



DBFZ Report Nr. 17

Grünlandenergie Havelland

**Entwicklung von übertragbaren Konzepten zur
naturverträglichen energetischen Nutzung von Gras und Schilf
am Beispiel der Region Havelland**

- Endbericht -

**Philipp Sauter, Eric Billig, Frank Döhling, Andreas Pilz,
André Brosowski, Claudia Kirsten, Jakob Bosch, Daniel Büchner,
Stefan Majer, Nadja Weller, Janet Witt, Thilo Seidenberger (DBFZ)
Sven Schicketanz, Wolfgang Peters (Bosch & Partner),
Yulia Lochmann, Annette Prochnow (ATB)**



In Kooperation mit:

Gefördert durch:

Impressum / Anfahrt



Impressum

Herausgeber:

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig, mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kontakt:

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Telefon: +49 (0)341 2434 - 112
Fax: +49 (0)341 2434 - 133
info@dbfz.de
www.dbfz.de

Geschäftsführung:

Prof. Dr. mont. Michael Nelles
(Wissenschaftlicher Geschäftsführer)
Daniel Mayer
(Administrativer Geschäftsführer)

DBFZ Report Nr. 17

ISSN: 2190-7943

Bilder: DBFZ, Peter Reinäcker/pixelio.de, (Titel links),
Lehmannmaschinenbau GmbH (Titel rechts)

Druck: Osiris Druck

DBFZ, Leipzig 2013

Copyright:

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Broschüre darf ohne die schriftliche Genehmigung des Herausgebers vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot fällt insbesondere auch die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung auf CD-ROM

Verantwortlich im Sinne des Presserechts:

Paul Trainer

Autoren des Berichts:

Philipp Sauter, Eric Billig, Frank Döhling, Andreas Pilz, André Brosowski, Claudia Kirsten, Jakob Bosch, Daniel Büchner, Stefan Majer, Nadja Weller, Janet Witt, Thilo Seidenberger (DBFZ) Sven Schicketanz, Wolfgang Peters (Bosch & Partner), Yulia Lochmann, Annette Prochnow (ATB)

Datum der Veröffentlichung:

Juli 2013

Anfahrt

... mit dem Zug:

Ankunft Leipzig Hauptbahnhof; Straßenbahn Linie 3/3E (Richtung Taucha/Sommerfeld) bis Haltestelle „Bautzner Straße“; Straße überqueren, Parkplatz rechts liegen lassen und geradeaus durch das Eingangstor Nr. 116, nach ca. 100 m links.

... mit dem Auto:

Über die Autobahn A 14; Abfahrt Leipzig Nord-Ost, Taucha; Richtung Leipzig; Richtung Zentrum, Innenstadt; nach bft-Tankstelle links einfahren (siehe „... mit dem Zug“).

... mit der Straßenbahn

Linie 3/3E Richtung Taucha/Sommerfeld bis zur Haltestelle „Bautzner Straße“ (siehe „... mit dem Zug“).

Grünlandenergie Havelland

**Entwicklung von übertragbaren Konzepten zur
naturverträglichen energetischen Nutzung von Gras und Schilf
am Beispiel der Region Havelland**

FKZ: 03KB035

Endbericht

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116
04347 Leipzig

Tel.: +49 (0)341 2434-112
Fax: +49 (0)341 2434-133

www.dbfz.de
info@dbfz.de

Zuwendungsgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMU
11055 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Zimmerstraße 26-27
10969 Berlin

Ansprechpartner:

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 2434-112
Fax: +49 (0)341 2434-133
E-Mail: info@dbfz.de
Internet: www.dbfz.de

M.Sc. Philipp Sauter

Tel.: +49 (0)341 2434-552
E-Mail: philipp.sauter@dbfz.de

Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän

Tel.: +49 (0)341 2434-436
E-Mail: daniela.thraen@ufz.de

Projektpartner

ATB Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V.
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

Bosch & Partner GmbH
Streitstraße 11-14
13587 Berlin

Aufsichtsrat:
Bernt Farcke, BMELV, Vorsitzender
Berthold Goeke, BMU
Anita Domschke, SMUL
Dirk Inger, BMVBS
Karl Wollin, BMBF

Geschäftsführung:
Prof. Dr. mont. Michael Nelles (wiss.)
Daniel Mayer (admin.)

Sitz und Gerichtsstand: Leipzig
Amtsgericht Leipzig HRB 23991
Steuernummer: 232/124/01072
USt.-IdNr.: DE 259357620
Deutsche Kreditbank AG
Kto.-Nr.: 1001210689
BLZ: 120 300 00



Projektleitung	Philipp Sauter
Projektbearbeiter	Eric Billig Frank Döhling Andreas Pilz André Brosowski Claudia Kirsten Jakob Bosch Daniel Büchner Stefan Majer Nadja Weller Janet Witt Thilo Seidenberger
	Sven Schicketanz Wolfgang Peters
	Yulia Lochmann Annette Prochnow
Erstelldatum:	21.02.2013
Projektnummer DBFZ:	3330009
Förderkenzeichen PTJ:	03KB035
Gesamtseitenzahl + Anlagen	389



Gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Danksagung

Die Bearbeitung des Projektes wäre nicht möglich gewesen ohne die Unterstützung aus der Region. Wir möchten unseren Dank insbesondere den Herren Dr. Neubert und Dr. Priebe vom Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF) sowie den Wasser- und Bodenverbänden des Havellandes, hier besonders Herrn Glase vom Wasser- und Bodenverband Rhin-/ Havelluch aussprechen. Außerdem bedanken wir uns bei Herrn Engel, vom Amt für Landwirtschaft des Landkreises Havelland und den Landwirten der Region, allen voran Herrn Kaim vom Havellandhof in Ribbeck.

Großer Dank gilt auch Frau Pfeiffer, Frau Stur und Frau Gröber von der Programmbegleitung „Energetische Biomassenutzung“ am DBFZ für die vielfältige Unterstützung.

Dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) danken wir insbesondere für die finanzielle Unterstützung. Frau Neumann und Herrn Matura vom Projektträger Jülich (PTJ) danken wir für die administrative Begleitung dieses Vorhabens.

Das Projektteam

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projekts „Grünlandenergie Havelland“ untersuchte das Deutsche Biomasseforschungszentrum in Kooperation mit dem Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V. und der Bosch & Partner GmbH am Beispiel der Modellregion Havelland (Landkreis Havelland und umliegende Gebiete) mögliche Konversionspfade zur Energiegewinnung von halmgutartigem Grüngut. Im Fokus stand die Verwertung von überschüssigem Gras von extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen sowie von halmgutartiger Biomasse aus der Gewässerunterhaltung und Biotoppflege. Als Reststoffe lässt die energetische Nutzung dieser Substrate eine besonders gute Treibhausgasbilanz erwarten. Aufgrund der stofflichen Eigenschaften sowie der dezentralen und häufig sehr heterogenen Aufkommen ist die energetische Nutzung dieser Substrate jedoch mit besonderen technischen und logistischen Herausforderungen verbunden.

Ziel des Projekts war die Entwicklung von übertragbaren Konzepten zur Nutzung der betrachteten Grüngutsortimente für die Wärme- und Stromerzeugung. Ausgehend von der Analyse der entsprechenden Biomassepotenziale sowie geeigneter Standorte und Technologien wurden vollständige Bereitstellungsketten verschiedener Nutzungskonzepte untersucht. Die abschließende Bewertung der Nutzungskonzepte erfolgt anhand der Parameter: Wirtschaftlichkeit, Treibhausgasemissionsminderungspotenzial und Umsetzbarkeit. Im Ergebnis werden für die regionalen Akteure anwendungsreife Analysemethoden bereitgestellt, Empfehlungen für einzelne Nutzungskonzepte ausgesprochen und weitergehender Forschungsbedarf benannt.

Als Grundlage der Entwicklung der Nutzungskonzepte wurde mit Hilfe einer eigens dazu entwickelte Analysemethode zunächst das für die energetische Nutzung verfügbare Grüngutpotenzial im Untersuchungsgebiet ermittelt. Während sich die Methodik der Potenzialanalyse in den Grundzügen auch auf andere Regionen übertragen lässt, hängt die Aussagegenauigkeit stark von den zugänglichen Datengrundlagen ab. Das verfügbare Gesamtpotenzial an Biomasse von Grünlandflächen, aus der Gewässerunterhaltung sowie der Biotoppflege umfasst im Untersuchungsgebiet rund 40.800 t TM jährlich. Unter den angenommenen technischen Rahmenbedingungen der möglichen Verwertung sind, aufgrund der Substrateigenschaften, 15.600 t TM/a davon vorrangig für die Verwendung in Biogasanlagen und 25.200 t TM/a für die Verwendung in Verbrennungsprozessen geeignet. Nach einer systematischen Ableitung geeigneter Technologien ist davon auszugehen, dass bei nahezu allen möglichen Nutzungskonzepten Wärme erzeugt wird. Um diese wirtschaftlich nutzen zu können, wurden die Wärmenutzer im Untersuchungsgebiet erfasst, indem in der Regionsanalyse die Befragung der Wärmenutzer mit der Auswertung einschlägiger regionaler Bestandsdaten gekoppelt wurden. Der ermittelte Wärmebedarf der betrachteten Branchen im Untersuchungsgebiet beläuft sich dabei auf ca. 5,2 TWh/a. Um Aussagen über geeignete Standorte für Biomasseanlagen treffen zu können, wurden Bereiche mit konzentriertem Biomasseaufkommen ermittelt und anschließend mit den Wärmesenken räumlich überlagert. Für eine Auswahl gut geeigneter Standorte (hohes Biomassepotenzial, großer Wärmebedarf) wurden anschließend die typischen Prozessschritte der Bereitstellungsketten modelliert.

Entsprechend den regionalen Voraussetzungen und der technischen Möglichkeiten für den Substrateinsatz in Verbrennungs- und Biogasanlagen wurden fünf Nutzungskonzepte entwickelt. Es wurde der Einsatz von Heupellets in monovalenten Heizkesseln (150 kW_{th}) und in bivalenten Heizkesseln, mit

kombinierten Heizölkesseln, ($150 \text{ kW}_{\text{th}} + 300 \text{ kW}_{\text{th}}$) untersucht. Die Verbrennung von Heu in Ganzballenverbrennungsanlagen ($400 \text{ kW}_{\text{th}}$) und der ausschließliche Einsatz von Gras in dafür konzipierten Biogasanlagen ($300 \text{ kW}_{\text{el}}$, $500 \text{ kW}_{\text{el}}$) sowie die Beimischung von Gras in bereits bestehenden Biogasanlagen, unter Berücksichtigung der erforderlichen technischen Auf beziehungsweise Umrüstung, stand ebenso im Fokus der Untersuchung.

Die Pelletierungsversuche im Rahmen des Projekts zeigten, dass eine Pelletierung von Heu technisch unproblematisch ist. Die Verbrennung dieser Pellets erfordert jedoch geeignete Maßnahmen zur Verminderung von Emissionen – spezielle Feinstaubemissionen. Da entsprechende Feinstaubfilter hohe Kosten verursachen, lohnt sich deren Verwendung unter derzeitigen Bedingungen erst in Anlagen mit einer Leistung von mindestens $100 \text{ kW}_{\text{th}}$. In Kombination mit einem Heizölkessel als Spitzenlastkessel konnten dabei Wärmegestehungskosten von $7,2 \text{ ct/kW}_{\text{th}}$ realisiert werden. Damit ist dieses Konzept günstiger als alternative Wärmeerzeugungsverfahren mit den Brennstoffen Holzhackschnitzeln und Heizöl. Bei den Verbrennungskonzepten konnten zudem THG-Einsparungen zwischen 80 und 90 % gegenüber der Wärmeerzeugung aus fossilen Brennstoffen erreicht werden. Allerdings gibt es zu Heupelletheizwerk bislang kaum langjährige praktische Erfahrungen, so dass keine Aussagen zur Praxisreife gemacht werden können. Hingegen bestehen bei der Nutzung von Ballen, vor allem bei Stroh im Leistungsbereich von 300 bis $1.200 \text{ kW}_{\text{th}}$, mehrere Anlagen, weshalb hier von einer technischen Praxisreife ausgegangen werden kann. Nach kleineren Umstellungen sollte auch die Nutzung von Heu in diesen Anlagen unproblematisch sein. Es bleibt im Einzelfall zu überprüfen, ob die Grenzwerte der 4. BImSchV eingehalten werden. Diese Anlagen erreichen dann in Kombination mit einem $400 \text{ kW}_{\text{th}}$ Heizöl-Spitzenlastkessel vergleichbare Wärmegestehungskosten wie entsprechende Holzhackschnitzelheizwerke ($7,7 \text{ ct/kW}_{\text{th}}$).

Bei der Nutzung der betreffenden Reststoffe in Biogasanlagen können unter geeigneten Bedingungen Stromgestehungskosten von $19,8 \text{ ct/kWh}_{\text{el}}$ erreicht werden, denen Stromerlöse von $21 \text{ ct/kWh}_{\text{el}}$ gegenüber stehen. Auch eine anteilige Substitution von Anbaubiomasse durch Gras kann unter derzeitigen Bedingungen vereinzelt bereits zu wirtschaftlichen Vorteilen führen. Gleichzeitig ist bei den hier durchkalkulierten Nutzungskonzepten von einer 80 %-igen THG-Einsparung gegenüber der Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen auszugehen. Die Biogas-Nutzungskonzepte können überwiegend als praktisch umsetzbar bezeichnet werden. Der Einsatz in neuen Anlagen, die technisch auf die direkte Verwertung von Grün gut ausgerichtet sind, ist weitgehend erforscht. In der Untersuchungsregion existieren bereits Anlagen die spät geschnittenes Gras von extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen als Co-Substrat einsetzen. In anderen Regionen werden bereits Biogasanlagen betrieben, die in der Trockenfermentation ausschließlich Gras einsetzen. Für den überwiegenden Einsatz von Grün gut, speziell Gras, in traditionellen Nassfermentationsanlagen ist in der Regel ein zusätzlicher Prozessschritt, wie beispielsweise eine Hydrolyse, erforderlich. Dabei werden die Substrate homogenisiert und für den bakteriellen Aufschluss vorbereitet.

