bedingungen.

4.3.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Holzhackschnitzel aus Landschaftspflegeholz können sowohl einer rein thermischen Nutzung als auch der Nutzung zur Stromerzeugung in Kraft-Wärmekopplung zugeführt werden. In beiden Fällen hat der Brennstoffpreis wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit für einen Anlagenbetrieb (FNR 2005a). Daher ist die Betrachtung der Bereitstellungskosten der Hackschnitzel aus dem Schnittgut von Streuobstwiesen ein guter Indikator für die Wirtschaftlichkeit der Verfahrenskette. Da das Holz über einen hohen Rindenanteil, einjährige Triebe und morsche Äste verfügt, ist der Heizwert geringer als der von Waldholz. Einen geeigneten Vergleich liefert dagegen der Marktpreis für Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz. Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse werden Vollkosten für Maschinen und die Arbeitszeit berücksichtigt (Verrechnungssatz), die Kostendaten stammen aus KTBL (2005), die Arbeitskosten werden durchgehend mit 11€/h berechnet.

Es ist sowohl möglich, das Holz vor Ort zu häckseln als auch ganze Äste und Zweige zu einem Häckselplatz zu transportieren. Es werden beide Varianten betrachtet.

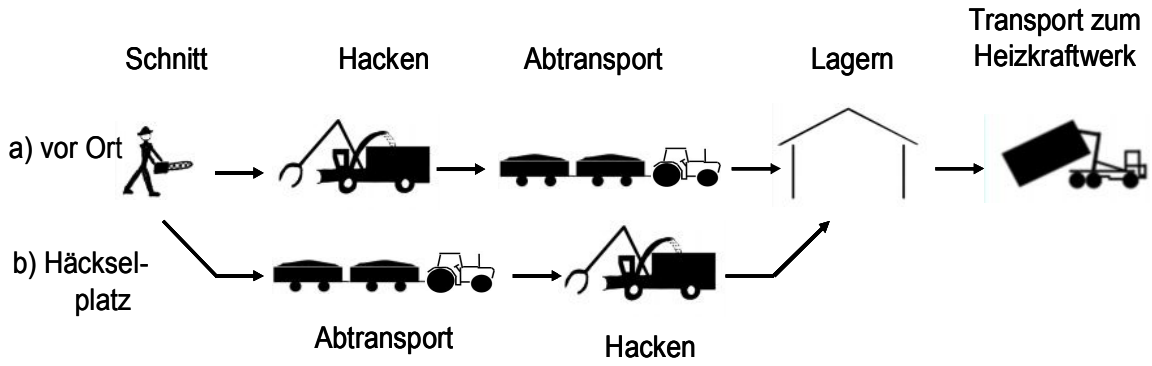

Abbildung 4-14 Bereitstellungsketten für Holzhackschnitzel aus Obstbaumschnitt

4.3.3.1 Obstschnitt

Die Pflege des Obstbaumbestands einer Streuobstwiese erfolgt überwiegend manuell mit einer Handsäge. Für das Arbeiten mit der Motorsäge am Baum wären aus Gründen der Arbeitssicherheit Hebebühnen und entsprechende Transportfahrzeuge notwendig, die teuer sind und zudem in hangigem Gelände oft gar nicht einsetzbar sind. Hier wird davon ausgegangen, dass nur 5 % der Arbeitszeit für das Zerkleinern großer Äste am Boden mit der Kettensäge verrichtet werden.

Das Zusammentragen und Aufschichten des Holzes am Fahrweg erfolgt ebenfalls per Hand. Dort wird das Baumschnittgut anschließend an der Luft über den Sommer auf einen Wassergehalt von etwa 35 % getrocknet, bevor es gehäckselt wird. Trockensubstanzverluste bei der Lagerung von Ästen im Freien sind kleiner als 5 % (FNR 2005).

Angesichts des hohen Anteils an Handarbeit ist der Arbeitszeitbedarf des Baumschnitts insgesamt sehr hoch. Bei 80 Bäumen je Hektar und einem Pflegeturnus von 5 Jahren, müssen jedes Jahr etwa 16 Bäume geschnitten werden. Bei einer durchschnittlichen Schnittdauer von knapp 1,5 h pro Baum, sind 22,4 Arbeitsstunden pro Hektar notwendig.

4.3.3.2 Häckseln

Das Holz kann entweder mit einem Aufbauhäcksler vor Ort gehäckselt werden oder es wird in ganzen Ästen und Zweigen zu einem Häckselplatz gefahren und dort zerkleinert. Beide Varianten werden betrachtet.

Aus Gründen der Arbeitssicherheit wird auch für den mobilen Aufbauhäcksler ein Ladekran zur Beschickung angenommen und von der Handbeschickung abgesehen. Wird das Material vor Ort zerkleinert, wird der Häcksler von einer Obstwiese zur anderen gefahren. Durch die Fahrtzeiten ist das Gerät nicht so gut ausgelastet wie bei einem stationären Häcksler, außerdem müssen bei einer größeren Menge Holz zusätzliche Anhänger bereitgehalten werden.

4.3.3.3 Transport zum Häckselplatz bzw. Lager

Der Transport der Hackschnitzel bzw. des ungehäckselten Schnittguts erfolgt in der Regel mit einem Traktor mit ein bis zwei Kipphängern. Das ungehäckselte Material hat etwa das fünffache Volumen des gehäckselten (KTBL 2007), wodurch mehrere Fahrten zum Abtransport der gleichen Holzmenge notwendig werden.

4.3.3.4 Lagerung

Die Lagerung erfolgt in einer Halle ohne Betonplatte (Neubau). Dabei werden die Holzhackschnitzel auf ca. 25% Wassergehalt getrocknet, die Festsubstanzverluste liegen dabei unter 5 % (FNR 2005).

4.3.3.5 Ergebnis

Bei einem Stundenlohn von 11 €/h für Lohnarbeiter würde der Obstschnitt allein Kosten von 246,40 €/t Schnittgut verursachen. Dem steht der aktuelle Nettopreis für Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz von lediglich 50€/t gegenüber. Damit wird bereits deutlich, dass die energetische Verwertung des Schnittguts keine nennenswerte Finanzierung des Baumschnitts ermöglichen kann und daher keine Synergien zwischen Naturschutz und energetischer Nutzung erzeugt werden können.

Kann jedoch die Pflege auf ehrenamtlicher Basis durchgeführt werden, kann eine energetische Nutzung unter Umständen dennoch wirtschaftlich darstellbar sein, jedoch ohne einen Zusatznutzen für den Naturschutz zu erbringen. Dieser Fall wird für die weitere Darstellung angenommen.

Das Häckseln auf dem Häckselplatz ist insgesamt etwas kostengünstiger als das Häckseln vor Ort. Für die Variante „Häckselplatz“ liegen die Arbeitskosten etwas höher, da das Aufladen und Abtransportieren des ungehäckselten Obstschnitts länger dauert als der Abtransport der Hackschnitzel. Dieser Kostenvorteil wird aber durch die höheren Maschinenkosten bei der Variante „Häckseln vor Ort“ überkompensiert. Die hohen Maschinenkosten entstehen durch die geringe Auslastung des mobilen Hackers, siehe Abbildung 4-15.

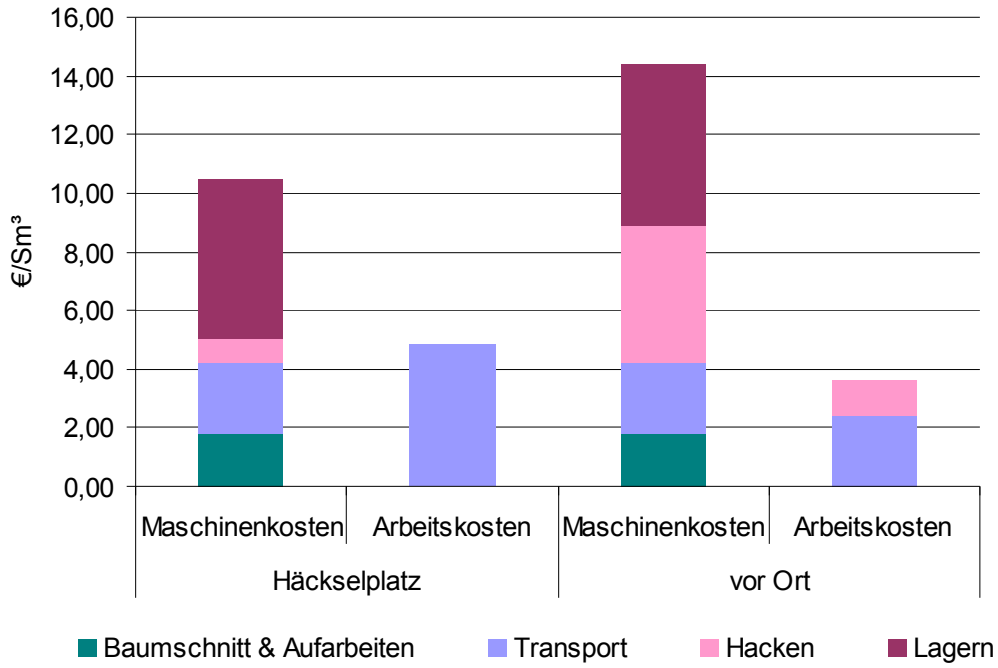

Abbildung 4-15 Anteil einzelner Arbeitsschritte an der Arbeitszeit und den Gerätekosten

Ausgehend von den drei unterschiedlichen Schnittgutmengen von rund 2, 4 und 6 Sm³ je Hektar Streuobstfläche, wurden die Bereitstellungskosten für die Hackschnitzelproduktion ermittelt. Für die geringe Schnittgutmenge liegen die Kosten mit 16,20 €/Sm³ oberhalb des derzeitigen Marktpreises von 15 €/Sm³ (A+S 2007, Beideck, 2007) für Hackschnitzeln aus Landschaftspflegeholz. Für die mittlere und die hohe Schnittgutmenge liegen die Kosten mit 14,40 und 9,60 €/Sm³ unterhalb des Marktpreises, siehe *Abbildung 4-16*.

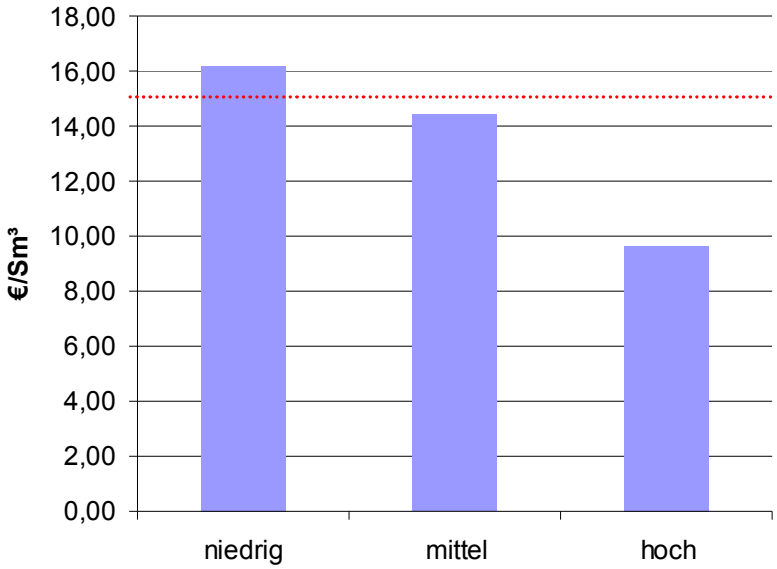

Abbildung 4-16 Bereitstellungskosten für Hackschnitzel bei unterschiedlichem Holzertrag

Angesichts dieses Ergebnisses führt die energetische Nutzung des Obstholzes bei derzeitigen Energiepreisen zwar zu keiner Kostenentlastung für den Naturschutz, doch kann sie bei ausreichend hohen Mengen dennoch zu kostendeckenden Bedingungen erfolgen. Rund um die Stadt Reutlingen liegen rund 1000 ha Streuobstwiesen. Die Schnittreste dieser Flächen könnten jährlich ca. 4.000 Sm³ Hackschnitzel erbringen. Mit diesem Holz könnten etwa 114 durchschnittliche Einfamilienhäuser geheizt werden und sogar 686 Niedrigenergiehäuser[12] - vorausgesetzt, es könnte das gesamte Potenzial mobilisiert werden.

4.3.4 Empfehlungen zur energetischen Nutzung des Biotoppflegematerials von Streuobstwiesen

Streuobstinitiativen mit Aufpreisvermarktung bleiben das Mittel der Wahl für den Erhalt von Streuobstwiesen. Langfristig fördert eine Umstrukturierung der Streuobstwiesen bei Neuanpflanzungen den Erhalt der Bestände, wenn Grasstreifen oder größerer Baumabstand eingeführt werden, die es erlauben, die Flächen mit Maschinen zu beernten. Gleichzeitig würde auf diese Weise die Einhaltung von Pflegeauflagen für das Grünland erleichtert.