Im Ergebnis haben sich verschiedene Optionen zur energetischen Verwertung der betrachteten Biomassereststoffe als tragfähig erwiesen. Wesentliche Vorzüge sind die Aussicht auf geringe Wärme- und Stromgestehungskosten sowie ein hohes THG-Minderungspotenzial. Vorteilhaft sind zudem die möglichen Synergien von Energieerzeugung und Naturschutz. Die Voraussetzung für eine breite Umsetzung entsprechender Nutzungskonzepten ist eine zeitnahe Weiterentwicklung und Erprobung der entsprechenden Technologien.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	V
Zusammenfassung	VI
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund des Projekts	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Vorgehen und Bearbeiter	2
1.4 Untersuchungsregion	4
2 Potenzialanalyse	7
2.1 Ziel der Potenzialanalyse.....	8
2.2 Vorgehen	8
2.3 Übertragbare Methoden zur Analyse der Biomassepotenziale	12
2.3.1 Potenzialanalyse von Grünlandbiomasse	12
2.3.2 Potenzialanalyse von Biomasse aus der Gewässerunterhaltung.....	18
2.3.3 Potenzialanalyse von Biomasse der besonderen Biotope.....	22
2.4 Regionale Anwendung der Analysemethoden	24
2.4.1 Potenziale des landwirtschaftlichen Grünlands	24
2.4.2 Potenziale aus der Gewässerunterhaltung	43
2.4.3 Potenziale von besonderen Biotopflächen	53
2.5 Gesamtpotenzial für die energetische Nutzung.....	57
2.6 Methodendiskussion, Forschungs- und Handlungsbedarf	62
3 Regionsanalyse	65
3.1 Ziele der Regionsanalyse.....	65
3.2 Vorgehen	65
3.3 Übertragbare Methoden zur Regionsanalyse	66
3.3.1 Identifikation relevanter Wärmesenken und Biomasseanlagen.....	67
3.3.2 Berechnung des Wärmebedarfs	70
3.4 Regionale Anwendung der Analysemethoden	77
3.4.1 Identifizierte Wärmesenken	77
3.4.2 Ergebnisse zum Wärmebedarf.....	79
3.4.3 Bestehende Biomasseanlagen	83
3.5 Gesamter Wärmebedarf.....	87
3.6 Methodendiskussion, Forschungs- und Handlungsbedarf	91
4 Überlagerung von Biomassepotenzial und potenziellem Wärmebedarf	93
4.1 Ziel.....	93
4.2 Methodik	93
4.3 Ergebnisse der Überlagerung.....	94
4.4 Methodendiskussion, Forschungs- und Handlungsbedarf	96

5	Einsatz von Heu in Verbrennungsanlagen	97
5.1	Pelletierung	97
5.1.1	Administrative Rahmenbedingungen.....	97
5.1.2	Stand der Technik.....	98
5.1.3	Stand der Wissenschaft und Praxis	104
5.1.4	Pelletierversuche im Rahmen des Projekts	106
5.1.5	Technische Konzepte zur Heupelletierung	115
5.2	Verbrennung.....	129
5.2.1	Theoretischer Hintergrund.....	129
5.2.2	Administrative Rahmenbedingungen.....	132
5.2.3	Stand der Technik.....	134
5.2.4	Stand der Wissenschaft und Praxis.....	146
5.2.5	Verbrennungsversuche im Rahmen des Projekts	147
5.3	Nutzungskonzepte für die energetische Verwendung von Heu in Verbrennungsanlagen	167
5.3.1	Beschreibung der Nutzungskonzepte im Untersuchungsgebiet	168
5.3.2	Bewertung der Nutzungskonzepte	193
5.4	Fazit	204
6	Einsatz von Gras in der Biogasproduktion	207
6.1	Biogasproduktion	207
6.1.1	Theoretischer Hintergrund.....	207
6.1.2	Administrative Rahmenbedingungen.....	209
6.1.3	Stand der Technik.....	210
6.1.4	Stand der Praxis.....	211
6.2	Nutzungskonzepte für die energetische Verwendung halmgutartiger Biomasse in Biogasanlagen	218
6.2.1	Beschreibung der Nutzungskonzepte im Untersuchungsgebiet	219
6.2.2	Bewertung der Nutzungskonzepte	228
6.3	Fazit	241
7	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen	243
7.1	Regionale Übertragbarkeit des Vorgehens.....	243
7.2	Abschließende Bewertung der Nutzungskonzepte	246
7.3	Ausblick zur praktischen Umsetzung der Nutzungskonzepte	253
7.4	Weiterer Forschungs- und Handlungsbedarf.....	255

Abbildungsverzeichnis	258
Tabellenverzeichnis.....	264
Literaturverzeichnis.....	267
A 1 Checkliste II für wichtige Einflussgrößen für die Bestimmung des technischen Biomassepotenzials.....	282
A 2 Ertragsdatenbank.....	285
A 3 Einflussfaktoren auf den Biomasseertrag	296
A 4 Gemeinden im Untersuchungsgebiet	307
A 5 Fragebögen zur Erfassung der Wärmesenken in der Untersuchungsregion	308
A 6 Kartographische Ergebnisse der Regionsanalyse	330
A 7 Datenblätter zu ausgewählten Häckselgutfeuerungen	336
A 8 Übersicht zu Schadstoffemissionen ausgewählter Häckselgutfeuerungen	342
A 9 Übersicht zu Pelletkesselanlagen	345
A 10 Biomassebereitstellungskosten für Heuverbrennungsanlagen	369
A 11 Berechnung der THG-Vermeidungskosten	374

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
€	Euro
a	Jahr
AGES	Gesellschaft für Energieplanung und Systemanalyse m. b. H.
Akh	Arbeitskraftstunde
AP	Arbeitspaket
Äq	Äquivalent
ATB	Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BbgNatSchG	Gesetz über den Naturschutz und die Landschaftspflege im Land Brandenburg
BBH	Brandenburg an der Havel
BGA	Biogasanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BMHKW	Biomasseheizkraftwerk
BMHW	Biomasseheizwerk
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BtL	Biomass-to-Liquid
BTNT	Biotoptypen-/ Nutzungstypen Kartierung Brandenburg
BÜK	Bodenübersichtskarte
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
d	Tag
D.	Deutschland
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
DGV	Deutscher Grünlandverband
DIN	Deutsches Institut für Normung

e. G.	Eingetragene Genossenschaft
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
el	elektrisch
ETI	Brandenburgische Energie Technologie Initiative
EW	Einwohner
FFH	Flora-Fauna-Habitat
FM	Frischmasse
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
FS	Full Scale: Messbereichsendwert
FWL	Feuerungswärmeleistung
GewNet 25 BB	Gewässernetz Brandenburg der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg
GHHK	Großer Havelländischer Hauptkanal
GIS	Geographisches Informationssystem
GmbH	Gesellschaft mit begrenzter Haftung
GPS	Ganzpflanzensilage
GVE	Großvieheinheit
GW	Grundwasser
h	Stunde
ha	Hektar
HHS	Holzackschnitzel
HT	Hochtemperatur
HVL	Havelland
HZ	Hauptzeit
IaG	Institut für angewandte Gewässerökologie
IER	Institutes für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung an der Universität Stuttgart
IHK	Industrie- und Handelskammer

InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change: Internationale Organisation zur Erforschung des Klimawandels
ISO	Internationale Organisation für Normung
K	Kalium
KAS	Kalkammonsalpeter
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
km	Kilometer
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
kW	Kilowatt
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
l	Liter
LBGR	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe
LELF	Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung
LGB	Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg
LK	Landkreis
LRT	Lebensraumtyp
LUGV	Landesamt für Umwelt, Gesundheitsschutz und Verbraucherschutz (Brandenburg)
m ³ _N	auf 0 °C und 1.013 mbar Normkubikmeter entsprechend DIN EN ISO 13443
MA	Mitarbeiter
Ma.-%	Massenprozent
max.	maximal
mech.	mechanisch
min.	minimal
MMK	Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Kartierung
MT	Mitteltemperatur
MW	Megawatt
N	Stickstoff

ng	Nanogramm
NT	Niedrigtemperatur
NWL	Nennwärmeleistung
OH	Oberhavel
OPR	Ostprignitz-Ruppin
ORC	Organic-Rankine-Cycle
oTM	organische Trockenmasse
P	Phosphor
PD	Potsdam
PM	Potsdam-Mittelmark
PSM	Pflanzenschutzmittel
RMP	Ringmatrizenpresse
RWI	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.
Srm	Schüttraummeter
SRT	Standortregionaltyp
t	Tonne
T€	Tausend Euro
th	thermisch
THG	Treibhausgase
TM	Trockenmasse
TSP	Triple-Superphosphat (Dünger)
UBA	Umweltbundesamt
ÜN	Übernachtung
WBV	Wasser- und Bodenverband
wf	wasserfrei
Wfl.	Wohnfläche
ZALF	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung

1 Einleitung

Energieerzeugung aus Biomasse leistet einen zunehmenden Beitrag zur Energiebereitstellung in Deutschland. Zur Wärme- und Stromerzeugung wird dafür in Biogasanlagen vorwiegend Gülle und Maissilage sowie in Biomasseheiz- und Biomasse(heiz)kraftwerken überwiegend Holz eingesetzt. Während der steigende Anteil erneuerbarer Energieträger von vielen Seiten begrüßt wird, steht demgegenüber häufig die Kritik, dass die energetische Nutzung von Biomasse in Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung oder der Erzeugung von Rohstoffen für die stoffliche Nutzung steht. So ist es aus ökologischer, wie auch aus der Perspektive sozialer Akzeptanz wünschenswert, alternative Konzepte zur Bioenergiebereitstellung zu untersuchen und hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit zu prüfen. Dabei sollten vor allem biogene Abfälle und Reststoffe verstärkt in den Fokus der Betrachtung rücken. Hier knüpft das Projekt „Grünlandenergie Havelland“ an, welches die energetische Nutzung von bisher ungenutztem Landschaftspflegeheu und Schilf zum Inhalt hat.

1.1 Hintergrund des Projekts

Grünland wurde in der klassischen Landwirtschaft vorwiegend für die Viehwirtschaft genutzt. Frisches Gras, Grassilage und Heu stellten wesentliche Bestandteile des Futters der Nutztiere in Deutschland dar. Durch die zunehmende Nutzung nährstoffreicherer Futterpflanzen - wie beispielsweise Soja - sowie dem Rückgang der Rinderhaltung ist die Nutzung von Grünland aus landwirtschaftlicher Perspektive ungewiss. In dessen Folge wurden Grünlandflächen zu Ackerland umgebrochen, aufgeforstet oder schlicht vernachlässigt, wovon bestimmte Regionen wie das Havelland, der Schwarzwald oder der Bayerische Wald stark betroffen sind. Um aus ökologischen und landschaftsästhetischen Gründen die Grünlandflächen zu erhalten, wurden seitens der Politik Maßnahmen - wie ein partielles Umbruchverbot oder die Veranlassung von Direktzahlungen für Brachflächen - ergriffen. Hierfür müssen die Flächen regelmäßig gepflegt werden, was mindestens eine Mahd pro Jahr sowie teilweise auch die Entfernung des Grünschnitts von der Fläche voraussetzt. Dadurch soll das sukzessive Zuwachsen des Grünlandes durch Büsche und Bäume verhindert und typische Wiesenarten erhalten werden. Durch das Entfernen des Grünguts von der Fläche sollen übermäßige Humusbildung und Nährstoffeintrag in das Grundwasser vermindert werden. Aufgrund nicht vorhandener Nutzung werden die Materialien häufig zum Beispiel als Ballen an den Rändern der Flächen abgelegt, wo sie sich im Laufe der Zeit versetzen.

Materialien aus der Gewässerpflege fallen bei den regelmäßig stattfindenden Pflege- und Unterhaltungsarbeiten der zahlreichen Kanäle an. Dazu werden die Gewässerböschungen und Seitenstreifen im ein bis dreijährigen Turnus gemäht und eine Sohlkrautung des Gewässerlaufs durchgeführt. Eine Nutzung dieser Biomasse findet in Deutschland bisher nicht statt, sie verbleibt häufig im Bereich der Gewässerränder oder muss gar entsorgt werden, um eine Eutrophierung der Gewässer zu verhindern.

Vor allem die Tatsache, dass eine weitere, konkurrierende Nutzung der Substrate nicht gegeben ist und diese Reststoffe oft in bereits konzentrierter Form vorliegen, macht sie wirtschaftlich interessant für eine energetische Verwertung.

1.2 Zielsetzung

Ziel des Projekts ist die Entwicklung und Bewertung von Konzepten zur energetischen Nutzung des anfallenden Grünguts. Diese Nutzungskonzepte schließen alle wesentlichen Schritte - von der Rohstoffquelle bis zur energetischen Verwendung - ein. Die Bewertung der Nutzungskonzepte erfolgt anhand der Parameter Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen (vor allem hinsichtlich der Emittierung von Treibhausgasen) und praktische Umsetzbarkeit. Die Untersuchungen erfolgen anhand der Modellregion Havelland. In der Region sind hohe Überschüsse von Gras aus der extensiven Grünlandbewirtschaftung, der Gewässer- und Biotoppflege zu erwarten. Die Region Havelland wird in diesem Zusammenhang stellvertretend für weitere grünland- oder gewässerreiche Regionen Deutschlands herangezogen.

Das übergreifende Ziel der Entwicklung von Nutzungskonzepten wird in diesem Projekt durch die Untersuchung folgender Teilziele untersetzt:

- Entwicklung einer Methode zur Analyse des Grüngutpotenzials
Für eine regionale Analyse ist eine möglichst detaillierte Kenntnis zum Grüngut aus der Grünlandbewirtschaftung sowie der Gewässer- und Biotoppflege nötig, weshalb hierfür eine Methode entwickelt wird (bearbeitet von Bosch & Partner).
- Entwicklung einer Methode zur Analyse des Wärmebedarfs in einer Region
Grundlegend für die Entwicklung von Nutzungskonzepten in der Region, bei denen eine entsprechende Wärmeerzeugung erwartet werden kann, ist die detaillierte Kenntnis zu Umfang und Art der Wärmenutzer in der betrachteten Region. Aus diesem Grund soll eine entsprechende Methodik entwickelt werden (bearbeitet vom DBFZ).
- Komprimierte Darstellung der derzeit bestehenden technischen Möglichkeiten und Praktiken für die energetische Konversion von Grüngut zu Wärme und Strom
Vor dem Hintergrund der Erarbeitung übertragbarer Konzepte sollen die verfügbaren Technologien wertend dargestellt werden, um diese anschließend in die Nutzungskonzepte einarbeiten zu können (Nutzung von Grüngut in Verbrennungsanlagen: bearbeitet vom DBFZ; Nutzung von Grüngut in Biogasanlagen: ATB).
- Bestimmung der Pelletierungs- und Verbrennungseigenschaften von Grüngut
Hinsichtlich der Technologien zur Pelletierung und Verbrennung von Grüngut ist zu erwarten, dass im Vergleich zur Nutzung von Grüngut in Biogasanlagen nur wenige praxisreife Technologien am Markt verfügbar sind. Deshalb sollen die Pelletierungs- und Verbrennungseigenschaften von Grüngut hinsichtlich deren Übertragbarkeit auf bestehende Anlagen eingehender untersucht werden (bearbeitet vom DBFZ).

1.3 Vorgehen und Bearbeiter

Für die Durchführung des Projekts wurde die Region „Havelland“ ausgewählt. Grund für die Auswahl dieser Region sind die hohen Grüngutüberschüsse aus der extensiven Grünlandbewirtschaftung sowie gleichzeitig aus der Gewässer- und Biotoppflege. Aus diesen und weiteren Gründen eignet sich dieses

Untersuchungsgebiet im besonderen Maße für die Etablierung von verschiedenen Nutzungspfaden zur energetischen Nutzung von Grüngut (siehe Kapitel 1.4). Anhand des Untersuchungsgebiets wurden Methoden entwickelt und erprobt, die übertragbar sein sollen auf weitere grünland- oder gewässerreiche Regionen in Deutschland.

Basis der Untersuchungen zur energetischen Nutzung von Grüngut in der betrachteten Region stellt eine detaillierte **Potenzialanalyse** dar. Dafür wird **Bosch & Partner** anhand des rechnergestützten Programms ArcGIS sowie detaillierter Kartendaten im Zusammenhang mit Aussagen von Experten zu Ertrag, Nutzung und Verlust das jährlich verfügbare Aufkommen an Grüngut ermittelt (Kapitel 2).

Weiterer Bestandteil der regionalen Analyse ist die Identifikation von **potenziellen Wärmeabnehmern** und deren geographische Zuordnung in der Region (Kapitel 3) durch das **DBFZ**. Die Ergebnisse werden in Form von Tabellen sowie Karten dargestellt und anschließend den Ergebnissen der Grüngutpotenzialanalyse gegenübergestellt (Kapitel 4). Anhand dieser Ergebnisse werden im weiteren Verlauf geeignete Standorte für Grüngut-basierte Energieanlagen identifiziert.

Für die energetische Nutzung des verfügbaren Grünputs werden die beiden grundsätzlichen Konversionspfade Verbrennung und Biogaserzeugung betrachtet. Dabei wird die gesamte Nutzungskette untersucht. Für die Nutzung von Heu in Heizwerken untersucht das **DBFZ** zunächst die Aufbereitung des Brennstoffs Heu durch die **Pelletierung** untersucht. Neben Recherchen werden hierfür Heuproben aus dem Untersuchungsgebiet ausgewählt und in industriellen Anlagen pelletiert um anschließend die Pelletqualität zu untersuchen. Dabei werden verschiedene Additive zugegeben, von denen eine Verbesserung der Verbrennungseigenschaften in **Heuheizwerken** erwartet werden kann. Bei den darauf folgenden Verbrennungsversuche am DBFZ werden in zwei dafür geeigneten Kesseln die Pellets über einen Zeitraum von sechs Monaten verbrannt und kontinuierlich benötigte Messdaten erhoben und ausgewertet. Anhand beispielhaft gewählter Standorte werden mögliche Nutzungskonzepte für die Energieerzeugung aus Gras aufgezeigt und bewertet. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit erfolgt anhand der Wärmegestehungskosten. Die ökologischen Auswirkungen wurden vorwiegend anhand der Treibhausgasbilanzierung bewertet. Die Sicherstellung der Umsetzbarkeit für die praktische Anwendung der Nutzungskonzepte wurde anhand der Aussage eines Regionalworkshops eingeschätzt und daraufhin optimiert. (Kapitel 5).

Des Weiteren stellt das **ATB** die aktuelle Nutzung sowie die technischen Voraussetzungen und Möglichkeiten für die Nutzung von Gras in **Biogasanlagen** dar. Diese Erkenntnisse basieren auf einer ausgiebigen Rechercharbeit und einer Umfrage in der Untersuchungsregion. und anhand der Stromgestehungskosten bei Biogasanalgen. Analog zu Kapitel 5 werden basierend der Grüngutpotenzial- und Wärmeeanalyse sowie der verfügbaren Technologien Nutzungskonzepte entwickelt. Die Bewertung erfolgte anhand der Stromgestehungskosten, des Treibhausgasminderungspotenzials gegenüber der Wärme- und Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen sowie anhand der praktischen Umsetzbarkeit (Kapitel 6)

Abschließend werden die Ergebnisse des Projekts zusammenfassend bewertet, um daraus **Schlussfolgerungen** für die Übertragbarkeit auf andere Regionen zu ziehen (Kapitel 7, **DBFZ** sowie **Bosch & Partner**).

1.4 Untersuchungsregion

Das gewählte Untersuchungsgebiet „Havelland“ befindet sich westlich von Berlin im Bundesland Brandenburg. Es setzt sich aus den vier Landkreisen Ostprignitz-Ruppin (OPR), Oberhavel (OH), Havelland (HVL) und Potsdam-Mittelmark (PM) sowie den beiden kreisfreien Städten Potsdam (PD) und Brandenburg an der Havel (BBH) zusammen (siehe Abbildung 1-1) [1]. Die maximale Nord-Süd-Ausdehnung der Untersuchungsregion liegt bei etwa 95 km und die Ost-West-Ausdehnung bei etwa 75 km. Eine Liste aller betrachteten Gemeinden ist im Anhang A 4 zu finden.

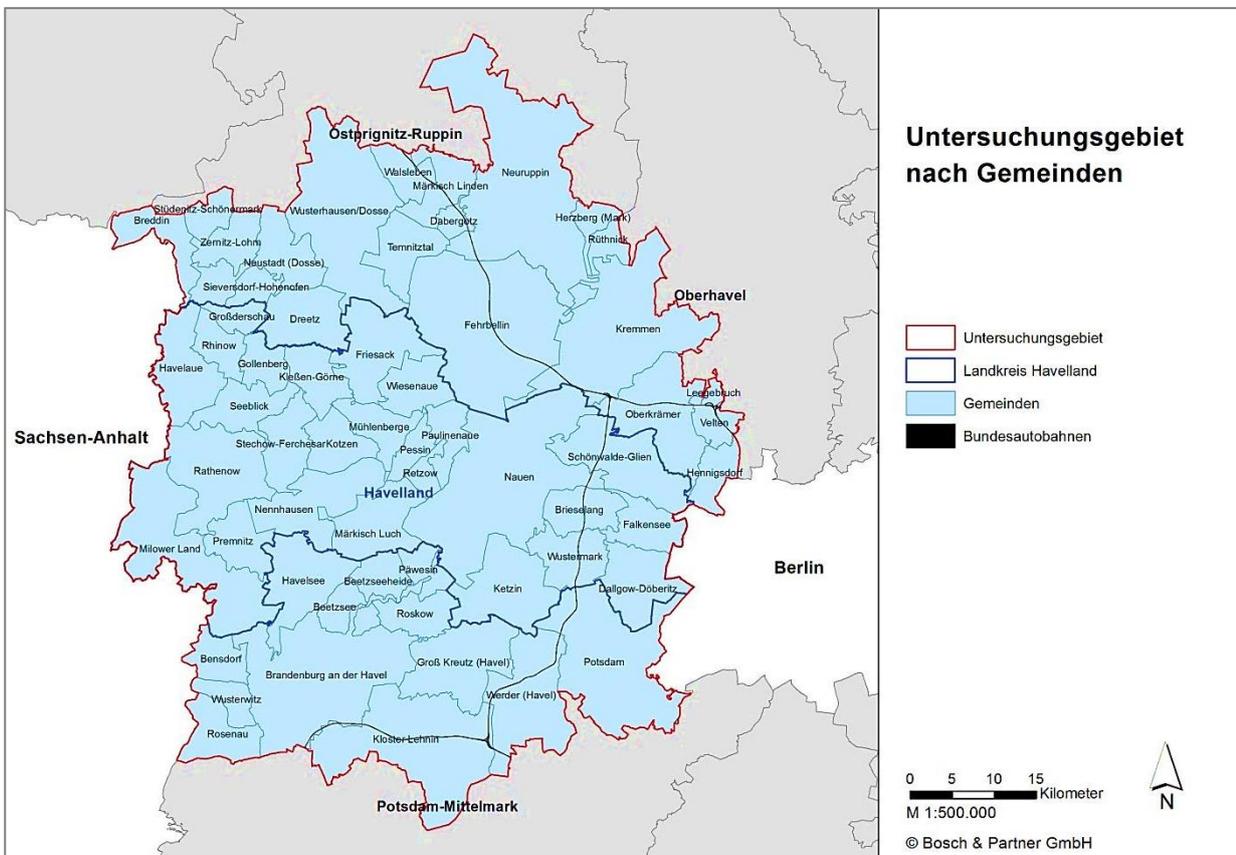


Abbildung 1-1: Abgrenzung des Untersuchungsgebiets „Havelland“ (Abbildung: Bosch & Partner)

Die Kulturlandschaft des Havellands ist in der gesamten Bundesrepublik durch das berühmte Fontanegedicht „Von Ribbeck auf Ribbeck im Havelland“ bekannt. Die weiten Grünlandflächen und Feuchtgebiete haben nicht nur Fontane beeindruckt und inspiriert, sondern locken auch heute noch zahlreiche Erholungssuchende und Touristen in die wasserreiche und grünlandgeprägte Region. Die untersuchte Region verfügt über eine Grünlandfläche von rund 68.300 ha. Dies entspricht knapp 30 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche des Projektgebiets. Mit Schwerpunkten zusammenhängender Bereiche im Rhinluch, im Havelländischen Luch und der Unteren Havelniederung erstrecken sich Grünland über die gesamte Region. Die Landschaft ist durchzogen von Kanälen, die teilweise als Wasserstraßen ausgebaut sind. Als Folge dieser Flächenstruktur kommt es zu einem erheblichen Aufkommen von Gras und Heu sowie Materialien aus der Gewässerpflege (zum Beispiel Schilf). In

folgender Tabelle 1-1 sind die Gemeinden beziehungsweise kreisfreien Städte mit ihren Grunddaten zur Flächennutzung dargestellt.

Tabelle 1-1: Eckdaten zur Flächennutzung, Bevölkerungsanzahl und Bevölkerungsdichte im Untersuchungsgebiet [1]

	Gesamte Fläche* [km ²]	Landwirtschaftsfläche* [km ²]	Waldfläche* [km ²]	Verkehrsfläche* [km ²]	Wohnfläche* [km ²]	Gewerbe- und Industrie- fläche* [km ²]	Bevölkerungsanzahl* [EW]	Bevölkerungsdichte* [EW/km ²]
BBH	228,8	68,3	64,5	8,7	9,3	8,2	72.516	317
PD	187,3	57,7	46,5	11,2	13,8	6,3	152.966	817
HHL	1.717,3	1.030,1	438,4	57,3	35,9	11,4	155.141	90
OH	373,0	175,8	129,4	13,8	10,9	10,9	62.300	167
OPR	1.209,1	804,0	271,6	36,4	15,3	1,9	61.815	51
PM	723,1	405,4	199,1	24,2	12,7	4,4	57.120	79
Gesamt	4.438,7	2.541,2	1.149,5	151,5	97,9	43,0	561.858	127

*nur Angaben zu den Gemeinden, die Teil des Untersuchungsgebietes sind

Die zu betrachtenden Grünlandfläche wurde aus den zur Verfügung gestellten InVeKoS-Daten ermittelt. Der überwiegende Teil, der 68.300 ha großen Grünlandfläche im Untersuchungsgebiet, entfällt mit ca. 45.150 ha auf extensiv genutzte Grünlandfläche. Der Rest von ca. 23.150 ha wird intensiv genutzt.

In Tabelle 1-2 wird die Grünlandnutzung in den einzelnen Landkreisen dargestellt, die sich aber nur auf die im Untersuchungsgebiet befindlichen Teile der Landkreise beschränken. Die Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe sowie der Wasser- und Bodenverbände in der Region sind im Vergleich zu anderen Regionen sehr flächenstark, so dass die Zahl der für die Mobilisierung ausreichend großer Biomassepotenziale zu gewinnenden Akteure vergleichsweise klein und damit einfacher ist.