Trotz der nur schwer zu erreichenden Wirtschaftlichkeit der energetischen Verwertung, sollte die mögliche wirtschaftliche Nutzung der Schnittreste im konkreten Fall geprüft werden. Gerade wenn insgesamt eine große Fläche im Einzugsgebiet einer Verbrennungsanlage für viel Holz/Biomasse sorgt, können sich sinnvolle Nutzungskonzepte ergeben.

[12] Ein durchschnittliches Einfamilienhaus benötigt etwa 20 Liter Heizöl/(m²*a), bei 120 m² Wohnfläche entspricht das 35Sm³/a Hackschnitzel. Ein Niedrigenergiehaus benötigt dagegen nur 3-Liter Heizöl.

Die Anhebung der EEG-Vergütung, selbst bei Einführung eines speziellen Bonus für die Nutzung von Landschaftspflegematerial würde nur in seltenen Fällen eine wirtschaftliche Nutzung ermöglichen. Nur wenn eine EEG-fähige Anlage in der Nähe ist - was in Reutlingen z.B. nicht der Fall ist - kann die über die inklusive NawaRo-Bonus vergütete Stromeinspeisung unter sonstigen günstigen Bedingungen eine wirtschaftliche Nutzung ermöglichen. Die Anlage zur Mitverbrennung darf z.B. nicht Altholz gespeist sein, da sonst keine ausreichend hohen Erlöse aus der Stromeinspeisung erzielt werden können.

4.4 Freisinger Moos (Grassschnitt)

4.4.1 Detaillierte Standortbeschreibung

Wie bereits in Kapitel 2.5.8 kurz erläutert, handelt es sich bei dem Freisinger Moos um eines der größten noch erhalten gebliebenen Niedermoorgebiete in Bayern (Abbildung 4-17). Durch den landwirtschaftlichen Strukturwandel ist die Niedermoorlandschaft Freisinger Moos und damit eine Vielzahl seltener Tier- und Pflanzenarten stark bedroht. Ein integratives Landnutzungskonzept z. B. durch die Nutzung der anfallenden Biomasse als nachwachsender Rohstoff könnte diesen bedrohten Lebensraum nachhaltig schützen.

Aus der Vergangenheit gibt es schon Untersuchungen zum Erhalt dieser Landschaft durch Beweidungskonzepte sowie eine Studie zur energetischen Grüngutverwertung. Ein Netzwerk aus lokalen Akteuren sowie eine Lokalen Aktionsgruppe (LAG) und der Landschaftspflegeverband Freising e.V. haben sich zum Schutz dieses Lebensraums schon vor Jahren gebildet. Ansprechpartner ist neben der LAG Freisinger Moos, Herr Matthias Maino vom Landschaftspflegeverband Freising e.V.

Über die Flächenausdehnung des Freisinger Mooses gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben mit einer Spannweite von 1100 ha bis 2100 ha (Huss und Schmitt, 2001). Nach Absprache mit Matthias Maino (2006) und Angaben aus Huss und Schmitt (2001) wird die für das vorliegende Projekt relevante Fläche des Freisinger Mooses mit 2000 ha angegeben. Von dieser Fläche sind 1060 ha Grünland, von dem das Gras mit unterschiedlichen Flächenerträgen für eine Verwertung zur Verfügung steht.

Die Grünlandflächen teilen sich auf in gut mechanisierbares, landwirtschaftlich strukturiertes Grünland von 900 ha, von denen 600 ha mit Gülle gedüngt werden und 300 ha ungedüngt sind. Weiterhin gibt es rund 125 ha klein strukturierte Wiesen im Kerngebiet des Mooses, welche mit kleinem landwirtschaftlichem Gerät zu mähen sind. Der kleinste Teil von rund 35 ha wird durch sehr klein strukturierte Wiesen gebildet, welche nur unter hohem Aufwand und mit viel Arbeitseinsatz gemäht werden können.

Ein Großteil der Flächen wird von Landwirten gemäht, die Pflege der sehr klein strukturierten Flächen wird auch durch den Landschaftspflegeverband Freising e.V. organisiert. Die Landwirte schließen Pflegeverträge für die Dauer von 5 Jahren ab und erhalten in diesem Zeitraum Ausgleichszahlungen, deren Höhen in der folgenden Tabelle enthalten sind. Der Vertragsnaturschutz hat eine Vertragsdauer von 5 Jahren. In dieser

Zeit sind die Landwirte verpflichtet, das Grünland zu mähen und das Gras von der Fläche abzufahren. Das Heu, welches die Landwirte nicht selber nutzen, wird zu großen Teilen als Futterheu, vornehmlich nach Österreich, verkauft. Hierfür erzielen die Landwirte einen Rundballenpreis von ca. 25 EUR bei ca. 275 kg Gewicht. Kleinere Mengen des Grases werden auf landwirtschaftlichen Flächen des benachbarten „Tertiären Hügellandes“ ausgebracht und eingepflügt. Für diesen Arbeitsgang der Grasentsorgung erhalten die Landwirte eine Vergütung von 3 EUR/m3 (Maino 2006).

Im Vertragsnaturschutz ist die Höhe der Zahlungen abhängig vom Schnittzeitpunkt. Im Rahmen des KULAP-Programms besteht keine Schnittzeitpunktregelung und es ist eine Beweidung erlaubt.

Tabelle 4-9 Ausgleichszahlungen für die Pflege im Rahmen des Vertragsnaturschutzes und des KULAP-Programms nach STMLF, 2007

Vertragsnaturschutz	
Zeitraum ohne Schnitt	Betrag EUR/ha
15.3. bis 15.6.	155
15.3. bis 1.7.	175
15.3. bis 1.9.*	220
zusätzlich werden folgende Beträge gezahlt:	
bei Verzicht auf Dünger und PSM	180
bei Düngung mit Festmist	120
Besteht ein Verzicht auf Düngung, PSM und Schnittzeitpunktregelung, wird der folgende Betrag gezahlt	215
* wird nur bei den sehr klein strukturierten Wiesen angewendet	
KULAP-Programm, Verzicht auf flächendeckenden PSM-Einsatz	
Verzicht auf mineralischen Dünger, max. 1,8 GV/ha	100
Verzicht auf mineralischen Dünger, max. 1,4 GV/ha	150

Abbildung 4-17 Lage und Ausdehnung des Freisinger Moos

Quelle: Landratsamt Freising

4.4.2 Potenzialanalyse

Für die Ermittlung des Potenzials an Grünlandaufwuchs wurde zum einen die Betrachtungsfläche von 2000 ha festgelegt und zum anderen die Flächenaufteilung evaluiert. Dies geschah in enger Zusammenarbeit mit Maino 2006. Die Flächenerträge und die Anzahl der Mahden wurden nach Huss und Schmitt (2001) und Ertel 2006 festgelegt. In der folgenden Tabelle sind die entsprechenden Daten aufgeführt.

Tabelle 4-10 Flächen- und Ertragsdaten des Freisinger Mooses nach Maino 2006, Huss und Schmitt 2001 und Ertel 2006

Flächentyp	Fläche ha	Ertrag t/ha*a	Grasmasse gesamt t/a	% zur Gesamt-masse Gras	Anzahl Mahd/a	Ertrag/ Mahd
gut mechanisierbares Grünland	900					
mit Gülle-Düngung	600	26	15.600	83	3	10; 8; 8
ohne Düngung	300	8	2.400	13	2	5; 3
Wiesen im Kerngebiet, mittleres Gerät	125	4,5	563	3	2	3; 1,5
kl. Wiesen, Mahd und Bergung z.T. mit Hand	35	4	140	1	1	4
Wald	30					
Buschland	10					
Acker	900					
Summe Flächen gesamt	2000					
Summe Grünland	1060		18.703			

4.4.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Im Freisinger Moos fallen große Mengen von Gras aus der Grünlandpflege an, welches für eine energetische Nutzung zur Verfügung steht. Aus den in Abschnitt 3 ausgeführten Gründen werden für eine Verwertung dieses Grases keine thermischen Verfahren analysiert. Alternativ erfolgt die Betrachtung der Verwertung über den Weg der Biogasproduktion. Hierfür werden im Folgenden zunächst die Bereitstellungskosten für Grassilage von den unterschiedlichen Naturschutzflächen des Freisinger Mooses kalkuliert und anschließend der in den folgenden Betrachtungen angenommen Biogasertrag der Substrate festgelegt. Es werden dann zwei prinzipiell zu unterscheidende Nutzungsvarianten von Biogassubstrat betrachtet. Zum einen erfolgt eine Betrachtung unter der Annahme, dass eine nicht ausgelastete Biogasanlage die Silage aus dem Freisinger Moos verwertet und diese Silage damit mit anderen zur Verfügung stehenden Substraten konkurriert. Daher werden zum Vergleich auch andere Biogassubstarte betrachtet. Als zweite Nutzungsvariante wird angenommen, dass eine neue Biogasanlage errichtet wird, um das Gras des Freisinger Mooses zu verwerten. Hierbei erfolgt die Analyse einer TNS®-Trockenfermentationsanlage, welche ausschließlich mit Grassilage des Freisinger Mooses betrieben wird. Geht man davon aus, dass eine Biogasanlage explizit für die Verwertung von Gras aus der extensiven Pflege von Grünland betrieben wird, so ist dies ökonomisch nur dann sinnvoll, wenn hieraus Einnahmen erzielt werden können.

Bereitstellungskosten von Grassilage aus der naturschutzorientierten Pflege

Der Preis eines Biogassubstrates hat wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer Anlage. Daher wurden die Bereitstellungskosten der Naturschutz-Silage für die vier Flächentypen „Grünland gedüngt“ (ausschließlich Gülle), „Grünland ungedüngt“, „Wiesen im Kerngebiet“ und „kleine Wiesen“ berechnet (Abbildung 4-18). In Kapitel 3.4.2 ist die Höhe und Zusammensetzung der Bereitstellungskosten für die Produktion von Silage aus Gras der entsprechenden Flächen enthalten. Die Kosten der unterschiedlichen Arbeitgänge setzen sich aus den Maschinen- Arbeitszeit- und Lohnkosten zusammen und sind für die drei Entfernungsvarianten 2, 6 und 10 km berechnet. Es zeigt

sich eine deutliche Abhängigkeit der Bereitstellungskosten vom Flächentyp, im Vergleich dazu nehmen die höheren Kosten durch steigende Transportentfernungen eine untergeordnete Rolle ein. Da die Bereitstellungskosten für Silage von klein strukturierten Wiesen sehr hoch und auch die Flächenerträge sehr niedrig sind, erfolgt eine Betrachtung dieser Silagen im Rahmen der folgenden Wirtschaftlichkeitsanalyse nur bei der Nutzung in der TNS®-Anlage.

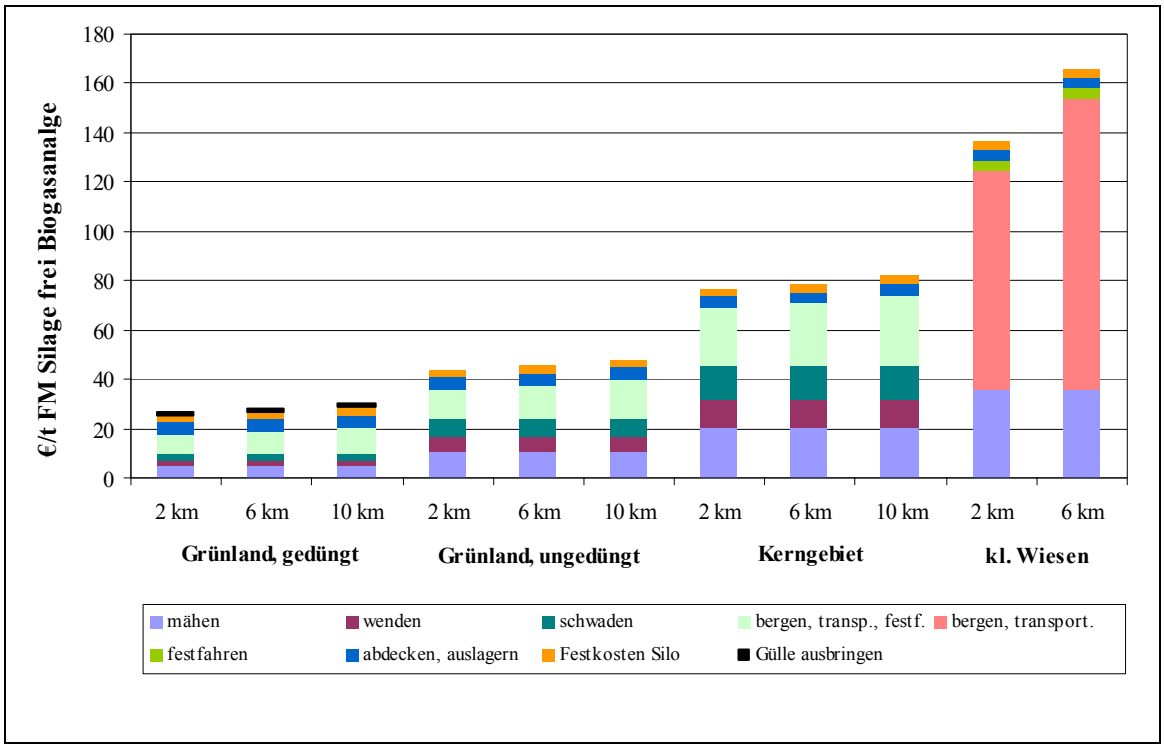

Abbildung 4-18 Bereitstellungskosten für Grassilage von Naturschutzflächen des Freisinger Mooses, nach KTBL 2005, KTBL 2007 und Keymer 2005 und eigene Berechnungen

Biogasertrag

Die weitere wichtige Größe bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse einer Biogasanlage ist die Höhe des Biogasertrags. Bei Silage von den hier betrachteten gedüngten Flächen kann von einem etwas geringeren Gasertrag ausgegangen werden als bei Silage die aus ertragsoptimierter landwirtschaftlicher Erzeugung stammt. Der Gasertrag von Silage aus ungedüngten Gräsern liegt dagegen merklich niedriger. In Tabelle 4-11 sind die angenommenen Biogaserträge aufgeführt.