Tabelle 1-2: Grünlandfläche, gegliedert nach deren Bewirtschaftungsintensität im Untersuchungsgebiet und aufgeteilt nach den Landkreisen (kreisfreie Städte wurden nicht berücksichtigt) [2]

Landkreis	Grünland extensiv [ha]	Grünland intensiv [ha]	Grünland gesamt [ha]
Havelland	20.259	8.477	28.736
Ostprignitz-Ruppin	13.560	8.487	22.047
Oberhavel	4.362	2.159	6.521
Potsdam-Mittelmark	6.951	4.009	10.960
Gesamt	45.132	23.132	68.264

Ein bedeutender Teil des Grünlandes im Untersuchungsgebiet leidet unter Vernässung, was die landwirtschaftliche Nutzung erschwert, da die Flächen in diesen Zeiten nicht befahren werden können. So verhindert anhaltende Staunässe im Frühling die rechtzeitige Durchführung von Feldarbeiten wie beispielsweise Düngerausbringung oder Beseitigung von Wildschäden. Im Sommer und Herbst kann erhöhte Bodenfeuchtigkeit, als Resultat ausgiebiger Niederschläge, die Ernte sowie die Beweidung des Grünlandes behindern. In Naturschutzgebieten mit einer späten Mahd führt das hin und wieder dazu, dass die Flächen während der Vegetationsperiode überhaupt nicht geräumt werden können. In diesen Fällen erfolgt die Mahd mit oder ohne Mähgutabfuhr im Winter, wenn landwirtschaftliche Maschinen auf gefrorenem Untergrund fahren können, oder erst im darauffolgenden Jahr. Die Wasserregulierung ist ein sehr wichtiger Aspekt bei der Grünlandbewirtschaftung, da die Bodenfeuchte in hohem Maße Erträge und Qualität des Grases beeinflusst. In den 80er Jahren konnte das Grünland in Brandenburg auf 37 % der Fläche zweiseitig wasserreguliert (be- und entwässert) und auf 43 % der Fläche angestaut werden [3]. Gegenwärtig finden diese Maßnahmen deutlich seltener statt, was durch die dabei entstehenden Kosten zu erklären ist. Wasserdefizite, besonders während der Sommermonate, spielen ebenso eine Rolle. Das aktuelle Wassermanagement wird seitens vieler Landwirte bemängelt. Unzureichende Wasserregulierung einerseits, sowie zunehmende Naturschutzaufgaben andererseits führen dazu, dass Grünlandflächen aus landwirtschaftlicher Sicht ihren Wert verlieren. Die Gewinnung hochwertigen Futters beziehungsweise Substrats für die Biogaserzeugung gestaltet sich unter diesen Bedingungen schwer. In einigen Gegenden werden die extensiven Grünlandflächen als „zwangsläufiger Anhang“ zu den gewünschten Ackerflächen verkauft oder verpachtet.

Das Grünland im Untersuchungsgebiet ist häufig verschiedenen Schutzgebieten zugeordnet. In diesen Fällen unterliegt die Flächenbewirtschaftung ordnungsrechtlichen Nutzungseinschränkungen zur Sicherung der Biodiversität. Überdies nehmen viele Landwirte an freiwilligen Agrarumweltmaßnahmen teil, die in erster Linie auf eine Verringerung der Stoffzufuhr (Pflanzenschutzmittel, Nährstoffe) gerichtet sind. Zum Ausgleich entstehender Ertragseinbußen erhalten die Landwirte finanzielle Entschädigungen. Das extensiv bewirtschaftete Grünland wird nur noch teilweise als Weide oder zur Futterbergung genutzt. In der künftigen Entwicklung der Grünlandflächen der Region rechnen viele Landwirte mit einer weiteren Ausdehnung der extensiv genutzten Flächen. Unter diesen Bedingungen bietet sich damit eine energetische Nutzung des vorhandenen Grases an.

2 Potenzialanalyse

Die Entwicklung von Konzepten zur energetischen Nutzung von Gras und Schilf auf regionaler Ebene erfordert zunächst die Durchführung spezifischer Potenzialanalysen. Deren Ergebnisse bilden die Grundlage der konkret möglichen energetischen Konversionspfade. In der vorliegenden Potenzialanalyse wird zwischen den folgenden Flächenkategorien unterschieden:

- Landwirtschaftliches Grünland
- Gewässerränder, Uferböschung
- Besondere Biotopflächen (Kompensationsflächen, Feuchtwiesen etc.)

Im Folgenden werden die Zielstellung, das Methodenkonzept und die ermittelten Biomassepotenziale dargelegt und erläutert. Dabei wird zunächst das allgemeine Methodenkonzept und im Anschluss die übertragbaren Methoden für die drei Flächenkategorien vorgestellt. Darauf aufbauend werden die entwickelten Analysemethoden in der Untersuchungsregion angewendet und so die Biomassepotenziale zur energetischen Nutzung ermittelt (Abbildung 2-1).

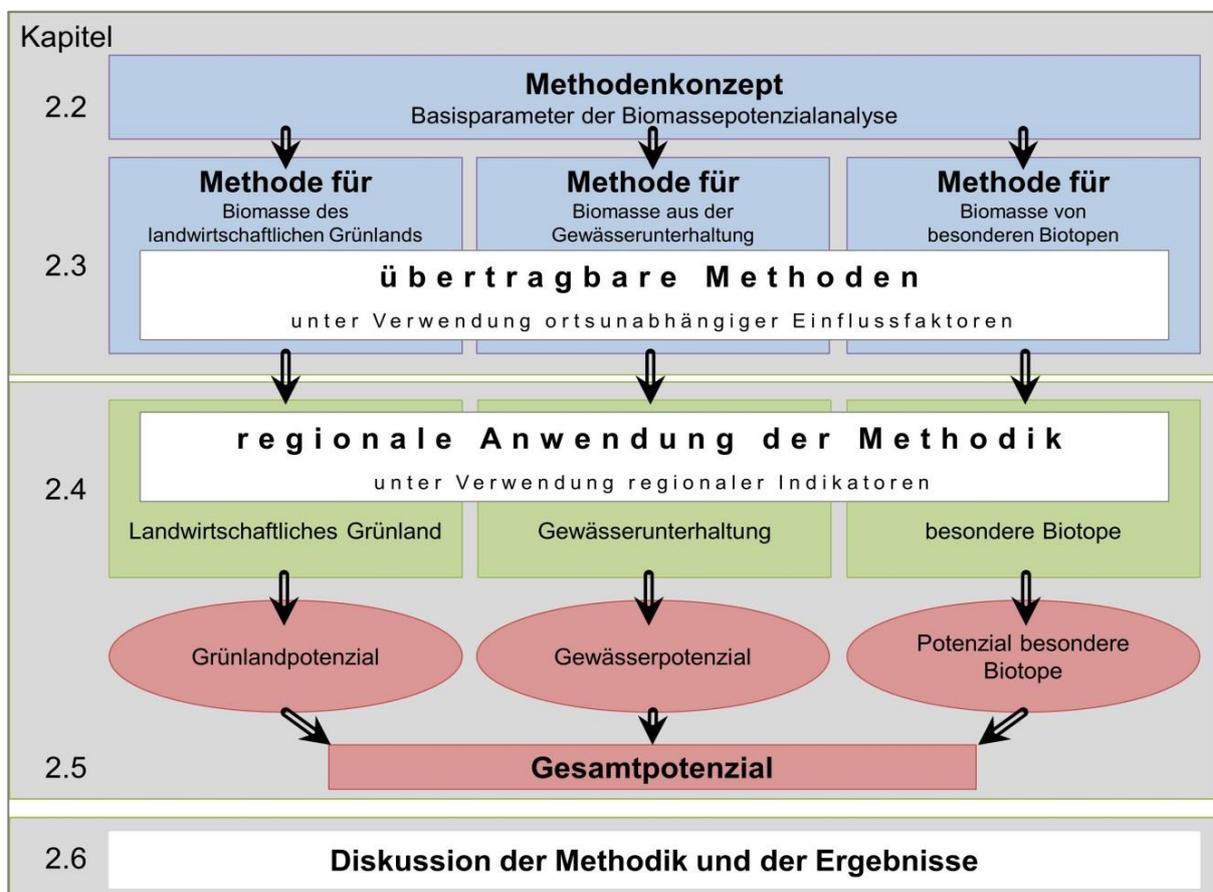


Abbildung 2-1: Übersicht zur Gliederung des Kapitels 2 Potenzialanalyse (Abbildung: Bosch & Partner)

Abschließend wird das Methodenkonzept, die Vorgehensweise und das Ergebnis im Kontext des Projekts und des Förderprogramms diskutiert.

2.1 Ziel der Potenzialanalyse

Potenzialanalysen im Bereich Biomasse sind von einer Vielzahl von Faktoren und der Betrachtungsebene abhängig sowie zum Teil von großen Unsicherheiten geprägt. Insbesondere die Analyse von Landschaftspflegematerial sowie landwirtschaftlichem Grünland auf Landesebene erfolgte bisher überwiegend durch eine überschlägige Abschätzung von Biomasseerträgen ohne die räumliche Verteilung der unterschiedlichen Potenziale zu berücksichtigen. Dabei wird für bestimmte Grünlandtypen einer Region ein Ertragswert über alle Flächen gemittelt (vgl. [6]). Eine räumliche Abgrenzung von Bereichen mit hohem Biomassepotenzial und entsprechenden Gebieten mit geringem Potenzial erfolgt zum Teil auf regionaler Ebene (vgl. [9]). Um den Grundstein für eine qualifizierte weiterführende Regionsanalyse zu legen, bedarf es konkreter Aussagen zur räumlichen Verteilung von Biomassepotenzialen. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Betrachtung der Potenziale aus der Gewässerunterhaltung oder besonderen Biotopen. Hier liegen nur wenige Erkenntnisse zu erwarteten Erträgen und deren räumlicher Verteilung vor (vgl. [8]).

Das Ziel der Potenzialanalyse ist die räumlich differenzierte Darstellung der Biomassepotenziale auf regionaler Ebene. Dabei soll für jede Fraktion und jeden Flächentyp im Untersuchungsgebiet zunächst das theoretische und unter Beachtung restriktiver Kriterien, das technische Potenzial ausgewiesen werden. Bei der Betrachtung des technischen Potenzials wird gegebenenfalls zwischen verschiedenen Ausprägungen unterschieden. Zum einen wird das zur Verwertung in einer Biogas- oder Verbrennungsanlage verfügbare Potenzial vor dem Hintergrund von Nutzungskonkurrenzen bestimmt. Zum anderen wird das mobilisierbare Potenzial, vor dem Hintergrund der technisch-logistischen Zugänglichkeit ermittelt, da besonders bei Reststoffen und Material aus der Landschaftspflege die Mobilisierbarkeit eine wichtige Rolle spielt. Die räumliche Verteilung der Ergebnisse soll schließlich Aussagen zu Bereichen mit besonders hohem Biomasseaufkommen („Biomassehotspots“) liefern. Dabei werden die Aussagen räumlich so aufbereitet, dass sie mit den Resultaten der Regionsanalyse (Kapitel 3) für die weiterführenden Auswertungen kompatibel sind.

Eine weitere grundlegende Anforderung stellt die Übertragbarkeit der entwickelten Methoden zur Potenzialanalyse auf andere Regionen dar. Zur Gewährleistung der Übertragbarkeit für alle drei Flächenkategorien, werden allgemeingültige Parameter und Einflussfaktoren der Biomassepotenziale ermittelt und verwendet. Die Analyse wird mit Hilfe eines geographischen Informationssystems (GIS) mit technisch reproduzierbaren Analyseschritten durchgeführt.

2.2 Vorgehen

Berechnungsmethoden zur Ermittlung von Biomassepotenzialen sind maßgeblich von der Art der zugänglichen Daten abhängig. Zudem sind für die Erträge unterschiedlicher Flächenkategorien jeweils andere Einflussfaktoren ausschlaggebend. Aufgrund dessen existiert eine Vielzahl von Methoden zur Ermittlung von Biomassepotenzialen, deren verschiedene Ansätze sich durch unterschiedliche Datengrundlagen, Zielstellungen und Terminologien begründen lassen.

Im Rahmen des BMU Förderprogramms „Optimierung energetischer Biomassenutzung“ erfolgte eine Definitions- und Methodenharmonisierung erarbeitet, um die Vergleichbarkeit und Genauigkeit von Potenzialstudien zu erhöhen. Das Methodenhandbuch definiert grundlegende Terminologien und stellt eine Checkliste für relevante Einflussgrößen zur Bestimmung des Biomassepotenzials zur Verfügung [4]. Gleichmaßen verweist es auf die projektspezifische Anpassung der Analyse. Die ausgefüllte Checkliste für dieses Projekt befindet sich im Anhang A 1.

Die Entwicklung der im Weiteren vorgestellten Methode zur Potenzialanalyse verlief parallel und im Austausch mit der Methodenharmonisierung des Förderprogramms. Definitionen und methodische Ansätze aus dem Methodenhandbuch wurden als rahmengebende Konstitution beachtet.

Aufgrund unterschiedlicher Eigenschaften der Flächenkategorien und unterschiedlicher Perspektiven (Bundesebene, regionale Ebene oder kommunale Ebene) sind verschiedene methodische Lösungsansätze notwendig. In Abhängigkeit der betrachteten Biomasse sind damit auch jeweils andere Einflussgrößen relevant. Die Vergleichbarkeit der Methode und ihre Übertragbarkeit auf andere Regionen stellt im Projekt jedoch eine wichtige Anforderung dar. Um dies grundsätzlich zu gewährleisten wurde ein Set von Parametern identifiziert, welches zur Ermittlung der Potenziale der verschiedenen relevanten Biomassefraktionen heranzuziehen ist und je nach Betrachtungsebene, Flächenkategorie und konkreter Datenlage spezifisch abgebildet werden muss. Das Biomassepotenzial ist grundsätzlich über folgende Parameter definiert:

- Biomasseertrag (Basispotenzial), davon abhängig sind alle weiteren Potenziale
- Biomassequalität, davon abhängig sind die grundsätzlich möglichen technischen Verwertungsoptionen
- Biomasseverlust, unter anderem Werbungs- und Ernteverluste, davon abhängig ist die erforderliche Reduktion des Basispotenzials
- Nutzungskonkurrenzen, davon abhängig ist die erforderliche Reduktion des Basispotenzials
- Räumliche Lage der Biomasse, davon abhängig sind der Bergungs- und Transportkostenfaktor

Die konkrete Ausprägung jedes Parameters wird durch unterschiedliche Einflussfaktoren bestimmt (vgl. Abbildung 2-2). Jeder Flächenkategorie sind im Rahmen des übertragbaren Methodenteils verschiedene Einflussfaktoren zugeordnet (beispielsweise der Standorttyp als ein Einflussfaktor des Biomasseertrags), die ortsunabhängig gelten (vgl. Kapitel 2.3) und für die Erfassung operationalisiert werden müssen. Der Wert und der räumliche Bezug der Parameter werden über die Quantität und Qualität der Indikatoren hergestellt, die abhängig von der betrachteten Kategorie sowie der regionalen Datengrundlage im Einzelfall zu ermitteln sind (beispielsweise der Bodentyp als ein Indikator des Standorttyps). Dabei spiegelt die Auswahl der Einflussfaktoren den aktuellen Stand des Wissens wider.

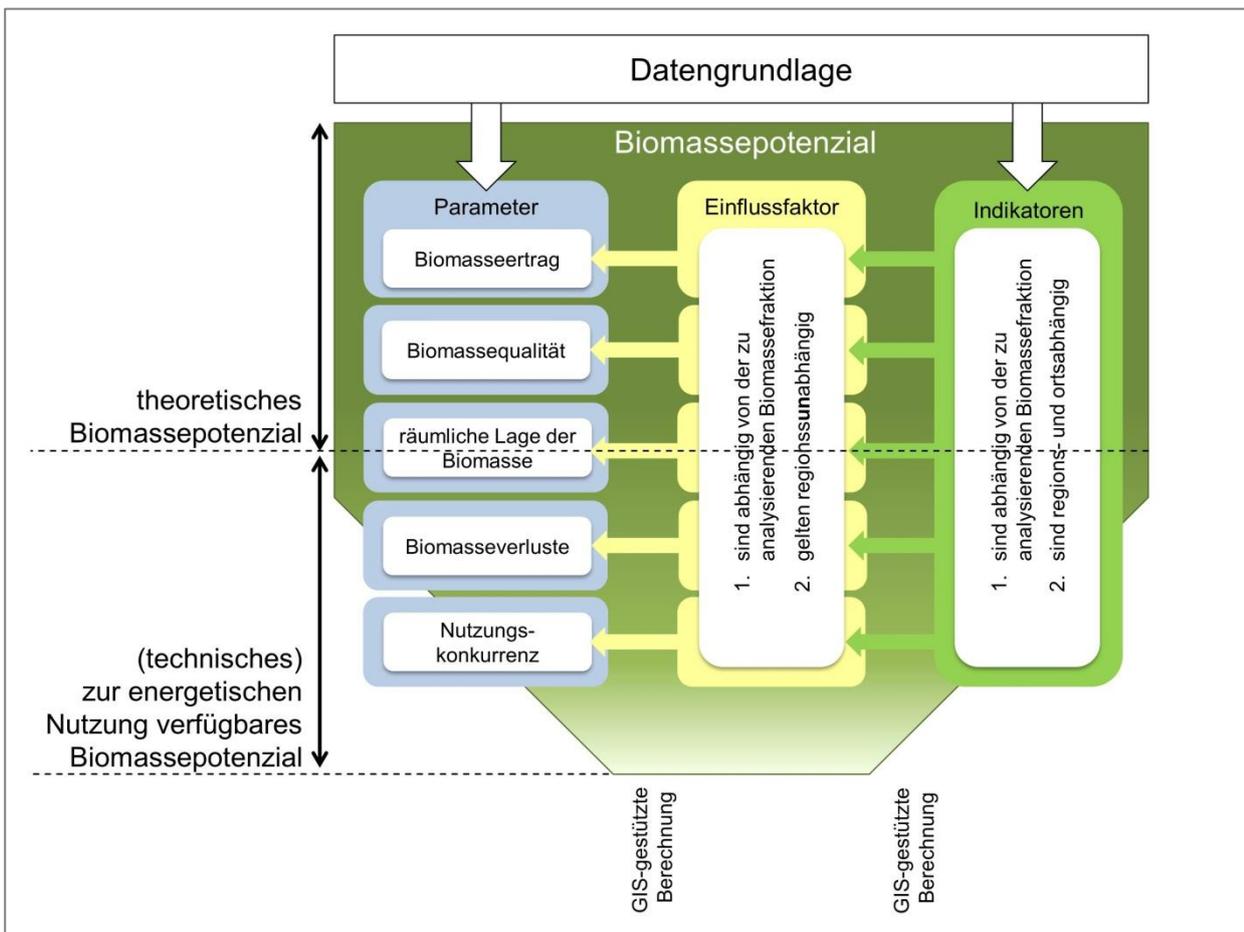


Abbildung 2-2: Methodengerüst zur Analyse von Biomassepotenzialen (Abbildung: Bosch & Partner)

Die Analyse der Biomassepotenziale erfolgt statistisch und unter Anwendung eines GIS. In diesem Rahmen werden die bei der Auswertung ermittelten Einflussfaktoren in eine Datenbank übertragen, um sie mit einer GIS-Software weiterverarbeiten und in ihrer räumlichen Verteilung darstellen und analysieren zu können. Über die Qualifizierung und räumliche Abbildung der Einflussfaktoren werden die für die Potenzialermittlung erforderlichen Parameter definiert, so dass sie einer raumbezogenen Analyse und Bewertung unterzogen werden können. Hierbei wird eine maßstabs- und blattschnittfreie Visualisierung der Ergebnisse ermöglicht.

Datengrundlage

Das Vorhandensein relevanter Daten zur Quantifizierung der Einflussfaktoren ist Voraussetzung für die Anwendung des Methodenkonzepts und hat zentrale Wirkung auf den Detailgrad der Potenzialanalyse. Die Zugänglichkeit von Datengrundlagen nahm in der Konzeptentwicklung einen wichtigen Aspekt ein.

Als Grundvoraussetzung wurde die GIS-Kompatibilität, also die Möglichkeit der räumlichen Zuordnung der Daten, in den Vordergrund gestellt. Diese sollten in ihrer Detailschärfe der regionalen Ebene angepasst sein. Informationen über Standort, Bewirtschaftung und weitere Faktoren, welche die Ertragsbildung und Qualität der Biomasseaufwüchse maßgeblich beeinflussen, sind auf regionaler

Ebene im Bundesgebiet unterschiedlich verfügbar. Ertrags- und Qualitätswerte können insbesondere durch eine Literaturrecherche und die Abfrage von Expertenwissen konkretisiert werden.

Die Einflussfaktoren sind grundsätzlich regionsunabhängig gültig, wohingegen die Auswahl der zur Bestimmung ihrer Ausprägung heranzuziehenden Indikatoren einzelfallabhängig erfolgen muss. Generell ist festzustellen, dass die Datenverfügbarkeit zur Abbildung der einzelnen Parameter je nach Flächenkategorie unterschiedlich zu bewerten ist. Für die Biomasse landwirtschaftlich genutzter Grünlandflächen liegen bspw. in Zusammenhang mit den europäischen Förderprogrammen im Rahmen der Datenbank des Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) detaillierte Informationen vor. Anders ist die Datenlage im Bereich Gewässer und Landschaftspflegematerial von besonderen Biotopen zu beurteilen. Hier ist die Dichte der Informationen deutlich geringer (vgl. auch Kapitel 2.4).

Hinweise für die Übertragung der Methoden

Grundlegend ist anzumerken, dass Daten regional unterschiedliche Informationsgehalte aufweisen und jeweils zielführend ermittelt und verwendet werden sollten. Dadurch kann es in Einzelfällen dazu kommen, dass gegebenenfalls einzelne Schritte der Methodik an die Datenlage anzupassen sind oder übersprungen werden können.

Im Allgemeinen sind Informationen über Grünlanderträge und Biomasseaufkommen aus der Gewässerunterhaltung oder von besonderen Biotopen häufig einzelfallbezogen. Aus diesem Grund sollte bei der Anwendung der Methoden zunächst sichergestellt werden, dass eine ausreichende Datengrundlage zur räumlichen Qualifizierung zugänglich ist. Darüber hinaus gilt es, relevante und möglichst detailreiche Daten zu identifizieren die zumindest eine ausreichende Abbildung der realen Potenziale erlauben. Neben der Recherche vorhandener Daten ist dem Expertenwissen eine wichtige Rolle zugeordnet.

Schwankungsbreiten

Potenzialanalysen, insbesondere von Reststoffbiomassen, unterliegen sachnotwendig verschiedenen Unsicherheiten. Es ist unter Verwendung derzeit vorhandener Daten und Informationen nicht möglich, exakte Biomassepotenziale zu ermitteln. Bei der Bestimmung von Ertragsgrößen herrscht einerseits Analyseunsicherheit, da nicht alle Einflussfaktoren realitätsgetreu abgebildet werden können. Beispielweise können unterschiedliche Eigenschaften innerhalb zusammengefasster Standorttypen in der Realität zu einer Schwankungsbreite von 20 % und mehr des mittleren Ertrags führen. Andererseits ist grundlegend mit jährlichen Verschiebungen des Biomasseertrags zu rechnen. Durch die klimatisch unterschiedlichen Bedingungen können in extremen Jahren Schwankungen von über 50 % [5,6] auftreten.

Die Berücksichtigung der Schwankungsbreiten innerhalb der folgenden Methoden erfolgt in zwei Ansätzen. Zum einen wird bezüglich der jährlichen Schwankungen unterstellt, dass es im langjährigen Mittel zu einem Ausgleich der Erträge durch die Lagerung der Biomasse kommt. Hier können Ertragsspannen von ertragsarmen und ertragsreichen Jahren abgeschätzt werden, die jedoch für die weitere Potenzialanalyse vernachlässigbar sind.

Zum anderen wird bezüglich der weiteren unsicherheitsbedingten Schwankungen ein deutlich restriktiver Ansatz gewählt. Beispielsweise werden Ertragsdaten verwendet, die am unteren Ende des Mittelwertes liegen oder Konkurrenznutzungen werden mit überdurchschnittlichen Anteilen in die Ermittlung einbezogen. Durch die Betrachtung eines restriktiv ausgerichteten Biomassepotenzials können auch hier Ertragsspannen vernachlässigt und ein Einzelwert verwendet werden. Bei der konkreten Betrachtung einzelner Anlagenstandorte in der weiterführenden Regionsanalyse (Kapitel 3) sind Aspekte von Ertragsspannen gegebenenfalls in die Detailbetrachtung einzubeziehen.

Auswirkungen von Extremereignissen und der Entwicklung von Preisniveaus unterschiedlicher Biomassen wurden in der Analyse nicht berücksichtigt. Relevante Extremereignisse sind bspw. Hochwasser, wie 2007 im Havelland. Diese können im Bereich Grünland zu hohen Ertragsausfällen führen, wenn die Bewirtschaftung der Flächen nicht mehr möglich ist oder das Material maßgeblich an Qualität verliert. Eine Änderung des Preisniveaus im Bereich Grünschnitt kann dazu führen, dass Flächen, die bisher aufgrund des geringen Nutzens kaum oder nicht gedüngt wurden und damit deutlich an Qualität und Ertragspotenzial verloren haben, wieder intensiver bewirtschaftet werden. Dies würde zumindest zu einem deutlichen Anstieg des theoretischen Potenzials führen. Welche Auswirkungen sich im konkreten Fall für das technische Potenzial einstellen würden, ist situationsabhängig. Eine ähnliche Annahme kann für die Erträge aus der Gewässerunterhaltung getroffen werden. Dort werden Unterhaltungsmaßnahmen bevorzugt, die einen geringen Aufwuchs begünstigen und im Falle der gewollten Verwertung des Materials zur Begünstigung eines hohen Ertrags durchgeführt werden könnten.

2.3 Übertragbare Methoden zur Analyse der Biomassepotenziale

Die übertragbaren Methoden stellen den standortunabhängigen Teil der Vorgehensweise dar. Es werden die relevanten Einflussfaktoren und ihre Bedeutung für die Ausprägung der Parameter erläutert.

2.3.1 Potenzialanalyse von Grünlandbiomasse

Zur Ermittlung des Biomassepotenzials von Grünlandflächen wurde das definierte Set von Parametern (vgl. Kapitel 2.2) durch relevante Einflussfaktoren konkretisiert. Für Biomasse von Grünland liegen keine umfassenden Ertragsdaten vor, wie sie für andere landwirtschaftliche Erzeugnisse bspw. Getreidearten üblich sind. Die Entwicklung einer übertragbaren Methode zur Ermittlung des Parameters Biomasseertrags von Grünlandflächen auf der Grundlage allgemein vorhandener Daten stellte daher eine zentrale Aufgabe dar.

Es wurden Einflussfaktoren aus zugänglichen und gut handhabbaren Datenbeständen gewählt, um auf diese Weise die Übertragbarkeit der Methodik weitreichend gewährleisten zu können. Die relevanten Einflussfaktoren und beispielhafte Indikatoren werden im Folgenden erläutert.