Tabelle 4-11 Biogas- und Methanerträge unterschiedlicher Silagen, nach Krieg und Fischer 2006 und FNR 2005b

Typ Silage	Biogasertrag m^3_N/t FM	Methangehalt in %
Mais	200	52
Gras landwirtschaftlich	200	54
Grünland gedüngt, Gülle, Freisinger Moos	170	54
Grünland ungedüngt, Freisinger Moos	140	54
Kerngebiet, Freisinger Moos	100	54
sehr klein strukturierte Wiesen	80	54

Analyse unterschiedlicher Verwertungsvarianten

Nicht ausgelastete, bereits bestehende Biogasanlage

Als erste Verwertungsvariante wird die Nutzung der Grassilage in einer bestehenden, nicht ausgelasteten Biogasanlage bewertet, womit nur der Vergleich von Substratkosten (-preis) zu Erlös erfolgt. Substratabhängig sind Biogasertrag und Methangehalt. Für alle Betrachtungen identisch werden ein BHKW – Wirkungsgrad von η_{el} 38% und ein Stromerlös von 0,17 EUR/kWh vorgegeben. Neben der Betrachtung unterschiedlicher Grassilagen erfolgt auch die Betrachtung der als Standartsubstrat zu bezeichnenden Maissilage. Für die Bereitstellungskosten der Grassilage aus dem Freisinger Moos wird ein Wert aus den Entfernungsvarianten 2, 6 und 10 km im Verhältnis von 20/40/40% veranschlagt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-12 aufgeführt.

Tabelle 4-12 Bereitstellungskosten und Stromerlöse unterschiedlicher Silagen nach Keiymer 2005 und eigene Berechnungen

Typ Silage	Bereitstellungs-kosten EUR/t	Stromerlös EUR/t	Diff. Kosten zu Erlös EUR/t
Mais	28	61	33
Gras landwirtschaftlich	43	64	21
Grünland gedüngt, Gülle, Freisinger Moos	28	54	26
Grünland ungedüngt, Freisinger Moos	46	44	-2
Kerngebiet, Freisinger Moos	80	32	-48

Die Ergebnisse in Tabelle 4-12 zeigen, dass Grassilage von gedüngten Flächen des Freisinger Mooses trotz geringerer Biogasausbeute zu höheren Erlösen führen kann, als es beim Einsatz von landwirtschaftlich erzeugter Grassilage der Fall wäre. Dies liegt darin begründet, dass für Flächen des Freisinger Mooses keine Pachtkosten veranschlagt wurden, diese aber nach Keymer (2005) für landwirtschaftliche Flächen der Mais- und Grasproduktion mit 250 bzw. 100 EUR/ha durchaus angenommen werden sollten. Weiterhin sind die Ertragsdaten nach Ertel (2007) für die entsprechenden Flächen des Frei-

singer Mooses im Vergleich mit den Erträgen landwirtschaftlicher Flächen von ebenfalls 26 t/ha nach Keymer (2005) verhältnismäßig hoch.

Hätte ein Biogasanlagenbetreiber freie Entscheidungsmöglichkeit zwischen den angegeben Substraten, so würde die Wahl zunächst auf Maissilage, dann auf Silage der gedüngten Flächen des Freisinger Mooses und schließlich auf die Grassilage aus klassischer landwirtschaftlicher Produktion fallen. Mit den übrigen Silagen können keine Erlöse erwirtschaftet werden. Sollten sie trotzdem in einer Biogasanlage verwertet werden, so wären unter den hier vorgegeben Rahmenbedingungen entsprechende Ausgleichszahlungen an den Biogasanlagenbetreiber erforderlich. Im Falle der Verwertung von Silage der Flächen „Grünland ungedüngt“ und „Kerngebiet“ müssten diese Ausgleichsbeträge 28 EUR/t und damit 224 EUR/ha bzw. 74 EUR/t und damit 333 EUR/ha betragen, wenn die Grassilage der gedüngten Moosflächen als Reverenz angenommen wird. Sollte der Biogasanlagenbetreiber Maissilage ersetzen müssen, dann wären Ausgleichszahlungen von 35 EUR/t und damit 280 EUR/ha bzw. 81 EUR/t und damit 365 EUR/ha erforderlich. Beim Vergleich mit den Zahlungen nach Tabelle 4-9 können unterschiedliche Aussagen getroffen werden. Geht man von Vertragsnaturschutzvergütungen von 155+180=335 EUR/ha bzw. 175+180=355 EUR/ha aus, so wäre in beiden Fällen eine Nutzung des Grases in einer Biogasanlage mit einer entsprechenden Ausgleichszahlung günstiger. Besteht eine Konkurrenz zu Maissilage, so wäre die Nutzung in einer Biogasanlage nur teilweise günstiger. Würde auf Schnittzeitpunktregelung und Pflanzenschutz verzichtet werden, so wäre eine Finanzierung der Flächenpflege über den Vertragsnaturschutz in allen Fällen günstiger als die Nutzung in einer Biogasanlage. Geht man von einer Erhöhung der Silagekosten um 20% aus, so wäre eine Biogasproduktion nur für die Variante „Grünland ungedüngt“ im Vergleich zu Grassilage günstiger. Bei der Bewertung der Ausgleichszahlungshöhe ist weiterhin zu beachten, dass es sich bei den berechneten Bereitstellungskosten der unterschiedlichen Grassilagen aus der Pflege des Freisinger Mooses um eine reine Kostenrechnung handelt. Würde ein Landwirt Substrate mit diesen Preisen veräußern, so würde kein Gewinn erzielt werden.

Neu errichtete TNS®-Trockenfermentationsanlage

Im Folgenden wird die Verwertungsvariante analysiert, bei der eine Trockenfermentationsanlage mit TNS®-Technologie eigens für die Verwertung des Pflegegrases aus dem Freisinger Moos errichtet und ausschließlich mit diesem Substrat betrieben wird. Die Anlage ist für den Leistungsbereich von 500kW_{el} konzipiert, das BHKW hat einen Wirkungsgrad von η_{el} 38%. Anders als in der voran gegangenen Betrachtung werden die Festkosten für das Silo von den Bereitstellungskosten der Substrate abgezogen, da in direkter Nähe zur Biogasanlage Siloplatten neu errichtet und diese Kosten damit zu den Investitionskosten der Anlage gerechnet werden. Die Berechnungen erfolgen nach IE (2006). Die Bereitstellungskosten für die jeweilige Silage werden in Bezug auf die unterschiedlichen Entfernungsvarianten analog zum vorher gehenden Abschnitt als Mischkosten berechnet. Auch die unterschiedlichen Gaserträge fließen anteilig in die Gesamtkalkulation ein. Die für eine Nutzung zur Verfügung stehenden Silagemengen sind in Tabelle 4-13 aufgeführt.

Tabelle 4-13 Aus dem Freisinger Moos zur Verfügung stehende Silagemengen

Flächentyp	Kennung	Grasmasse gesamt t/a	Masse Anwelkgut t/a	Masse Silage t/a bei 10% Verlust
gut mechanisierbares Grünland				
mit Gülle-Düngung	Dü	15.600	12.480	11.232
ohne Düngung	oDü	2.400	1.920	1.728
Wiesen im Kerngebiet, mittleres Gerät	Kern	563	488	439
kl. Wiesen, Mahd und Bergung z.T. mit Hand	klW	140	112	101
Summe		18.703	15.000	13.500

Da die vier Grassilagen deutliche Unterschiede in Bezug auf Gasertrag und Kosten aufweisen, wurden Wirtschaftlichkeitsanalysen für unterschiedliche Kombinationen von Grassilagen berechnet. Für jede Variante wurden die Ergebnisse für eine Wärmenutzung von 1%, 20%, 50% und 100% ermittelt. Da es sich um eine Trockenfermentationsanlage handelt, kann nach gültigem EEG der Technologiebonus gewährt werden, allerdings nur dann, wenn eine Wärmenutzung gegeben ist. Unabhängig davon wird für alle Anlagen der NawaRo-Bonus gewährt. Um die Auswirkungen auf das wirtschaftliche Ergebnis der Biogasanlage bei höheren Substratkosten abschätzen zu können, wurden die im Rahmen dieses Projektes besonders relevanten Substratmischungen zusätzlich mit einer Kostensteigerung von 10% und 20% versehen. In Abbildung 4-19 sind die Stromgestehungskosten bei unterschiedlichem Substrateinsatz und die Erlöshöhe bei variiertem Ausmaß der Wärmenutzung dargestellt. In allen Fällen ist neben der Zahlung des KWK-Bonus eine zusätzliche Wärmevergütung von 2 Cent/kWh vorgegeben.

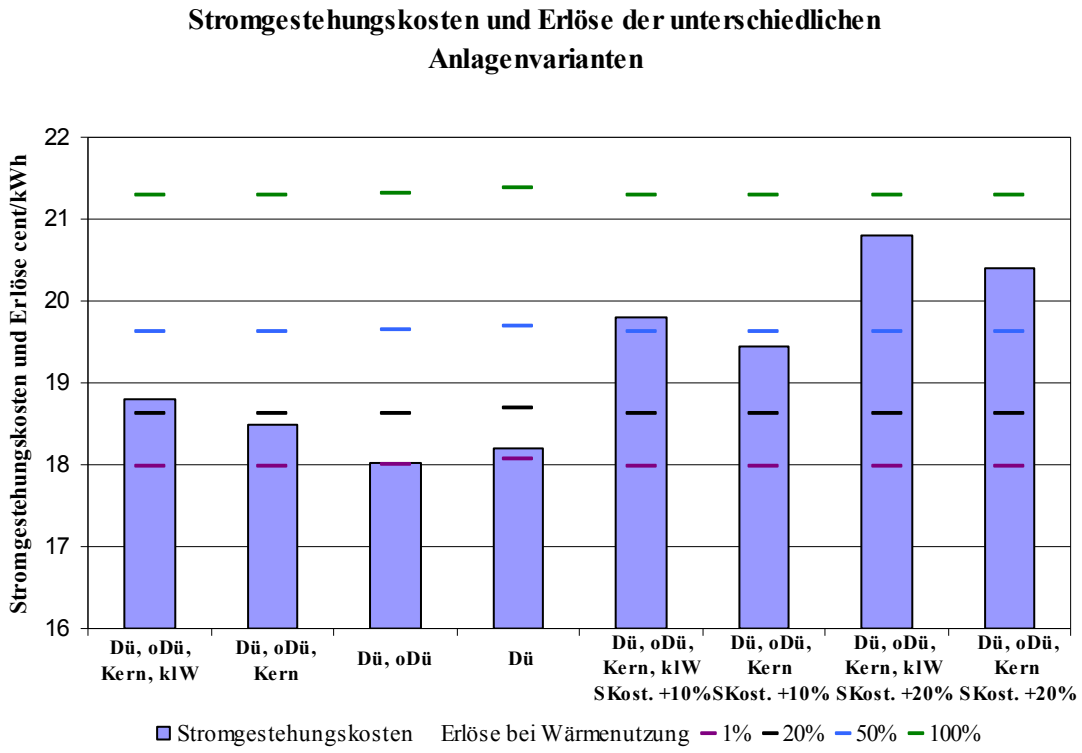

Abbildung 4-19 Stromgestehungskosten und Erlöse der TNS®-Biogasanlage

Aus Abbildung 4-19 ist zu ersehen, dass die Verwendung der Silagen der Flächen „kleine Wiesen“ und „Kerngebiet“ im Vergleich zu den übrigen Varianten einen negativen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben. Die geringsten Stromgestehungskosten ergeben sich aus der Nutzung des Grases der gedüngten und ungedüngten Flächen mit landwirtschaftlicher Struktur. Keine der Anlagen kann trotz Gewährung von Technologie- und NawaRo-Bonus bei einer geringen Wärmenutzung wirtschaftlich betrieben werden. Dies ist erst durch höhere Erlöse aus einer verstärkten Wärmenutzung möglich. Beachtet man den Zeitraum von 20 Jahren, der der Wirtschaftlichkeitsberechnung zugrunde liegt, so muss von einer Steigerung der Silagekosten z.B. durch eine Erhöhung von Treibstoff- und Lohnkosten ausgegangen werden. Sollen dann Grasaufwüchse von „klassischen“ Naturschutzflächen in der Biogasanlage verwertet werden, so können durchaus die Voraussetzungen gegeben sein, welche den Berechnungsergebnissen in der rechten Hälfte der Abbildung 4-19 zugrunde liegen. Hier zeigt sich, dass die Biogasanlage nur bei einer hohen Wärmenutzung von knapp unter bis deutlich über 50% in der Gewinnzone liegt. Damit nimmt die Wärmenutzung eine zentrale Rolle bei diesem Verwertungsweg ein und stellt gleichzeitig sehr hohe Anforderungen an die Standortwahl, da die Anbindung zu einem Wärmenutzer erforderlich ist, der im wärmeren Halbjahr und möglichst auch in den Sommermonaten ausreichend Wärme benötigt.

Weiterhin ist bei allen Betrachtungsvarianten zu betonen, dass die Silage unter Beachtung eines Stundenlohnes kostenneutral zur Verfügung gestellt ist. Es ist im Einzelfall

zu klären, in wieweit ein Landwirt höhere Kosten für die Bereitstellung der unterschiedlichen Silagen veranschlagt, wodurch das Ergebnis der Biogasanlage sehr leicht negativ ausfallen kann. Unabhängig von diesem Aspekt werden im Folgenden die erforderlichen Ausgleichszahlungen (i.F.v. Fehlbeträgen) pro Hektar aufgeführt, die für den Biogasanlagenbetrieb mit einem ausgeglichenen Jahresergebnis erforderlich wären. Dabei werden die Wärmenutzungsstufen 1, 20 und 50% betrachtet.

Tabelle 4-14 Fehlbeträge zum Erreichen eines ausgeglichenen Jahresergebnisses der Biogasanlage

Silagetyp	Wärme-nutzung	Fehlbe-trag/ha	Silagetyp	Wärme-nutzung	Fehlbe-trag/ha
Dü, oDÜ, Kern, klW	1%	-32	Dü, oDÜ, Kern, klW Skost +10%	1%	-70
Dü, oDÜ, Kern	1%	-20	Dü, oDÜ, Kern Skost +10%	1%	-59
Dü, odü	1%	-2	Dü, oDÜ, Kern, klW Skost +10%	20%	-46
Dü	1%	-8	Dü, oDÜ, Kern Skost +10%	20%	-33
Dü, oDÜ, Kern, klW	20%	-7	Dü, oDÜ, Kern, klW Skost +10%	50%	-7
Dü, oDÜ, Kern	20%	0	Dü, oDÜ, Kern Skost +10%	50%	0
Dü, odü	20%	0	Dü, oDÜ, Kern, klW Skost +20%	1%	-109
Dü	20%	0	Dü, oDÜ, Kern Skost +20%	1%	-97
Dü, oDÜ, Kern, klW	50%	0	Dü, oDÜ, Kern, klW Skost +20%	20%	-84
Dü, oDÜ, Kern	50%	0	Dü, oDÜ, Kern Skost +20%	20%	-71
Dü, odü	50%	0	Dü, oDÜ, Kern, klW Skost +20%	50%	-45
Dü	50%	0	Dü, oDÜ, Kern Skost +20%	50%	-31

Anhand der aufgeführten Fehlbeträge zum Erreichen eines ausgeglichenen Jahresergebnisses ist zu erkennen, dass auch im Falle einer Substratkostensteigerung um 20% die Nutzung des Grases in einer Biogasanlage mit entsprechenden Ausgleichszahlungen kostengünstiger ist als die Finanzierung der Flächenpflege über den Vertragsnaturschutz. Es sind jedoch folgende Aspekte zu beachten:

- Die Silage wird bei den vorgenommenen Berechnungen, abgesehen von einem Lohnanteil, ohne weiteren Gewinn zur Verfügung gestellt.
- Sollten die Landwirte deutlich geringere Pflegevergütungen erhalten als die durch den Vertragsnaturschutz und das KULAP-Programm geleisteten, so kann die Gefahr der Wiederaufnahme von Flächennutzung durch landwirtschaftliche Kulturen bestehen, wenn über diesen Weg höhere Gewinne zu erzielen sind.
- Ein Standortkonzept mit einem hohen Grad an Wärmenutzung von mindestens 50% kann für alle Anlagen als erforderlich bezeichnet werden. Den Berechnungen liegt ein Wärmeverkaufspreis von 2 Cent/kWh zugrunde. Es kann als fraglich bewertet werden, ob ein entsprechendes Konzept zu realisieren wäre.
- Die Finanzierung des Anlagenbaus dürfte vermutlich nur mit öffentlichen Mittel oder mit Hilfe von Bürgschaften der öffentlichen Hand durchführbar sein. Die Bereitschaft eines privaten Investors eine entsprechende Biogasanlage zu finanzieren kann als unwahrscheinlich bezeichnet werden.

4.5 Diepholzer Moorniederung (Grünschnitt)

4.5.1 Detaillierte Standortbeschreibung

Mit ca. 24.000 ha Hochmoore, ca. 15.000 ha Feuchtgebieten internationaler Bedeutung und ca. 30.000 ha sonstiger naturschutzwürdiger Flächen ist der Großraum der Diepholzer Moorniederung eine der größten zusammen hängenden Moor- und Feuchtgrünlandflächen Niedersachsens.

Insbesondere die ausgedehnten, zum großen Teil abgetorften und degenerierten Hochmoorflächen sowie die Nass- und Feuchtwiesen sind auf die regelmäßige Entnahme von Biomasse angewiesen, um ihre besondere Naturschutzfunktion zu erhalten (vgl. Abbildung 4-20).

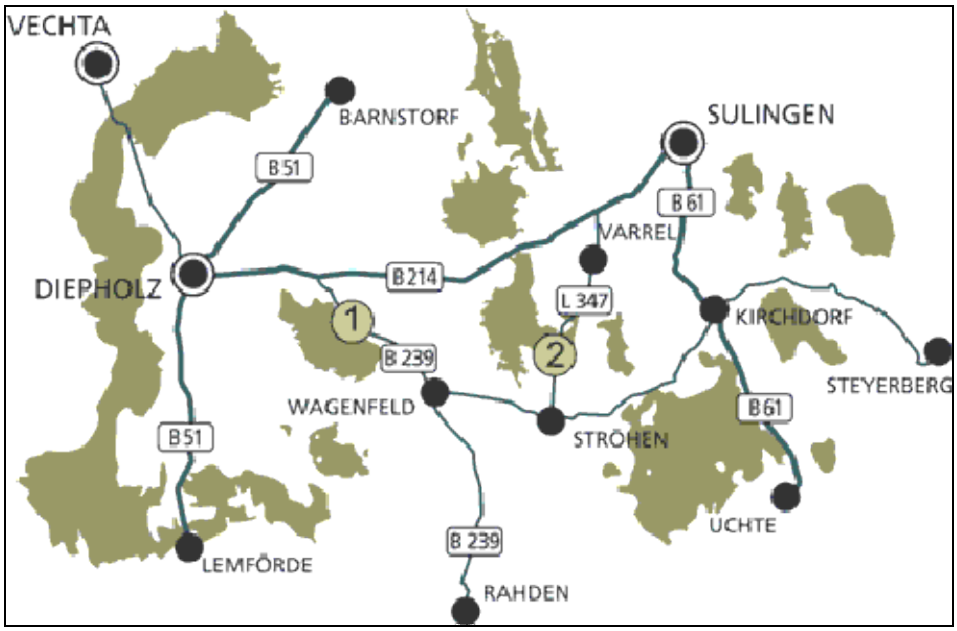

Abbildung 4-20 Verteilung der Moore in der Diepholzer Moorniederung

Quelle: BUND Niedersachsen

Neben den naturschutzwürdigen Flächen ist das Gebiet durchzogen von ausgedehnten Grabensystemen zur Entwässerung der landwirtschaftlich genutzten Flächen. Auch diese Gewässer bedürfen der regelmäßigen Pflege, so dass hier ebenfalls große Mengen Biomasse anfallen, deren energetische Verwertung zu prüfen ist.

In der Gemeinde Wagenfeld, im Zentrum der Diepholzer Moorniederung, wird bereits an der Konzeption für eine energetische Bomassenutzung gearbeitet, die insbesondere auf die Nutzung von Anbaubiomasse und Gülle sowie Waldrestholz und Grünschnitt aus der Gewässerunterhaltung ausgerichtet sein soll. Biomasse aus der Pflege von Biotopflächen spielt hierbei bisher nur eine untergeordnete Rolle. Dieses mag vor allem daran liegen, dass die Pflege der Naturschutzflächen derzeit insbesondere durch Schaf-

beweidung erfolgt und die Biomassepotenziale damit aktuell nur teilweise für eine energetische Nutzung zur Verfügung stehen. Die bestehenden Pflegeverträge, aus denen die Beweidung zum großen Teil gewährleistet wird, werden aus Mitteln des Kreises und des Landes finanziert und zum großen Teil durch den BUND abgewickelt, der im Rahmen des niedersächsischen Moorschutzprogramms die Pflege eines Großteils der Moorflächen in der Diepholzer Moorniederung koordiniert. Daneben sind für einen großen Teil der unter Naturschutz stehenden Feucht- und Nasswiesen die unteren Naturschutzbehörden der einzelnen Landkreise zuständig.

Die Unterhaltung und Pflege der Gräben in der Diepholzer Moorniederung wird durch mehrere Wasser- und Bodenverbände getragen, deren Zuständigkeitsgebiet nach dem Verlauf der zentralen Fließgewässer abgegrenzt sind und zum Teil weit über das Gebiet der Diepholzer Moorniederung hinausgehen.

Ausgehend von der im Zentrum der Diepholzer Moorniederung liegenden Gemeinde Wagenfeld, in deren Gemeindegebiet nach den derzeitigen Plänen der örtlichen Akteure die zukünftigen Einrichtungen für die energetische Biomassenutzung angesiedelt werden sollen, erstrecken sich die potenziell energetisch nutzbaren Biotopflächen in einem Umkreis von bis zu 50 Kilometern und reicht von den Weserniederungen im Osten bis hin zur Dümmerregion im Westen. Das Gebiet umfasst Teile der niedersächsischen Landkreise Diepholz, Vechta sowie Nienburg/Weser und dehnt sich im Süden auch auf Teile des nordrhein-westfälischen Kreises Minden-Lübbecke aus.

4.5.2 Potenzialanalyse

Da bereits aus der Grobanalyse deutlich geworden ist, dass in der Diepholzer Moorniederung ein Konzept für eine energetische Nutzung der aus der Landschaftspflege anfallenden Biomasse nur tragfähig werden kann, wenn es gelingt, die Biomasseströme aus verschiedenen Quellen zusammenzuführen, wurde die Potenzialanalyse von vorn herein breiter angelegt und neben den eigentlichen Moorflächen auch die Feuchtwiesen, Grabenränder, die Röhrichte des Dümmer sowie zusätzlich die Straßenränder in die Erhebung einbezogen. Dabei war klar, dass bei der Vielfalt der einzubeziehenden Flächentypen angesichts der für den Standort zur Verfügung stehenden Personalressourcen nur eine vergleichsweise grobe Erhebung möglich sein würde.

Im Rahmen dieser groben Potenzialabschätzung sollte zunächst festgestellt werden, welche Biomassetypen (holzig, krautig, halmgutartig) in welcher Größenordnung (Flächenumfang) und Qualität (trocken, feucht) anfallen. Dazu wurde eine Befragung der zuständigen Naturschutzbehörden, Wasser- und Bodenverbände sowie der Naturschutzverbände durchgeführt. So sollten die Biomassepotenziale aus der Pflege der jeweils in ihrer Zuständigkeit liegenden Grünlandflächen, Gewässerränder und Gehölze ermittelt werden.

Die entsprechenden Informationen sollten soweit verfügbar in die nachfolgende Tabelle eingetragen werden. Sofern die gefragten Informationen nicht vorliegen, sollten Hinweise auf mögliche Informationsquellen gegeben werden. Die Fragen wurden erläutert

und die Tabelle von den Akteuren alleine und zum Teil im Gespräch mit den Akteuren ausgefüllt (Tabelle 4-15).

Erläuterung der Abfrage

In der ersten Spalte (**Zu pflegende Flächen/Strukturen/Biotope)** sollten den Typen Grünland, Gräben, Moorflächen und Hecken/Gebüsche eine möglichst flächenscharfe Bezeichnung der Gebiete eingetragen werden, auf die sich die nachfolgenden Angaben beziehen. Das können einzelne Parzellen aber auch mehrere Flächen gleicher Art in einem bestimmten Gebiet sein.