Die Entwicklung der Methode und des Analyseprozesses wurden parallel durch unterschiedliche Expertengruppen im Rahmen von Workshops und Sitzungen begleitet und die Ergebnisse abschließend diskutiert. Mit dem Deutschen Grünlandverband e. V. (DGV) und dem brandenburgischen Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF)

wurden grundlegende Ansätze erörtert und die Auswahl relevanter Einflussfaktoren sowie möglicher Indikatoren abgestimmt. Abschließend wurden die Methodik sowie die Ergebnisse auch Landwirten der Region vorgestellt und zur stichpunktartigen Validierung vorgelegt. Die Auswahl der Einflussfaktoren zur Qualifizierung der Parameter spiegelt den aktuellen Stand der Forschung wider, erhebt dabei jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Aufgrund der regional unterschiedlichen Datenlage wird empfohlen im Einzelfall, gegebenenfalls weitere relevante Faktoren in die Analyse zu integrieren.

Im Folgenden wird die allgemeine Vorgehensweise für die Ermittlung der energetisch nutzbaren Biomassepotenziale von Grünlandflächen erläutert.

Übertragbares Konzept der Analyse

Die Methodik zur Ermittlung des Biomassepotenzials von landwirtschaftlichen Grünlandflächen und der räumlichen Verteilung umfasst zwei Stufen. Auf der ersten Stufe wird die Ausprägung der Parameter Biomasseertrag, räumliche Lage der Biomasse und Biomassequalität zur Bestimmung des theoretischen Potenzials abgeschätzt. Die Berechnung des technischen Potenzials, unter besonderer Berücksichtigung der für die Zuordnung von Konversionspfaden nötigen Angaben zur Biomassequalität und zur Logistik, erfolgt auf der zweiten Stufe. Dort werden die Parameter Biomasseverluste und Nutzungskonkurrenzen in ihrer Ausprägung ermittelt. Die Schritte der Potenzialanalyse sind in folgender Abbildung dargestellt.

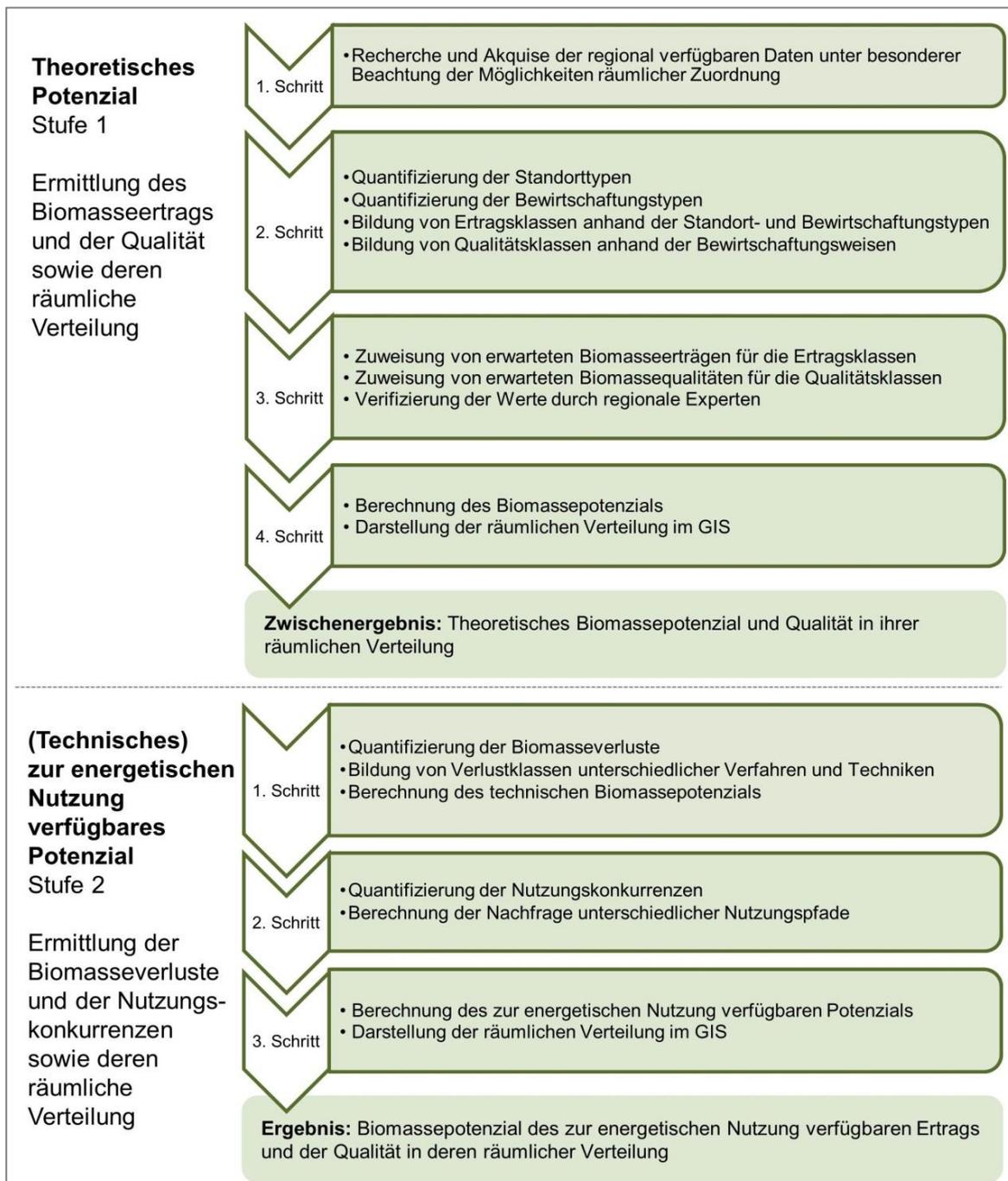


Abbildung 2-3: Schematische Darstellung der Potenzialanalyse von Grünlandbiomasse in zwei Stufen (theoretisches und energetisch nutzbares Potenzial) (Abbildung: Bosch & Partner)

Ermittlung des theoretischen Potenzials (Stufe 1)

Auf der ersten Stufe werden die Menge und die Qualität an Material ermittelt, welches erwartungsgemäß unter definierten Verhältnissen auf bestimmten Flächen aufwächst. Im Allgemeinen ist davon auszugehen, dass Ertrags- und Qualitätsdaten mit konkretem Flächenbezug für Grünland fehlen. Um

Aussagen über Erträge und ihre Qualität sowie deren räumliche Verteilung zu treffen zu können, kommen verschiedene methodische Ansätze in Frage:

Für die Parameter Biomasseertrag und -qualität kann die Ermittlung der Ertrags- und Qualitätswerte durch bestehende Berechnungsmodelle, durch die manuelle Zuordnung von Ertrags- und Qualitätswerten zu bestimmten Standort- und Bewirtschaftungstypen sowie durch die Abfrage des regionalen Expertenwissens erfolgen. Dazu kann auf bestehende Modelle, wie bspw. das Ertragsmodell des Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) [7] zurückgegriffen werden, welche den erwarteten Biomasseertrag und -qualitätsgrad unterschiedlicher Grünlandtypen berechnen. Das Modell bezieht sich maßgeblich auf die Einflussfaktoren: Standortbedingungen, Bewirtschaftungsweisen und vorherrschende Pflanzengesellschaften [3,7]. Im Zuge der Analyse des Parameters Biomassequalität wird zwischen verschiedenen Einsatzstoffqualitäten vor dem Hintergrund der Konversionspfade Biogas und Verbrennung unterschieden. Einfluss auf die Qualität haben vornehmlich die angewandte Düngung und die Anzahl der Schnitte. Das Material aus intensiver Nutzung besitzt aufgrund der kurzen Schnitzyklen und intensiveren Düngung eine hohe Futter- und gleichzeitig Biogasqualität. Von extensiv genutzten Flächen sind unterschiedliche Qualitäten zu erwarten. Das überständige Gras des ersten, späten Schnitts besitzt aufgrund des hohen Rohfaser- und Trockenmassegehalts [8] eine geringe Futter- und Biogasqualität, dagegen aber eine hohe Verbrennungsqualität [7].

Vor diesem Hintergrund und in Anlehnung an durchgeführte Potenzialabschätzungen [3] können die Erträge und Qualitäten auch ohne Ertragsmodell auf der Grundlage des Standorts und der Bewirtschaftung abgeschätzt werden, wenn nicht alle nötigen Informationen für das Modell vorhanden sein sollten. In Verbindung wird ergänzend das regionale Expertenwissen der landwirtschaftlichen Verwaltung und der Landwirte abgefragt. Letztlich bietet auch die alleinige Befragung der Experten die Möglichkeit den Grasertrag sowie seine Qualität und räumliche Verteilung abzuschätzen.

Im ersten Schritt werden die regionalen Datengrundlagen mit Relevanz für die Potenzialanalyse ermittelt und auf ihre Verwendbarkeit zur räumlichen Differenzierung von Biomassepotenzialen geprüft. Aufgrund der vorhandenen Daten ist über den Detailgrad und die Schritte der Potenzialanalyse zu entscheiden.

Im Anschluss wird die Ausprägung der relevanten Einflussfaktoren Pflanzengesellschaft sowie Standort- und Bewirtschaftungstyp im zweiten Schritt ermittelt. Die Quantifizierung und die räumliche Differenzierung erfolgt mittels ausgewählter regionaler Indikatoren (vgl. Kapitel 2.4). Entscheidendes Kriterium für die Wahl geeigneter Indikatoren ist dabei die Möglichkeit der räumlichen Analyse in einem GIS. Die Spanne der Ausprägung jedes Einflussfaktors ist in einer Ordinalskala abzutragen (bspw. fünfstufig von sehr hoher Ertrag bis sehr geringer Ertrag). Je mehr Typen unterschieden werden können, desto genauer kann die räumliche Differenzierung der Biomassepotenziale erfolgen. Die Bildung der Ertrags- und Qualitätsklassen wird dabei vor dem Hintergrund der im anschließenden Schritt definierten Zuordnung spezifischer erwarteter Ertrags- und Qualitätswerte erfolgen.

Sofern im dritten Schritt für die Ermittlung der durchschnittlich erwarteten Ertrags- und Qualitätswerte keine Ertragsmodelle angewendet werden können, werden als Grundlage für die Zuordnung Forschungsergebnisse und Expertenwissen herangezogen. Für den erwarteten Biomasseertrag werden Werte in $t_{TM}/ha \cdot a^{-1}$ angegeben. Wobei die Unterscheidung der Qualität von Grünlandbiomasse

zumindest zwischen geeignet und ungeeignet in Bezug auf die Konversionspfade erfolgt. Es ist im Weiteren empfehlenswert, die ermittelten Werte für die Region in einem parallelen Prozess mit regionalen Experten zu verifizieren.

Im vierten Schritt werden der erwartete jährliche Biomasseaufwuchs in t TM und die Ausprägung der Qualität für die konkreten Flächen berechnet. Die Ergebnisse werden in ihrer räumlichen Verteilung im GIS dargestellt.

Als Zwischenergebnis liegt das theoretische Biomassepotenzial von Grünlandflächen vor. Es beinhaltet Aussagen zur räumlichen Verteilung der potenziellen Biomasseerträge und -qualitäten auf Feldblockebene. In Vorbereitung auf die weiteren Schritte der Potenzialanalyse wird das Biomassepotenzial, wenn nicht bereits dort berechnet, auf Gemeindeebene aggregiert.

Ermittlung des technischen Potenzials (Stufe 2)

Das ermittelte theoretische Potenzial von Grünlandflächen steht nicht in vollem Umfang für die Energiegewinnung zur Verfügung. Für das technische, zur energetischen Nutzung verfügbare Biomassepotenzial sind die Verluste und bereits gebundenen Kapazitäten vom theoretischen Potenzial abzuziehen. Zur Berechnung des nutzbaren Anteils werden auf der zweiten Stufe die Ausprägung der Parameter Biomasseverlust und Nutzungskonkurrenz in die Analyse einbezogen. Für Material von landwirtschaftlichen Flächen ist grundsätzlich von der technischen Mobilisierbarkeit auszugehen. Entscheidend bei der Quantifizierung der relevanten Einflussfaktoren ist auch hier deren räumliche Differenzierbarkeit.

Im ersten Schritt wird die Ausprägung des Parameters Biomasseverluste bestimmt. Zu berücksichtigende Einflussfaktoren sind Werbungs- und Lagerungsverluste der Biomasse, deren Höhe durch unterschiedliche Indikatoren definiert werden kann. Entsprechend der Werbungs- und Lagerungstechniken sowie der Einsatzstoffeigenschaften sind den entsprechenden Flächen prozentuale Abschläge ihres theoretischen Potenzials zuzuordnen. In vielen Bundesländern liegen bereits zusammenfassende Angaben zu Biomasseverlusten vor (vgl. bspw. [9,10]). Bei der Verwendung solcher allgemeiner Angaben wird die Konkretisierung durch regionales Expertenwissen empfohlen.

Die Ausprägung des Parameters Nutzungskonkurrenzen wird in Schritt zwei berechnet. Entscheidend ist, die Nachfrage von Gras zu ermitteln. Als Einflussfaktoren gelten die Futternutzung und die bereits bestehende energetische sowie stoffliche Nutzung von Grünland. Dabei wird zunächst der Futterbedarf errechnet und anschließend die bereits anderweitig verwendeten Kapazitäten der überschüssigen Biomasse abgeschlagen. Da Informationen zu Tierbeständen für die Bundesrepublik umfassend vorliegen [11,12], wird die Berechnung der zur Deckung des Futterbedarfs nötigen Biomasse auf Gemeindeebene durchgeführt. Besonders zu beachten ist die Zusammensetzung der Grundfutterrationen, welche sich weitgehend nach der regionalen Verfügbarkeit des Futters richten. Angaben zur stofflichen oder energetischen Nutzung in der Region sind in der Regel über Befragungen zu akquirieren. Im dritten Schritt findet die Berechnung der überschüssigen Biomasse statt.

Als Ergebnis liegt das technische, zur energetischen Nutzung verfügbare Biomassepotenzial von Grünland in der betrachteten Region auf Gemeindeebene vor.

Übertragbare Einflussfaktoren und Indikatoren der Methode

Die Ausprägungen, der in Kapitel 2.2 definierten Parameter können für Grünland über unterschiedliche Einflussfaktoren bestimmt werden. Im Folgenden werden die bei der Anwendung der entwickelten Methode relevanten Einflussfaktoren sowie beispielhafte Indikatoren dargestellt (vgl. Abbildung 2-4) und ihre Bedeutung erläutert. Es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit der Tabelle erhoben, die Auswahl der konkreten Indikatoren ist vor dem jeweiligen regionalen Hintergrund durchzuführen.

Der Parameter räumliche Lage der Biomasse wird über die Verteilung der jeweiligen Ausprägung der Einflussfaktoren/Indikatoren abgebildet. Es wird dabei nach unterschiedlichen Qualitäten und Erträgen unterschieden. Für die Abbildung im GIS werden die digitalen Grundlagen der verwendeten Indikatoren herangezogen. Im Zuge der Flächenermittlung mit Hilfe des GIS ist die räumliche Lage der Potenziale im Ergebnis darstellbar.

Einflussfaktoren Stufe 1

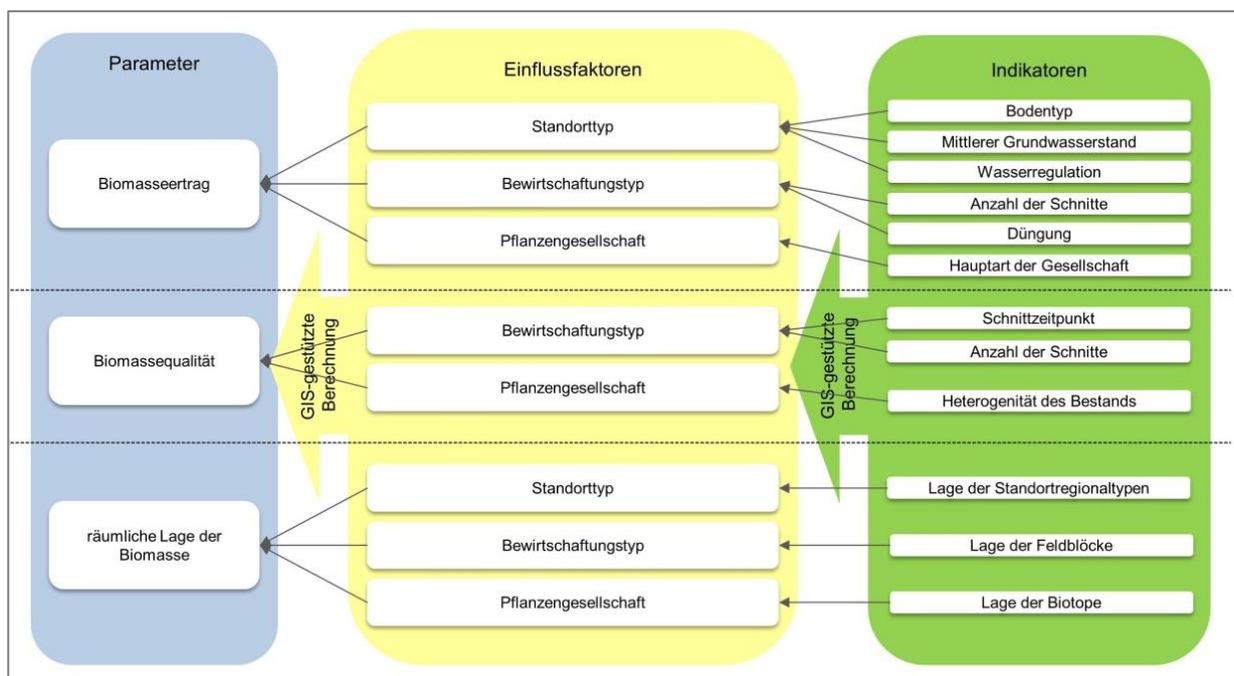


Abbildung 2-4: Parameter und Einflussfaktoren der Stufe 1 für Grünlandbiomasse (Abbildung: Bosch & Partner)

Der Parameter „*Biomasseertrag*“ ist abhängig vom Standort- und Bewirtschaftungstyp sowie der Pflanzengesellschaft. Ebenfalls von den Faktoren „*Bewirtschaftungstyp*“ und „*Pflanzengesellschaft*“ ist die Biomassequalität beeinflusst. Im Anhang 0 bis 0 werden die Bedeutungen der Einflussfaktoren hinsichtlich der jeweiligen Ausprägung der Parameter „*Biomasseertrag*“ und -qualität erläutert sowie eine beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren angeführt.

Einflussfaktoren Stufe 2

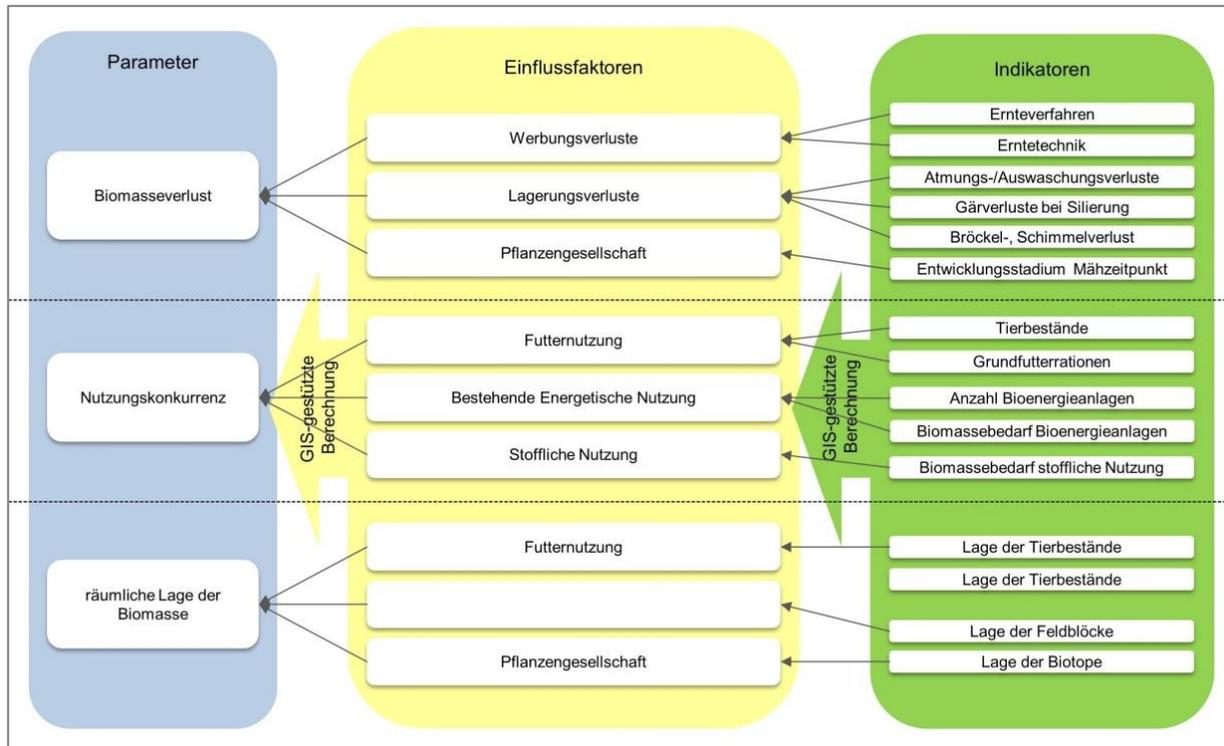


Abbildung 2-5: Parameter und Einflussfaktoren der Stufe 2 für Grünlandbiomasse (Abbildung: Bosch & Partner)

Der Parameter „Biomasseverluste“ ist in seiner jeweiligen Ausprägung von den Werbungs- und Lagerungsverlusten bestimmt. Die Faktoren Futternutzung sowie bestehende energetische und stoffliche Nutzung beeinflussen den Parameter „Nutzungskonkurrenzen“. Im Anhang 0 werden die Bedeutungen der Einflussfaktoren hinsichtlich der jeweiligen Ausprägung der Parameter „Biomasseverluste“ und „Nutzungskonkurrenzen“ erläutert sowie eine beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren angeführt.

2.3.2 Potenzialanalyse von Biomasse aus der Gewässerunterhaltung

Zur Ermittlung des Biomassepotenzials aus der Gewässerunterhaltung sind die in Kapitel 2.2 definierten Parameter Biomasseertrag, -qualität und -verluste, Nutzungskonkurrenz und räumliche Lage der Biomasse in ihrer Ausprägung zu bestimmen. Die erarbeiteten relevante Einflussfaktoren und zugehörige Indikatoren werden im Anschluss an die Vorstellung der entwickelten Berechnungsmethodik dargestellt.

Insgesamt liegen Erkenntnisse zu Biomassepotenzialen aus der Gewässerunterhaltung bisher nur begrenzt aus Forschungsvorhaben und der Literatur (vgl. [13], [14] und [15]) vor. Auch die bekannten Datenbanken der für die Unterhaltung der Gewässer zuständigen Institutionen sind nicht auf die Abfrage von Biomassepotenzialen ausgelegt und enthalten keine Angaben zu Erträgen oder Qualitäten. Aufgrund insgesamt nur vereinzelter, konkreter Daten und Informationen über Biomasseerträge und -potenziale wurde das Analysekonzept eng an die Datenerhebung gekoppelt. Im Zuge der

notwendigen Kategorisierung und GIS-gestützten Erfassung der Gewässer hinsichtlich der Erträge, der Qualitäten, deren räumlicher Lage sowie möglicher Biomasseverluste und Konkurrenznutzungen, wurde eine Expertenbefragung zur Schaffung der nötigen Datenbasis für die Analyse durchgeführt. Die Befragung wurde dazu auf die relevanten Einflussfaktoren und Indikatoren abgestimmt.

In Zusammenarbeit mit den Wasser- und Bodenverbänden (WBV) „Großer Havelländischer Hauptkanal - Havelkanal - Havelseen“ und „Rhin-/Havelluch“, die als regionale Kooperationspartner fungierten, wurden parallel zur Entwicklung des Fragebogens relevante Einflussfaktoren zur Ermittlung der Biomassepotenziale erarbeitet. Im Zuge einer ersten Abstimmungsrunde mit Vertretern weiterer WBV wurden insbesondere umfassende Grundlagen zur Kategorisierung des Gewässernetzes diskutiert und festgelegt. Zentrale Ergebnisse waren zunächst, dass bei der Potenzialanalyse zwischen Gewässern I. und II. Ordnung sowie Netz- und Punktquellen zu unterscheiden sei. Im Weiteren wurden folgende Einflussfaktoren als relevant benannt:

- Größe und Lage des Gewässernetzes
- Breite der Gewässerränder
- Gestalt und Aufwuchs der Gewässerränder
- Art und Intensität der Unterhaltungsmaßnahmen
- Menge und Qualität des Grüngutes
- aktuelle Verwertung der Biomasse
- Das entsprechende Grundkonzept der Analysemethode wird im Folgenden definiert.

Übertragbares Konzept der Analyse

Die Methode zur Ermittlung des Biomassepotenzials aus der Gewässerunterhaltung und der räumlichen Verteilung umfasst drei Schritte. Vor dem Hintergrund des spezifischen Datenbedarfs wird im ersten Schritt der Analyse zunächst eine Recherche vorhandener Daten über das Gewässernetz und zu den durch Unterhaltungsmaßnahmen anfallenden Biomassen durchgeführt. Relevante Ansprechpartner stellen die Wasser- und Naturschutzbehörden sowie WBV dar. Bei unzureichender Datenlage und gegebenenfalls zur Konkretisierung der Daten ist im zweiten Schritt zur Analyse des Potenzials eine Befragung zur Kategorisierung des Gewässernetzes und zur Abschätzung der Erträge sowie Qualitäten bei den regionalen Experten durchzuführen. Dazu wird der entwickelte Fragebogen regional angepasst. Ein Schwerpunkt stellt die räumliche Verortung der Informationen dar.