In der zweiten Spalte (**Größe der Flächen)** war als Voraussetzung für die Bestimmung des Mengenpotenzials der Umfang der Fläche bzw. der Flächen gefragt.

Bezüglich der **Art der anfallenden Biomasse** waren zunächst die Kategorien Gras, Kraut, Holz oder Gemische aus diesen gefragt.

Falls bereits bekannt, sollten in der vierten Spalte auch die **Mengen der anfallenden Biomassen** angegeben oder abgeschätzt werden. Dabei konnten hilfsweise auch Eigenschaften der Standorte angegeben werden, aus denen auf die anfallenden Mengen geschlossen werden kann.

Wichtig für die Qualität der Biomasse und die damit verbundenen Nutzungsoptionen ist die Schnitthäufigkeit und der Zeitpunkt zu dem die Pflegemaßnahmen erfolgen sowie deren Flexibilität. Daher waren in der fünften Spalte entsprechende Angaben gefragt.

Als Grundlage für die Abschätzung der Energiegehalte der Biomassen wurden in Spalte 6 **(Qualität des Mähguts)** zunächst die generellen Eigenschaften wie trocken oder feucht und darüber hinaus Besonderheiten wie die Durchsetzung mit Fremdmaterialien oder Ähnliches abgefragt.

Als Voraussetzung für die geplante Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde in der folgenden Spalte **Mähtechnik, Transport und Verbleib des Mähgutes** danach gefragt, unter welchem technischen Einsatz die Flächen bisher gepflegt wurden und was mit dem Mähgut geschieht. Wichtig zu wissen ist, ob eine Weiterbehandlung stattfindet und wie und wohin der Abtransport erfolgt.

Um die Zuverlässigkeit der Verfügbarkeit der Biomassen einschätzen zu können und das Zusammenwirken der verschiedenen Akteure zu erfassen, wurde weiter nach der **Zuständigkeit und den vertraglichen Rahmenbedingungen** für die Pflege der Flächen gefragt. Diese betreffen sowohl die Pflegemaßnahmen als auch ggf. den Abtransport und die Verwertung des Materials. Es sollte ermittelt werden, wer in welchem Auftrag und unter welchen Bedingungen handelt.

Die Ergebnisse der Befragung sind in der nachfolgende Tabelle 4-15 dargestellt.

Tabelle 4-15: Ergebnisse der Abfrage der geschätzten Biomassepotenziale in der Diepholzer Moorniederung

Zu pflegende Flächen/ Strukturen/Biotope	Größe der Flächen (ca.)	Art der Biomasse	Menge der Biomasse	Zeitpunkt der Mahd	Qualität des Mähguts	Mähtechnik, Transport, Verbleib des Mähgutes	Zuständigkeit, vertragl. Bedingungen	Quelle
Grünland								
Aue-Altarm, Ströhen	1,5-3 ha	Gras, Kraut	ca. 5 t/ha	Juni und September	trocken-feucht	Niederdruckbereifung, Doppelmesser, Abtransport	Vertragsnaturschutz, Vergabe an Lohnunternehmer	Stiftung Naturschutz
Ehrenburger Moor	0,5-4 ha	Gras, Kraut	3 – 5 t/ha	Juni und September	trocken-feucht	Einachsballkenmäher, Niederdruckbereifung, Doppelmesser, Abtransport	Eigentumsflächen, Vertragsnaturschutz, Vergabe an Lohnunternehmer	Stiftung Naturschutz
Gewässerrandstreifen	47,5 ha	Gras, Kraut	100 t TM	Juli	feucht	Schlegeln, verbleibt auf GWR		ULV Gr. Aue
	3 ha	Gras, Heu	extensiv	Juni bis September	trocken	Pferde	verpachtet	Unterhaltungsverband Hunte
	4 ha	Grünbrache	extensiv	August	trocken	Verrottung	verpachte	Unterhaltungsverband Hunte
	446 ha	Gras	75-125 t/a					Teerling
Gräben, Grabenränder								
Gewässerrandstreifen	29,6 ha	Gras, Kraut	2220 m^3/a	ab August	trocken-feucht, je nach Bergung	Bleibt vor Ort zum Vergehen	keine	Mittelweserverband
Mähboot		Kraut	750 m^3/a	ab September	feucht	Abtransport	Landw. Verwertung	Mittelweserverband
Gewässer II. Ordnung	608 km -> 304 ha	Gras, Kraut	ca. 1200-1500 t TM	Juni bis November	feucht, al	Mähen, Schlegeln, verbleibt auf der Fläche	gesetzlicher Auftrag	ULV Gr. Aue
Gewässersohle, aquatisch	52 ha	Wasserpflanzen	ca. 800 m^3/a	Juni bis Oktober	nass	Kompostierung		Unterhaltungsverband Hunte
Böschungen, Randstreifen	50 ha	Gras, Schilf		Juni bis November	Nass / trocken	Verrottung		Unterhaltungsverband Hunte
Moorflächen								
Grünschnittgut	50-100 ha	Gras, Kraut	3-4 t/ha					BUND
Grünschnittgut	5-10 ha	Gras, Kraut	1-2 t/ha					BUND
Holzhackschnitzel			50-100 SRM	Winter				BUND
Hecken/Gebüsche								
Anpflanzungen	5-10 km 2-3-reihige Gehölze	Hackschnitzel				auf den Stock setzen, Heizung		ULV Gr. Aue
Böschungen	12 km	Gehölze	ca. 80 m^3/a	Dezember bis Februar		Holzhäcksel	Kompostierung	Unterhaltungsverband Hunte
Sonstige								
Größere Gewässer		Wasserpflanzen	100 t TM	Juli bis Oktober	Nass, frisch	Mähboot, mähen, Flächenkompostierung LW	gesetzlicher Auftrag	ULV Gr. Aue

Erfahrungen aus der Potenzialerhebung

Im Gespräch mit den Akteuren wurde deutlich, dass zwar gewisse Informationen über die Qualität und Menge bestimmter Biomassen aus der Landschaftspflege vorliegen, diese häufig aber nicht flächenscharf zugeordnet werden können. Dieses hat zur Folge, dass die energetisch nutzbaren Potenziale aus den vorliegenden Informationen nicht so exakt abgeleitet werden können, dass sie für die Erarbeitung eines Energienutzungskonzeptes herangezogen werden können.

Das gilt insbesondere für die Biomassen aus der Gewässerunterhaltung, die für das Gebiet der Diepholzer Moorniederung den weitaus größten Anteil am Gesamtpotenzial ausmachen. Da sich die Gebiete der Wasser- und Bodenverbände, die für die Pflege der Gewässerränder zuständig sind, zum Teil weit über das eigentliche Gebiet der Diepholzer Moorniederung ausdehnen, ist es nicht ohne weiteres möglich, die für den gesamten Verband vorliegenden Mengenangaben der anfallenden Biomasse auf ein für eine energetische Nutzung sinnvolles Einzugsgebiet herunter zu brechen.

Hinzu kommt, dass aufgrund der auf Seiten der einzelnen Akteure bisher nicht systematisch erfolgten Erhebungen von den zuständigen Stellen nur sehr grobe Angaben über die Qualität der anfallenden Biomasse gemacht werden können, so dass die optimalen technischen Möglichkeiten der energetischen Verwertung nicht ermittelt werden können.

Als Ergebnis der Befragung ist der mögliche Biomassebeitrag zur energetischen Nutzung aus den zu pflegenden Moor- und Grünlandflächen im Vergleich zu denen aus der Gewässerunterhaltung entgegen den ursprünglichen Erwartungen nur sehr gering und fast zu vernachlässigen. Das mag jedoch in diesem konkreten Fall auch daran liegen, dass die befragten Institutionen nicht über die entsprechend aggregierten Informationen zu den Mengen der Biotoppflegereste verfügen.

Da die Ergebnisse der Potenzialanalyse am Beispielstandort Diepholzer Moorniederung nicht detailliert genug erhoben werden konnten, wird auf eine weitere Betrachtung möglicher Verwertungstechniken sowie eine Wirtschaftlichkeitsanalyse verzichtet.

4.6 Treibhausgas-Bilanz/Stoffstromanalyse

Da Landschaftspflegereste häufig nur geringe Erträge erbringen und in die zu pflegenden Flächen häufig zerstreut oder entfernt von möglichen Energieanlagen liegen, muss hinterfragt werden, bei welchem Aufwand Bergung, Abtransport und energetische Nutzung mit einer Einsparung von Treibhausgasen einhergehen.

Hierfür werden die beiden Biomasseströme Holz und Grünschnitt getrennt betrachtet. Weitere Aspekte, wie etwa Feinstaub durch Holzverbrennung oder Schadstoffeinträge in Böden durch Gärrestausbringung werden hier nicht berücksichtigt. Da Landschaftspflegereste in der Regel weder von kontaminierten Flächen stammen noch mit Chemikalien oder Fremdstoffen versetzt werden, ist bei einer Nutzung dieser Biomassen keine Schadstoffanreichung zu erwarten. Fragen der Luftreinhaltung müssen dagegen für die Biomassenutzung im Allgemeinen geregelt werden.

4.6.1 Holzschnitt

Eine Treibhausgasbilanz wird beispielhaft für Holz aus der Wallheckenpflege in Ostfriesland erstellt, da es sich hierbei um ein wirtschaftlich realisierbares Potenzial handelt. Es wird der betriebsmittelintensivere Pfad der maschinellen Holzernte mit Bagger und Habbigschere betrachtet. Die Nutzungsoptionen sind die Verbrennung der Hackschnitzel in einem Heizkraftwerk, in einem Heizwerk und in dezentralen Holzheizungen.

Die Gesamtbilanz zeigt, dass alle Nutzungsoptionen Treibhausgase einsparen, vergleiche Abbildung 4-21. Eine reine Wärmenutzung im Heizwerk oder eine dezentrale Holzheizung emittiert nur rund 22 % der CO_2-Äquivalente einer Erdgasheizung. Bei der Stromerzeugung im Heizkraftwerk wird gegenüber dem durchschnittlichen Netzstrom knapp Hälfte der Treibhausgase eingespart[13]. Wird auch die Wärme in ein Nahwärmenetz eingespeist, kann hierfür eine Gutschrift[14] angerechnet werden. Für diesen Fall ist die eingesparte Masse an Treibhausgasen um den Faktor 4 größer als die Emissionen aus den fossilen Vergleichsprozessen (Erdgasheizung und Netzstrom).

[13] Bei dieser Betrachtung werden alle Aufwendungen der Stromerzeugung angerechnet, die Wärmenutzung wird nicht berücksichtigt, sog. Bruttobilanzierung.

[14] Hierfür werden zusätzlich die Treibhausgasemissionen einer Erdgasheizung gutgeschrieben.

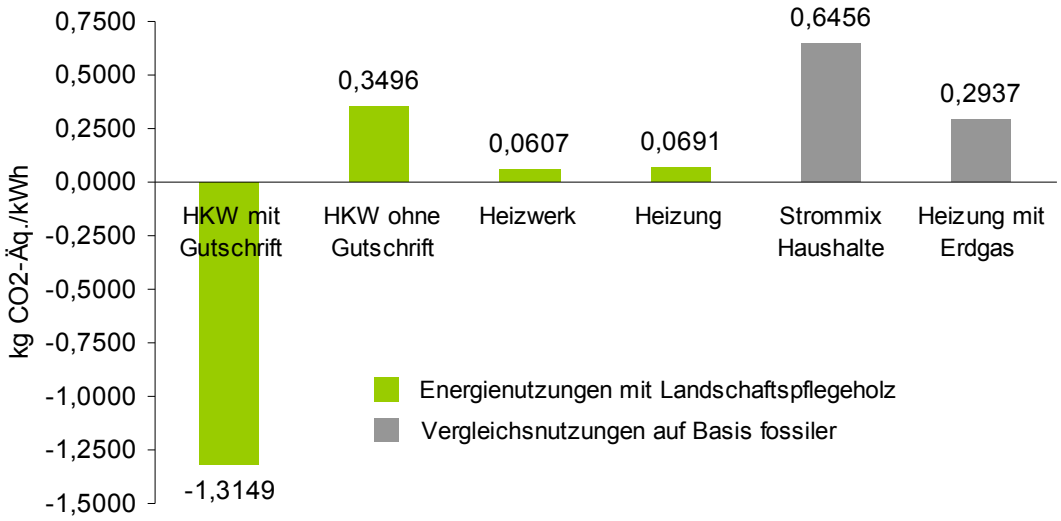

Abbildung 4-21: Treibhausgasemissionen für Energienutzungen mit Landschaftspflegeholz aus der Wallheckenpflege im Vergleich mit fossilen Energien

Die angerechneten Treibhausgasemissionen der Bioenergienutzung stammen aus den Aufwendungen für die Hackschnitzelbereitstellung. Dabei verteilen sich die Emissionen Aufwendungen (Primärenergie) wie folgt auf die einzelnen Prozessschritte (spezifischer Dieselbedarf pro Brennwert der Holzhackschnitzel):

Tabelle 4-16 Kumulierter Primärenergieaufwand und Treibhausgasemissionen der einzelnen Prozessschritte der Bereitstellung von Hackschnitzeln aus dem Wallheckenschnitt

Arbeitsschritt	**KEV nicht-erneuerbar* kWh/kWh Heizwert**	**Treibhausgasemissionen Kg/kWh Heizwert**
Heckenschnitt	0,104	0,029
Hacken	0,022	0,007
Transporte**	0,020	0,005

** KEV = kumulierter Energieverbrauch **Transporte ins Zwischenlanger und zum Heizwerk*

Der Heckenschnitt müsste dabei gar nicht extra angerechnet werden, da die Hecken aus Naturschutzgründen und nicht zur Energienutzung auf den Stock gesetzt werden. Die Hackschnitzelerzeugung und der Abtransport finden dagegen zu Zwecken der Energienutzung statt und sollten dieser daher auch angerechnet werden.

4.6.2 Grünschnitt – eine allgemeine Betrachtung

Nach den Erkenntnissen aus Kapitel 4.2 ist die Grünschnittnutzung weitaus schwieriger zu wirtschaftlichen Bedingungen zu realisieren als die Nutzung von Holz. Außerdem liegen für die hier betrachtete Trockenfermentation nur wenige Herstellerangaben vor, so dass hier auf eine anlagenspezifische Bilanzierung der Treibhausgase verzichtet wird.

Für die Grasnutzung müssen ebenfalls die Ernte und die Entnahme des Mähgutes von der Fläche von der Bilanzierung ausgenommen werden. Daher ist nur der Transportaufwand und der damit verbundene Energiebedarf der energetischen Nutzung gegenüber zu stellen. Diesbezüglich wird in IFEU (2006) ausgeführt, dass selbst bei einer geringen spezifischen Biogasausbeute eine Transportentfernung von mehr als 250 km möglich ist, ohne dass die Energiebilanz sowie die CO_2-Bilanz negativ würden[15]. Damit wird deutlich, dass die Nutzung des Grünschnitts bisher an der Wirtschaftlichkeit, nicht aber an der Umweltverträglichkeit scheitert.

[15] Eine genauere Bilanzierung ist aufgrund der fehlenden Daten zu Trockenfermentationsanlagen nach dem TNS®-Verfahren nicht möglich. Die erforderlichen Daten sind weder in GEMIS verfügbar noch werden sie von Hersteller zur Verfügung gestellt.

5 Diskussion der Ergebnisse und Empfehlungen

5.1 Herausforderungen bei der energetischen Nutzung von Biomasse aus der Biotoppflege

Sowohl von Seiten der Naturschutz-Vertreter (Verbände, Verwaltung) als auch von Seiten der Bioenergie-Vertreter besteht großes Interesse an der energetischen Nutzung von Biomasse aus der Biotop- und Landschaftspflege. Die ersteren erhoffen sich aus dem Verkauf der erzeugten Energie eine zusätzliche Einnahmequelle, durch deren Erlöse die Kosten für die Biotoppflege gesenkt werden können. Die Energiewirtschaft erhofft sich die kostengünstige Erschließung bisher noch brachliegender Bioenergiepotenziale, durch deren Nutzung zusätzliche CO_2-Mengen eingespart werden könnten.

Bei den zu pflegenden Biotop- und Kulturlandschaftsflächen handelt es sich im Vergleich zu durchschnittlichen Ackerflächen zum gezielten Anbau von Energiepflanzen um in der Regel verhältnismäßig kleine Flächen. Entsprechend fällt das Material aus der Biotop- und Landschaftspflege in homogenen Fraktionen vorrangig in verhältnismäßig kleinen Mengen an.

Das in der Biotoppflege anfallende Material ist also in der Regel wesentlich inhomogener als z.B. eigens zur energetischen Nutzung angebaute Biomasse. Das gilt für die vorwiegend holzigen Biotoppflegematerialien aber besonders für die krautigen und halmgutartigen Materialien.

Darüber hinaus ist der Zeitpunkt der Biomasseentnahme und damit verbunden die Qualität der Biomasse nicht auf eine Optimierung der Biogaserträge ausgerichtet sondern nach den Zielen des Naturschutzes und der Landschaftspflege. Dieses hat zur Folge, dass der aus der Biomasse zu erzielende Energieertrag zumeist geringer ist als bei Anbaubiomassen. Weiterhin sind auch die Flächenerträge geringer als beim gezielten Biomasseanbau, wodurch der Flächenenergieertrag niedrig und die Produktionskosten pro Substarteinheit hoch sind.

Aus diesen spezifischen Eigenschaften der aus der Biotop- und Landschaftspflege anfallenden Biomasse resultieren einige grundlegende Herausforderungen, die es für eine angepasste und wirtschaftlich tragfähige energetische Nutzung zu bewältigen gilt:

- angemessene und angepasste Techniken zur energetischen Verwertung der unterschiedlichen Materialien
- organisatorische Bewältigung des Zusammenführens der Biomasseströme aus mitunter vielfältigen Quellen zu einer Nutzung
- angepasste Logistik zur nutzungsgerechten Bergung, Lagerung und Transport der von unterschiedlichen Flächen zusammenzuführenden Materialien
- Wirtschaftlichkeit des Gesamtkonzeptes zur energetischen Verwertung der Biomassen (Energietechnik und Logistik)

5.1.1 Potenzialanalyse

Im Zuge der Potenzialermittlung der Biomasse zur energetischen Nutzung sollten von vorn herein nicht nur die Materialien aus der Biotoppflege einbezogen werden, sondern es sollten auch Landschaftspflegematerial (Gewässerunterhaltung, Straßenränder, kommunaler Grünschnitt) sowie ggf. nachwachsende Rohstoffe aus der Landwirtschaft beachtet werden, welche im lokalen Umfeld ggf. zu erschließen sind.

Da die Daten zur Bestimmung der möglichen Biomassepotenziale bei den verschiedenen zuständigen Stellen häufig nicht in der erforderlichen Qualität vorliegen, ist es ratsam, zunächst eine Vorabschätzung auf der Basis von vorhandenen Biotopkartierungen und sonstigen Datengrundlagen durchzuführen. Der Nachteil dieses Vorgehens besteht darin, dass das theoretische Potenzial zwar grob hochgerechnet, über die tatsächliche Verfügbarkeit aber nichts ausgesagt werden kann.

Die Potenzialermittlung kann genauer erfolgen, wenn bereits Interesse in der Region besteht. Da eine genaue Potenzialermittlung für die zuständigen Stellen häufig mit einem gewissen Aufwand verbunden ist, ist es hilfreich, wenn die beteiligten Akteure von der Idee des angestrebten Energienutzungskonzeptes überzeugt werden können.

Da die Biomasse aus der Biotop- und Landschaftspflege großen Ertrags- und Qualitätsschwankungen unterliegt, ist die Berücksichtigung von Reservepotenzialen erforderlich, die bei Bedarf auf dem Markt zugekauft werden können.

5.1.2 Verwertungstechnik (Konversion und Energienutzung)

Die thermische **Verwertung von Holz** in Verbrennungsanlagen unterschiedlicher Leistungsklassen ist inzwischen Stand der Technik. Viele Beispiele zeigen, dass die Verwertung von Holzschnitt aus der Landschaftspflege praktikabel ist und wirtschaftlich sein kann. Dies gilt insbesondere für die Heckenpflege mit dem prominenten Beispiel der Schleswig-Holsteinischen Knicks. Eingedenk bereits mittelfristig zu erwartender weiterer Preissteigerungen bei Holzhackschnitzeln und Pellets, ist auch ohne eine weitere Förderung der Technologieentwicklung mit einem Ausbau der Holznutzung aus der Landschaftspflege zu rechnen.

Die energetische **Verwertung von krautigen und halmgutartigen Biomassen** aus der Landschaftspflege gestaltet sich dagegen deutlich schwieriger. Als Nutzungspfade kommen prinzipiell die Biogaserzeugung und die Verbrennung in Frage, doch beide sind mit Problemen behaftet:

Die Biogasnutzung ist technisch möglich, sofern das Substrat für eine Nassfermentation zerkleinert wird oder einer Trockenfermentation zugeführt wird. Doch sorgen vergleichsweise geringe Gaserträge kombiniert mit hohen Substratkosten für Probleme bei einem wirtschaftlichen Betrieb der Anlage. Dies gilt sowohl für die Nass- als auch für die Trockenvergärung.

Mitnutzung in Biogasanlagen ist grundsätzlich technisch möglich. Aufgrund der gegenüber anderen Anbaubiomassen (NawaRo) geringeren spezifischen Gaserträge, senkt die

Mitvergärung von Grünschnitt aus der Biotop- und Landschaftspflege gegenüber der reinen Nutzung von Anbaubiomasse die möglichen Gaserträge der Anlagen. Die Mitnutzung in einer bestehenden NawaRo-Anlage kommt vor allem dann in Frage, wenn die Biomassen kostenfrei zur Verfügung gestellt werden können. Hierbei treten allerdings keine finanziellen Vorteile für die Biotoppflege auf, da keine Einnahmen aus der energetischen Nutzung des Grases generiert werden können.

Die thermische Verwertung von Grünschnitt entspricht dagegen aufgrund verschiedener technischer Probleme bisher noch nicht dem Stand der Technik. Der hohe Halogengehalt der Substrate führt zu einer Verschlackung im Brennraum und zu sauren Emissionen, die zur Korrosion der Anlagenbauteile führen können. Ein weiteres Problem sind die hohen Staubemissionen bei der Verbrennung. Technische Lösungen wie eine aufwändige Rauchgasreinigung oder die Verarbeitung inerter Materialien treiben dagegen die Investitionskosten in die Höhe und lassen zu heutigen Bedingungen zumindest bei kleinen Anlagen keinen wirtschaftlichen Betrieb zu.

Da die Verbrennung halmgutartiger Biomasse nicht Stand der Technik ist, müssen im Einzelfall angepasste Lösungen als Pilotanlagen entwickelt werden, die die bekannten technischen Probleme der Verbrennung halmgutartiger Biomassen angemessen bewältigen.

Eine Alternative zur bestehenden Technik könnten Mischverfahren darstellen, die eine Presssaftvergärung und anschließende Presskuchenverbrennung vorsehen. Da die Landschaftspflegereste oft geborgen werden, um eine Aushagerung der Flächen zu erreichen, besteht auch durch die Presskuchenverbrennung kein Konflikt zur Kreislaufführung von Nährstoffen und organischer Substanz, wie im Bereich der Anbaubiomasse. Ein entsprechendes Verfahren der Universität Kassel ist bereits in der Erprobung, kann momentan jedoch nicht als „Stand der Technik“ bezeichnet werden.

Eine Mitverbrennung in bestehenden Kohlekraftwerken oder Altholzverbrennungsanlagen ist zwar möglich, wird aber nur selten realisiert. Dieser Nutzungspfad scheitert häufig an den Distanzen zwischen den Biotoppflegeflächen und den Energieanlagen. Außerdem sind diese Anlagen oft nicht EEG-fähig, mindestens aber wird kein NawaRo-Bonus bezahlt, da diese in der Regel fossile Brennstoffe oder Altholz verbrennen. Damit können in den meisten Fällen die Mehrkosten solcher Nutzungskonzepte nicht aufgefangen werden.

Empfehlung: Um die Landschaftspflegereste einer energetischen Nutzung zuführen zu können, bedarf es dezentral einsetzbarer Techniken zur Biogaserzeugung oder thermischen Verwertung von inhomogenen krautigen und halmgutartigen Biomassen bzw. entsprechenden Mischtechnologien. Um Anlagen für diesen Anwendungsbereich in Form von Pilotanlagen weiter zu entwickeln, sollten entsprechende Förderprogramme ins Leben gerufen werden.

5.1.3 Organisation

Die energetische Verwertung der in der Regel kleinen und räumlich verteilt anfallenden Biomasseaufkommen verlangt eine Bündelung verschiedenster im Einzugsgebiet einer Anlage anfallender Biomassen. Hier kommen sowohl Biomassen aus der Biotoppflege als auch aus der sonstigen Landschaftspflege (Straßenränder, Gewässer) bis hin zu Materialien aus der kommunalen Grünflächenpflege in Frage, unter Umständen auch Substrate aus der Landwirtschaft, dem Gartenbau oder der Abfallwirtschaft.

Mit den unterschiedlichen Biomassen müssen auch die verschiedenen zuständigen Akteure zusammengebracht werden, um ein gemeinsames Energienutzungskonzept zu entwickeln. Hierin besteht eine besondere Herausforderung, da diese aus verschiedenen Branchen stammen und ihre Zusammenarbeit zunächst nicht eingespielt ist. Ein organisatorisch zuständiger Ansprechpartner ist für einen reibungslosen Ablauf der Beschickung einer Bioenergieanlage unerlässlich. Darüber hinaus muss aber auch ein enger Dialog zwischen Naturschutzvertretern, den Anlagenbetreibern und den übrigen als Biomasselieferanten fungierenden Akteuren geführt werden. Nicht zuletzt um eine Anpassung der Schnittzeitpunkte zu regeln (wie im Freisinger Moos und im Delmetal betrachtet) und um gleichzeitig die kontinuierliche Belieferung der Anlage zu sichern, sind besondere Abstimmungen zwischen den Akteuren erforderlich.

Empfehlung: Zur Realisierung von Nutzungskonzepten heterogener Biomassen unterschiedlicher Herkunft wie sie Landschaftspflegereste darstellen, bedarf es der Förderung von organisatorischer Unterstützung. Diese sollte sich sowohl auf die Erarbeitung von Konzepten zur energetischen Nutzung von Biomassen aus unterschiedlichen Quellen beziehen als auch auf logistische Herausforderungen in der Anfangsphase der praktischen Umsetzung derartiger Projekte.

5.1.4 Technologie für Bergung und Transport

Bisher wird überwiegend konventionelle Landtechnik für die Bergung und den Transport von Biomasse aus der Biotoppflege angewendet. Diese Maschinen werden aber nicht immer den naturschutzfachlichen Erfordernissen gerecht und sie sind nicht zwangsläufig für einen reibungslosen Arbeitsablauf auf den kleinen oft stark geneigten Flächen und den Umgang mit heterogenen Biomassestrømen konzipiert.

Empfehlung: Für eine kostengünstige Bergung und Transport fehlt es mitunter noch an geeigneten Technikentwicklungen. Eine entsprechende Technikentwicklung und die Einrichtung geeignet ausgerüsteter Maschinenringe bedürfen der gezielten Förderung.

5.1.5 Biotopumbau

Zusätzlich bestehen in engen Grenzen auch einige Umgestaltungsmöglichkeiten von Kulturlandschaften, die eine maschinelle Bearbeitung ermöglicht ohne den Artenbe-

stand zu gefährden. Ein Beispiel hierfür bieten die Streuobstwiesen, in denen der Baumabstand vergrößert oder extensive Grünlandstreifen zwischen den Grundstücken geschaffen werden könnten, so dass die Wiese fachgerecht zwei Mal im Jahr mit dem Balkenmäher gemäht werden kann.

5.1.6 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsrechnungen für eine energetische Nutzung von Landschafspflegeresten sollten immer auch die Einnahmen aus Vertragsnaturschutz bzw. Ausgleichszahlungen aus Agrarumweltmaßnahmen mit einbeziehen. Allerdings werden die Zahlungen in der Regel nicht für den gesamten Zeitraum der Wirtschaftlichkeitsberechnung garantiert werden, so dass nur die garantierten Mittel eingerechnet werden können um das Investitionsrisiko zu minimieren. Zudem wird ohne energetische Nutzung eine fachgerechte Entsorgung der Landschaftspflegematerialen erforderlich. Die Kosten für letztere müssen ebenfalls mit in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einberechnet werden. Problematisch ist, dass die Entsorgung heute aus Kostengründen zum Teil nicht fachgerecht stattfindet und damit die Pflege der Flächen letztlich nicht befriedigend gewährleistet ist.

Empfehlung: Eine Rechnung mit geringen Gewinnen und langfristigen Amortisationszeiträumen kann bisweilen dennoch einen kostendeckenden Betrieb ergeben. Kosten für die öffentliche Hand werden bereits eingespart, wenn durch eine energetische Nutzung von Landschaftspflegeresten - bei der Einrechnung aller Leistungen - ein geringeres Defizit entsteht als allein durch die Pflege der Fläche und die kostenpflichtige Entsorgung des Materials.

5.2 Fördernde und hemmende Faktoren

Aus der Detailanalyse ist eine Reihe an förderlichen Faktoren sowie an Hemmnissen für eine energetische Nutzung von Biotoppflegematerial deutlich geworden:

Förderliche Aspekte

- Große zusammenhängende Flächen (Grünland, Heckenlandschaften) mit einheitlicher Nutzung garantieren ein großes Biomassepotenzial, das mit relativ kurzen Fahrwegen erschlossen werden kann. Es können größere Fahrzeuge mit einer höheren Auslastung zum Einsatz kommen, wodurch die Transportkosten in Grenzen gehalten werden.
- Einheitliche Besitzverhältnisse führen zu einer weniger aufwändigen Ansprache der am Energienutzungskonzet Beteiligten und damit letztlich zu einer einfacheren Erschließung der Potenziale.

- Bei homogenen Substraten mit zuverlässiger Quantität und Qualität kann die Beschickung und der Betrieb einer Anlage zuverlässiger geplant werden. Auch wird die Planung der Zusammenführung von Biomassen unterschiedlicher Herkunft einfacher.
- Die Möglichkeit zur Zusammenführung verschiedener Biomassen ist jedenfalls dann von Vorteil, wenn es sich bei den Biotoppflegematerialien nur um kleinere Mengen handelt. Generell können durch den Mix verschiedener Substrate für Biogasanlagen auch Mischungen mit Biomassen höherer Gaserträge kombiniert werden. Voraussetzung ist jedoch, dass die Mischungen über das Jahr konstant gehalten werden können bzw. einem planbaren Jahresverlauf folgen.
- Günstig wirken sich auch Akteurskonstellationen aus, die ein Zusammenführen von Biomassesträmen aus verschiedenen Quellen erlauben. Hierzu ist es günstig, wenn ein Klima der Kooperation herrscht und eine zuverlässige Stelle die Koordination für alle Akteure übernimmt.
- Sollte aus naturschutzfachlicher Sicht die Biomasseernte in Grenzen zeitlich flexibel möglich sein, dann sollte der Erntezeitpunkt nach Möglichkeit energieertragsoptimiert gewählt werden.
- Eine energetische Nutzung der Pflegereste muss bei Biotoppflege als Entsorgungsnachweis gelten.

Hemmende Aspekte

Die Hemmnisse entsprechen oftmals genau dem Gegenteil der förderlichen Aspekte. Dazu zählen insbesondere:

- Tendenziell kleine Flächen, die räumlich weit auseinander liegen
- Eine Vielzahl von Besitzern der Einzelflächen
- zerstreute bzw. konträre Akteure, die für die verschiedenen Biomassesträme verantwortlich sind
- inhomogene Qualität und unsichere Quantität der verfügbaren Biomassen

6 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

6.1 Hinweise zur Förderung der energetischen Nutzung von Biotop- und Landschaftspflegematerial

6.1.1 EEG

Grundsätzlich ist es denkbar, im Rahmen der anstehenden Novellierung des EEG einen weiteren Bonus für Material aus der Landschaftspflege zu schaffen – vergleichbar mit dem bereits bestehenden Bonus für nachwachsende Rohstoffe. Letzterer dient dazu, Anbaubiomasse zu mobilisieren und die Stoffkreisläufe für nachwachsende Rohstoffe zu schließen, indem sie von denen der Biomassereststoffe abgekoppelt werden und so deren möglicherweise höheren Schadstoffkonzentrationen nicht als Düngemittel auf die Ackerflächen ausgebracht werden. Dieser Bonus zielt also darauf ab, ein Problem zu minimieren oder zu verhindern, das durch die Nutzung von Bioenergie erst entsteht.

Ein Bonus für die energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial hätte dagegen eine Förderung von Pflegemaßnahmen zum Ziel, die helfen würden, den Bestand verschiedener Biotope zu sichern. Wenn es gelingt, den Bonus an bestimmte Bewirtschaftungsweisen zu knüpfen, ist eine Bedrohung der Biotope durch eine verstärkte Bioenergienutzung die anfallenden Pflegematerials nicht zu erwarten.

Insofern erscheint eine **Modifikation** des NawoRo-Bonus (Qualifizierung mit Natur- und Umweltschutzzielen) sinnvoller als die Einführung eines eigenen Bonus für Landschaftspflegematerial. Geeignet erscheint ein Sonderbonus für Energie aus extensiv erzeugtem Grünschnitt, um den Erhalt dieser Flächen sicher zu stellen. Der Bonus müsste den wirtschaftlichen Minderertrag von Extensivgrünland gegenüber Anbaukulturen oder einer intensiven Grünlandnutzung für die Biogaserzeugung kompensieren.

Alternativ wird derzeit diskutiert, ob eine Quote für Anteile von Landschaftspflegematerial aus Naturschutzgebieten als Nebenbedingung für den Erhalt des NawaRo-Bonus eingeführt werden sollte. Diese Regelung setzt jedoch voraus, dass jede Region über ausreichend große Mengen an Biotoppflegeresten verfügt, doch in der Realität variieren sowohl die Größe der Pflegeflächen als auch die Ertragshöhe der einzelnen Biotope.

Im Falle der holzartigen Biomassen aus der Biotoppflege bietet dass EEG mit seinen Boni nicht unbedingt eine geeignete Lösung: Handelt es sich bei der nächstgelegenen Biomasse-Anlage beispielsweise um eine Altholzheizkraftwerk, so stehen die Hackschnitzel aus Biotoppflegematerialien mit Altholz in Konkurrenz und können nur entsprechend geringere Preise am Markt erzielen, zumal oft nur verhältnismäßig geringe Mengen von Biotoppflegeholz für die Verwertung in einem größeren Heizkraftwerk zur Verfügung stehen. Allgemein gültig kann dabei die Aussage getroffen werden, dass nicht ausreichend große Mengen an Biotoppflegeholz für den alleinigen Betrieb eines Heizkraftwerks vorhanden sind.

6.1.2 Wärmegesetz

Angesichts des unterschiedlich hohen Biomasseaufkommens aus der Landschaftspflege, und der genannten Besonderheiten bei der Holznutzung könnte eine Förderung der Wärmenutzung aus erneuerbaren Energiequellen durch Quotenregelung oder Einspeisevergütung einen größeren Anreiz zur Biomassenutzung setzen.

Bei der Wärmenutzung sind außerdem kleine dezentrale Anlagen einfacher zu wirtschaftlichen Bedingungen zu betreiben als bei der Stromerzeugung. Hier könnte ebenfalls eine besondere Berücksichtigung von Landschaftspflegematerial durch vorgeschriebene Quoten oder eine erhöhte Vergütung erfolgen.

6.1.3 Förderung der Technikentwicklung

Angesichts der technischen Probleme, insbesondere im Bereich der Grünschnittnutzung, sollte eine Weiterentwicklung der Verwertungstechniken für alle Nutzungsoptionen erfolgen (Biogas, Verbrennung, Mischverfahren). Ebenso sollte aber auch die Förderung der Entwicklung von Techniken entlang der Logistikkette (Bergung, Transport, Sortierung) erfolgen.

6.1.4 Organisatorische Unterstützung

Eine besondere organisatorische Unterstützung bedarf die Bündelung der Stoffströme und die Zusammenführung der verschiedenen Akteure, die zur Initiierung eines Projekts zur Energienutzung von Biotoppflegeresten nötig sind.

Hier sollte die fachliche Unterstützung bei der Entwicklung konkreter lokaler Konzepte zur energetischen Biomassenutzung gefördert werden, sofern sie Materialien aus der Biotoppflege mit einbeziehen.

6.2 Forschungsbedarf

Aus den Hinweisen zur Förderung wird gleichzeitig auch der weitere Forschungsbedarf deutlich. Dieser umfasst:

- die Weiterentwicklung auch dezentral einsetzbarer und damit kleiner Technik für die Verwertung von Biomassen aus der Biotop- und Landschaftspflege. Dabei sollten alle Technikoptionen verfolgt werden, also sowohl die Biogaserzeugung als auch die Verbrennung oder Kombinationsverfahren (Presssaftvergärung und Presskuchenverbrennung).
- die Recherche und Präsentation von Best Practice Beispielen
- die Entwicklung von Methoden zur Ermittlung der Biomassepotenziale aus der Landschaftspflege mit Hilfe Ansätzen aus der Fernerkundung
- die Unterstützung von Modellprojekten zur lokalen Bündelung der Biomassestoffströme aus unterschiedlichen Quellen und mit unterschiedlichen Akteuren

7 Literatur

A+S Naturenergie 2007: Telefonische Auskunft von der A+S Naturenergie GmbH, Pfaffenhofen, im Januar 2007.

Bartelingh, H. 2001: Knickpflege in Schleswig-Holstein, Biomassegewinnung und Erhalt historischer Landschaftselemente in: Energie Pflanzen 6/2001.

Baserga, U. 1998: Vergärung von Extensogras-Silage in einer Feststoff-Pilotanlage und einer landwirtschaftlichen Co-Vergärungs-Biogasanlage. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Forschungsprogramm Biomasse, Tänikon, 26 S.

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU) (Hg) 2004: Biogashandbuch Bayern – Materialband, Kapitel 1.7, Augsburg.

Beideck 2007: Telefonische Mitteilung von Herrn Beideck, Baumpflege Beideck, Karlsruhe, im Januar 2007.

Bergmann, M. 2006: Persönliche Mitteilung von Herrn Bergmann, Naturschutzbund Deutschland e.V., Regionalbüro Ostfriesland im Mai 2006.

BfN - Bundesamt für Naturschutz 2004 (Hg.): Daten zur Natur 2004. Landwirtschaftsverlag Münster. 474 S.

BUND 2007: Internetseite des BUND-Hofes „Wendbuedel“, www.wendbuedel.de, Zugriff Februar 2007.

C.A.R.M.E.N. 2007: Internetseite C.A.R.M.E.N. e.V., http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnipreise.html, Zugriff Februar 2007

Daniel et al. 2005: Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft. Unveröffentlichter Zwischenbericht, Forschungsvorhaben im Auftrag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., FKZ 22011701, Gülzow.

Drachenfels, O. v. 2004: Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen unter besonderer Berücksichtigung der nach § 28 a und § 28 b geschützten Biotope sowie der Lebensraumtypen von Anhang I der FFH-Richtlinie.

Elsäßer, M. 2004: Alternative Verwendung von in der Landschaftspflege anfallendem Grünlandmähgut: verbrennen, vergären, kompostieren, mulchen oder extensive Weide. In: Natur und Landschaft 79 (2004), H. 3, S. 110-117.

Ertel, L. 2006: Persönliche Mitteilung von Herrn Ludwig Ertel, Landwirt im Freisinger Moos.

Europäische Kommission 2004: Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992, Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaft („http://www.europa.eu.int/eur-lex/de/consleg/pdf/1992/de_1992L0043_do_001.pdf“)

FH Rottenburg 2006 a: Erfassung des Pflegezustands der Streuobstwiesen südlich von Mössingen. Studentische Projektarbeit unter Leitung von Prof. R. Luick, Rottenburg.

FH Rottenburg 2006 b: Kartierung der Streuobstbestände am Steinenberg. Studentische Projektarbeit unter Leitung von Prof. R. Luick, Rottenburg.

FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2005: Kleine Datensammlung zum Leitfaden Bioenergie. Download unter http://www.fnr-server.de/pdf/literatur/pdf_191datensammlung_klein.pdf

FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hg.) 2005a: Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow.

FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hg.) 2005b: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Gülzow.

Gronauer, A.; Aschmann, V. 2002: Wissenschaftliche Begleitung einer Pilotanlage zur Feststoffvergärung von landwirtschaftlichen Gütern. Landtechnik Weihenstephan, Landtechnischer Verein in Bayern e. V., 140 S.

Härdtlein, M. et al. (Hg.) 2004: Voraussetzungen zur Standardisierung biogener Festbrennstoffe. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 23, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Landwirtschaftsverlag, Münster.

Hartmann, H. (Hg.) 2003: Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow.

Huss, H.-H., Schmitt, F. 2001: Wirtschaftliche Verfahren zur Grüngutverwertung für das Freisinger Moos unter besonderer Berücksichtigung von Beweidung und thermischer Verwertung. Landschaftspflegeverband Freising e.V., Freising.

IE – Institut für Energetik und Umwelt 2006: Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft. Unveröffentlichter Endbericht, Teilbericht des IE. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Leipzig.

IZES -Institut für Zukunftsenergiesysteme 2002: Studie zur Weiterentwicklung der energetischen Verwertung von Biomasse im Saarland, Teil 1: Herleitung von Biomasse – Potenzialen in unterschiedlichen Betrachtungsebenen, Saarbrücken

Kaltschmitt, M. et al. (Hg.) 2003: Erneuerbare Energien – Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 3. Auflage. Springer, Berlin, Heidelberg.

Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. 2001: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin.

Kasper, B. 1997: Stoffumwandlung und Logistik pflanzenbürtiger Festbrennstoffe in einer umweltgerechten Landnutzungsalternative für den Spreewald. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG) 306, zugleich: Dissertation, Humboldt-Universität, Berlin.

Kasper, B.; Hahn, J. 1994: Thermische Verwertung von Biomasse aus der Landschaftspflege. Technik und Verfahren zur Landschaftspflege und für die Verwertung der anfallenden Materialien, VDI-MEG-Kolloquium Agrartechnik, Heft 17, Bornim, 1994, S. 83-91.

Keymer, U. 2005: Wirtschaftlicher Vergleich von Nachwachsenden Rohstoffen. Institut für Agrartechnik, Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, München. verfügbar unter www.lfl.bayern.de

Krieg, A.; Fischer T. 2000: Grasvergärung aus wissenschaftlicher Sicht. In: Dokumentation zum 1. Graskraft-Seminar am 19. Mai 2000, Landwirtschaftliche Lehranstalten Triesdorf, Triesdorf, 19. Mai 2000.

Krieg, A.; Fischer T. 2006: Vortrag über Grasvergärung im Rahmen der „Biogasfachgespräche“ am Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Leipzig.

KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft 2007: KTBL – Feldarbeitsrechner, Version 1.0. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt.

KTBL - – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft 2005: KTBL - Datensammlung Landschaftspflege. 5. Aufl., Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt.

Kusch, S.; Oechsner, H. 2004: Landwirtschaftliche Substrate in diskontinuierlich betriebenen Feststoffvergärungsanlagen. Tagung „Nachwachsende Rohstoffe für Baden-Württemberg – Forschungsprojekt für den ländlichen Raum“ vom 14. Oktober 2004, Universität Hohenheim.

Lemmer, A.; Oechsner, H. 2001: Kofermentation von Gras und Silomais. Landtechnik 56 (2001), H. 6, S. 412-413.

Linke, B., Heiermann, M., Mumme, J. 2006: Ergebnisse aus der wissenschaftlichen Begleitung der Pilotanlagen Pirow und Clausnitz. In: Gülzower Fachgespräche Band 24, Trockenfermentation – Stand der Entwicklung und weiterer F+E-Bedarf. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, FNR (Hrsg.), Gülzow.

Linde KCA GmbH 2005: Telefonat mit Herrn Langhans, Linde KCA GmbH, Dresden, Juni 2005.

Loock Consultants 2005: Telefonat mit Herrn Springer, Loock Consultants, Hamburg, August/September 2005

Maino, M. 2006: Persönliche Mitteilungen von Herrn Matthias Maino, Geschäftsführer des Landschaftspflegeverbandes Freising e.V. im Rahmen diverser Telefonate.

Maurer, K.; Oechsner, H. 2004: Energieerzeugung aus landwirtschaftlicher Biomasse durch thermische Verfahren am Beispiel Heu. Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen an der Universität Hohenheim. Abfalltage 2004 Baden-Württemberg.

Meinhardt, N. J. 2000: Energieholz in Baden-Württemberg – Potenziale und derzeitige Verwendung. Diplomarbeit an der Fachhochschule Nürtingen, Fachbereich Landschaftsarchitektur/ Stadt- und Umweltplanung.

Mette, R. 2005: Energetische Verwertung von Landschaftspflegeholz am Beispiel der schleswig-holsteinischen Knicklandschaft. Natur und Landschaft (2005) H. 9/10, S. 416-420.

MLR – Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg 2007: Internetseite zu MEKA III. Dowload unter http://www.mlr.baden-wuerttemberg.de/content.pl?ARTIKEL_ID=11450

MPE Energietechnik GmbH 2005: Telefonat mit Herrn Zeifang, MPE Energietechnik GmbH, Leipzig, August/ September 2005.

NABU – Naturschutzbund Deutschland und Fondation Hëllef fir d'Natur 2005: Streuobstwiesen – Tipps zur Anpflanzung und Pflege von jungen Obstbäumen. Luxemburg.

Nendel, K., Clauß, B., Nendel, A., Schneevoigt, U., Tepper, H., Brandt, H. E., Piller, M. Bochmann, K., Trinks, R., Heidenreich, R. 2004: Untersuchung der Verwertungsmöglichkeiten von Biomasse aus der Landschaftspflege. In: Schriftenreihe der Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Jg. 9 (2004), H. 7, S. 1-120.

NLWKN - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz 2007: Internetseite zum Wallheckenprogramm Ostfriesland, http://www.nlwkn.niedersachsen.de/master/C30511651_L20_D0_I5231158_h1.html, Zugriff März 2007

Prochnow, A. et al. 2005: Biogasausbeuten aus Landschaftspflegeaufwuchs im Jahresverlauf. Vortrag im Rahmen der Biomassetagung auf Schloss Criewen, 01.06.2005

Region aktiv Wendland-Elbetal 2006: http://www.wendland-elbetal.de/index.php?geogr_bereich

Reinhardt, G. Scheurlen, K. 2004: Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien. FKZ 801 02 160, gefördert aus Mitteln des BMU.

Riecken, U., Finck, P., Raths, U., Schröder, E. und Ssymank, A. 2006: Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Zweite fortgeschriebene Fassung 2006 318 S.

Riecken, U., Finck, P., Raths, U., Schröder, E. und Ssymank, A. 2003: Standard-Biotoptypenliste für Deutschland. 2. Fassung. - Schr.R. f. Landschaftspfl. u. Natursch. 75, 66 S.

Riecken, U., U. Ries, Ssymank, A. 1994: Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen der Bundesrepublik Deutschland. – Schriftenr. Landschaftspfl. Natursch. 41, Bonn.

Rösch, C 1996: Vergleich stofflicher und energetischer Wege zur Verwertung von Bio- und Grünabfällen – unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in Baden-Württemberg. Dissertation der Universität Hohenheim, herausgegeben vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruhe.

Rösch, C., Raab, K., Stelzer, V. 2006: Perspektiven einer nachhaltigen Grünlandnutzung zur Energieerzeugung. Vortrag im Rahmen des Workshops „Futterpflanzen – Perspektiven für die energetische Nutzung“ am 9./10.3.2006 in Weihenstephan http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/18480/workshop_futterpflanzen_raab_itas.pdf, Zugriff 19.1.2006

Rosskamp, T.; Bergmann, M. 2005: Agrarumweltprogramm Ostfriesische Wallheckenlandschaft, Ökologische Bestandsaufnahme und Erstellung eines Pflege- und Entwicklungsplanes des Modellgebietes Aurich-Oldendorf, Abschlussbericht Dezember 2005

Sander, S. 2006: Persönliche Mitteilung von Herrn Sander, Schutzgemeinschaft Wallhecken Leer e.V., im Mai 2006.

Sander, S. 2007: Persönliche Mitteilung von Herrn Sander, Schutzgemeinschaft Wallhecken Leer e.V., im März 2007.

Scheffer, K., Stülpnagel, R. Geilen, U., Oefelein, Th. 1996: Einfluss von Aufbereitung und Lagerung auf die Brennstoffeigenschaften feuchter Brennstoffe. In: Biomasse als Festbrennstoff. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hg.), Landwirtschaftsverlag, Münster, 1996, Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Bd. 3, S. 89-106.

Scholwin, F., Daniel, J., Patterson, M. 2006: Potenziale, ökonomische und ökologische Beurteilung der Feststoffvergärung. In: Gülzower Fachgespräche Band 24, Trockenfermentation – Stand der Entwicklung und weiterer F+E-Bedarf. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, FNR (Hrsg.), Gülzow.

Schroefel, U. 2006: Persönliche Mitteilung von Herrn Ulrich Schroefel, Landratsamt Reutlingen, im Oktober 2006.

Schweppe-Kraft, B. 2003: Biogasverwertung von Grünlandaufwuchs – Chance für Landwirtschaft, Klima- und Naturschutz. Dokumentationsreihe Graskraftseminare. 7. Graskraft-Seminar, 14.11.2003, Plauen.

Stülpnagel, R. 1998: Förderung der Artenvielfalt und Verbesserung der Brennstoffqualität durch die thermische Nutzung von feucht-konservierten Aufwüchsen aus Naturschutz- und Grünflächen. Dokumentation des Fachkongresses "Biomasse: Umweltschonender Energie- und Wertstofflieferant der Zukunft" am 18./19.03.1998. Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg 27, S. 93-116.

STMLF – Bayrisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten 2007: Bayrisches Kulturlandschaftsprogramm, Teil A (KULAP-A) des Bayerischen Staatsministeriums für Landwirtschaft und Forsten, München.

Uckert, G. 1998: Art- und raumspezifische Ermittlung der Biomasseproduktion von. Knicks in Schleswig-Holstein - Ein Beitrag zur energetischen Nutzung von Biomasse unter besonderer Berücksichtigung der Stoff- und Energieflüsse.. Diplomarbeit an der Agrarwissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 126 S.

Van Dooren, Ir. H. J. 2005: The use of grass from nature reserve areas as co-digestion material with cattle slurry. Research Institute for Animal Husbandry, Lelystad, Netherlands. Vortrag auf dem International Energy Farming Congress, 02.-04.03.2005, Papenburg.

Vresky, H.-G. 2006: Persönliche Mitteilung von Herrn Vresky, Landratsamt Reutlingen im Oktober 2006.

Wienerbörse 2007: Rohholz, http://www.wienerborse.at/mmdb/1/3/704.pdf, Zugriff Januar 2007