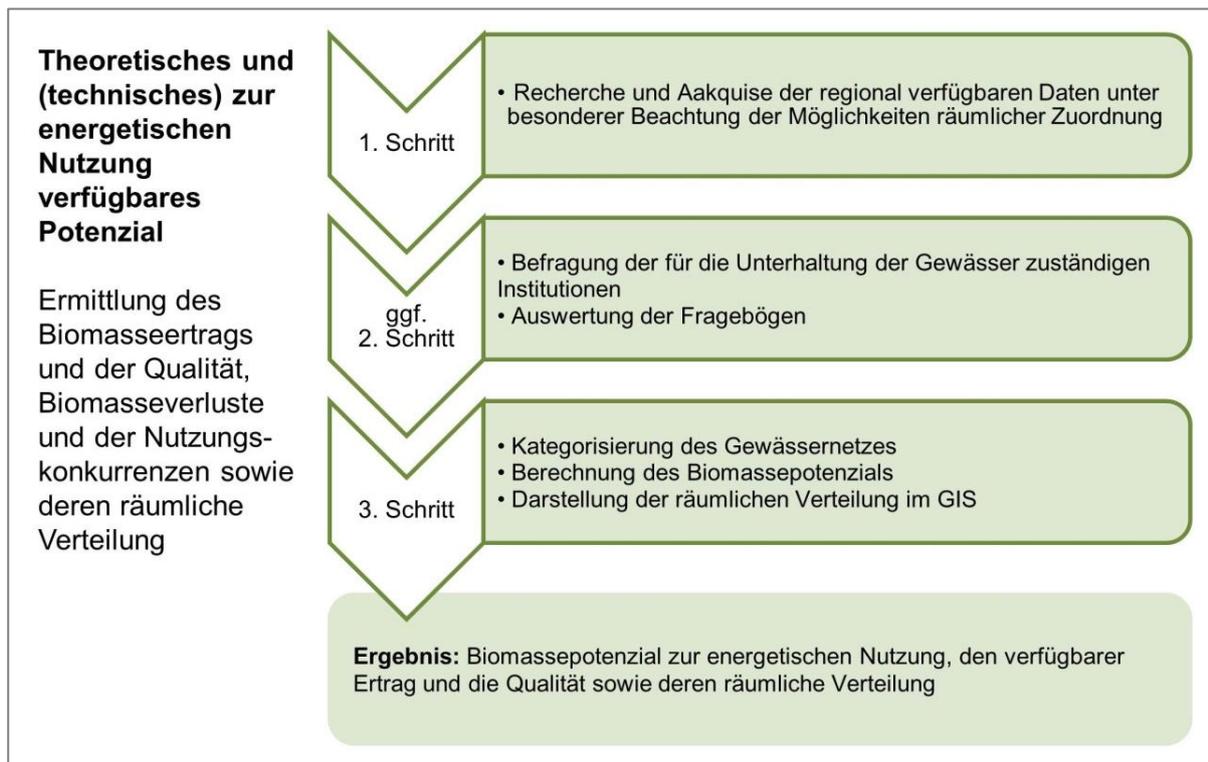


Abbildung 2-6: Schematische Darstellung der Potenzialanalyse aus der Gewässerunterhaltung (theoretisches und energetisch nutzbares Potenzial) (Abbildung: Bosch & Partner)

Mit der Abfrage des Expertenwissens sollen den Gewässern folgende Rahmendaten zugeordnet werden: räumlich differenzierte Angaben zur Unterhaltungsintensität sowie die anfallende Biomassemenge und -qualität. Dabei sollen von Experten auch die derzeitigen Verwertungswege und -techniken benannt und Konkurrenzen der energetischen Nutzungspfade beurteilt werden, sodass im dritten Schritt die energetisch verwertbaren Biomassepotenziale abgeschätzt werden können.

Für die Analyse wird das Gewässernetz zu Beginn des dritten Schritts entsprechend der Erkenntnisse aus der Datenakquise und Expertenbefragung kategorisiert. Ein praktikabler Ansatz ist beispielhaft in Kapitel 2.4.1 dargestellt. Im Anschluss wird der theoretische Aufwuchs an Biomasse für die unterschiedlichen Gewässerkategorien berechnet. Parallel erfolgt die Ermittlung des Parameters Biomassequalität. Abschließend wird über die Bestimmung der Ausprägung der Parameter Nutzungskonkurrenz und Biomasseverluste abgeschätzt, welche Anteile des Materials für die energetische Nutzung zur Verfügung stehen.

Im Folgenden werden die für die Vorgehensweise relevante Einflussfaktoren und deren zugehörige Indikatoren vorgestellt.

Übertragbare Einflussfaktoren und Indikatoren der Methode

Zur Bestimmung der Ausprägungen der einzelnen Parameter stehen unterschiedliche Einflussfaktoren zur Verfügung. Die ermittelten Faktoren und ihre Bedeutung sowie relevante Indikatoren werden im Folgenden erläutert. Im Sinne der Übertragbarkeit ist grundlegend anzumerken, dass Daten regional unterschiedliche Informationsgehalte aufweisen und jeweils zielführende Datengrundlagen zu

ermitteln und zu verwenden sind. Für die Anwendung der entwickelten Methode in anderen Regionen kann der erarbeitete Fragebogen an die regionalen Verhältnisse angepasst werden.

Vorwiegend sind die Erträge und Qualitäten von den Standortbedingungen und der Unterhaltung der Gewässerabschnitte bestimmt. Im Zuge der Methodenentwicklung konnten folgende Einflussfaktoren identifiziert werden:

- Flächengröße
- Unterhaltungsintensität
- Substrattypen(-gruppe)
- Erwartete Biomasseerträge
- Bergungsaufwand/-kosten
- Unterhaltungszeitpunkt
- Aktuelle Verwertung der Biomasse
- Werbungs- und Lagerungsverluste

Die räumliche Lage der Biomassepotenziale entspricht der Verteilung der Einflussfaktoren beziehungsweise der Verteilung deren Indikatoren. Entscheidend sind die Gewässerkategorie, die Unterhaltungsintensität und die erwarteten Biomasseerträge. Für die Abbildung im GIS werden die digitalen Grundlagen der verwendeten Indikatoren herangezogen. Im Zuge der Flächenermittlung mit Hilfe des GIS ist die räumliche Lage der Potenziale im Ergebnis darstellbar.

Für die Ermittlung des wirtschaftlichen Potenzials sind der Aufwand und die Kosten möglicher Biomassebergungen sowie der bestehenden Unterhaltungskosten wesentliche Grundlage. Im Weiteren sind Angaben zu den möglichen Transportwegen (Straße, Schiene oder Wasser) abzufragen. Ein wesentlicher Faktor ist auch die technische Ausstattung der Dienstleister. Relevant ist insbesondere, ob neue Technik für die Bergung des Materials zur energetischen Nutzung notwendig wird.

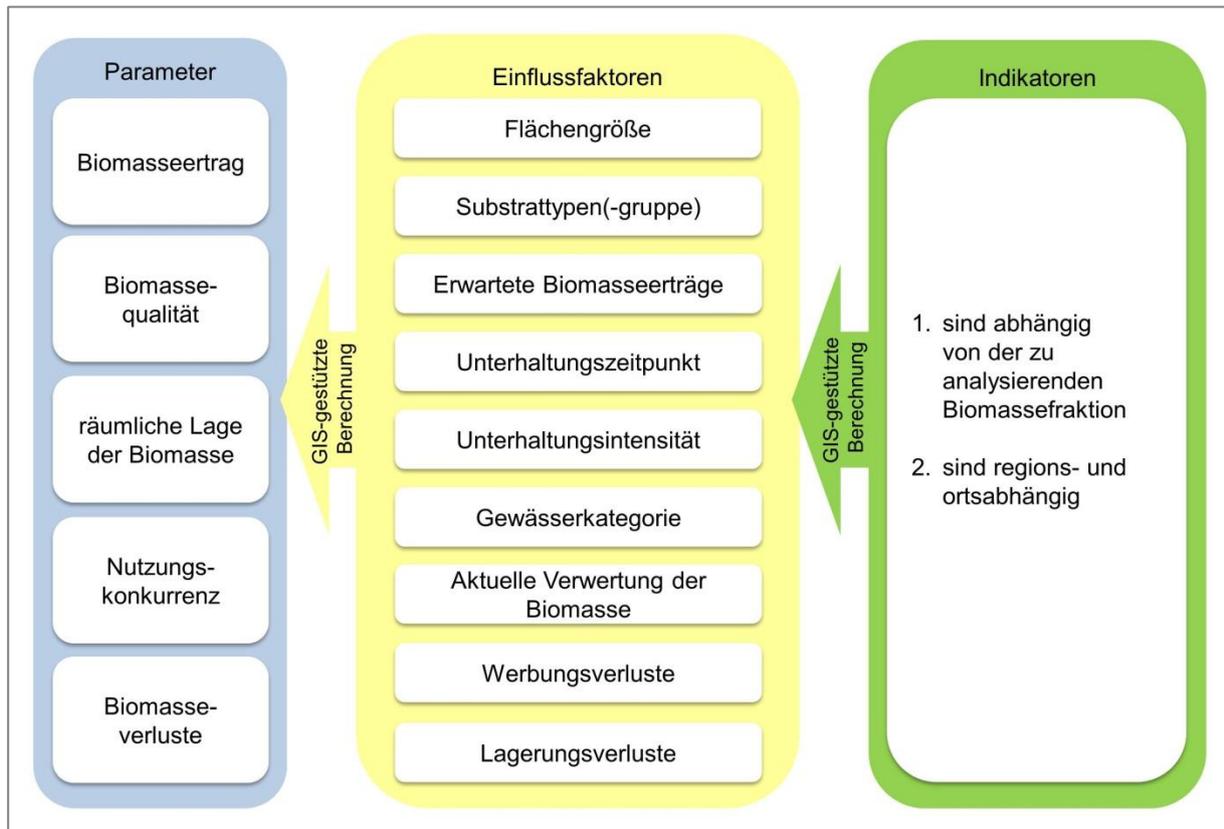


Abbildung 2-7: Parameter und Einflussfaktoren für Biomasse aus der Gewässerunterhaltung (Abbildung: Bosch & Partner)

Der Parameter „Biomasseertrag“ ist abhängig von der Flächengröße, dem Substrattyp sowie der erwarteten Biomasseerträge. Der Substrattyp wirkt sich neben dem Unterhaltungszeitpunkt und der -intensität auf die Qualität aus. Über die aktuelle Verwertung der Biomasse wird der Parameter „Nutzungskonkurrenz“ bestimmt. Während die Werbungs- und Lagerungsverluste die Ausprägung der Biomasseverluste bestimmen. Im Anhang 0 bis 0 werden die Bedeutungen der Einflussfaktoren hinsichtlich der jeweiligen Ausprägung der Parameter erläutert sowie eine beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren angeführt.

2.3.3 Potenzialanalyse von Biomasse der besonderen Biotope

Vor dem Hintergrund des möglichen Beitrags der besonderen Biotope (bspw. Salzbinnenwiesen, Feuchtwiesen oder Großseggenwiesen) zum Gesamtpotenzial aller Flächenkategorien werden in einer groben Analyse zunächst die Bereiche identifiziert, welche das theoretische Potenzial bestimmen.

Die Methodik zur Ermittlung des theoretischen Biomassepotenzials von besonderen Biotopen und deren räumliche Verteilung entspricht grundlegend der Stufe 1 der in Kapitel 2.3.1 vorgestellten Methode für Biomassepotenzial von Grünlandflächen. Für geschützte Biotope und weitere naturschutzfachlich bedeutende Flächen mit Pflegeauflagen liegen jedoch nur sehr wenige Informationen zu Erträgen oder zu Qualitäten der Biomasse mit Bezug zur energetischen Verwertung [16,17] vor.

Die allgemeine Vorgehensweise für die Ermittlung des theoretischen Biomassepotenzials von besonderen Biotopen wird nachfolgend dargestellt.

Übertragbares Konzept der Analyse

Die Analyse der theoretischen Potenziale von besonderen Biotopen erfolgt durch die einheitliche Abschätzung des Flächenpotenzials ohne Differenzierung verschiedener Biomassefraktionen in drei Schritten (vgl. Abbildung 2-8).

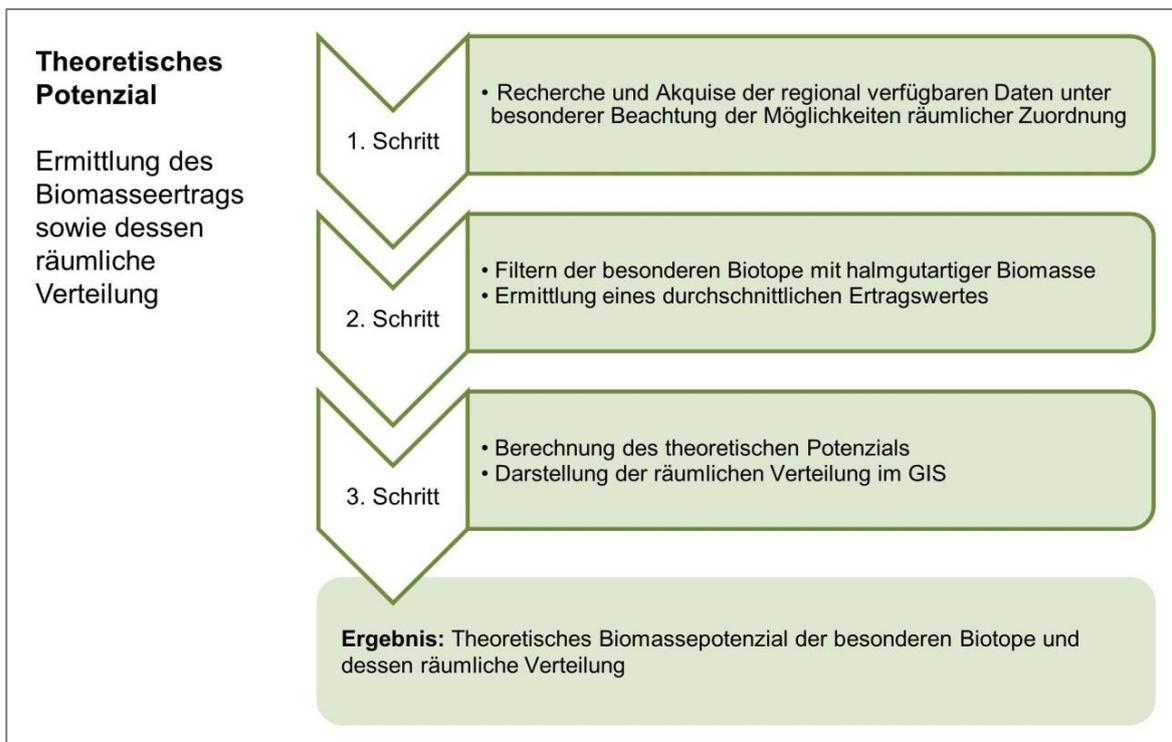


Abbildung 2-8: Schematische Darstellung der Grobanalyse von besonderen Biotopen (theoretisches Potenzial) (Abbildung: Bosch & Partner)

Im ersten Schritt werden die zur Verfügung stehenden Daten zu geschützten Biotopen, Kompensationsflächen und weiteren besonderen Biotopen ermittelt, die noch nicht durch eine andere Flächenkategorie abgedeckt wurden. Auf dieser Grundlage werden im zweiten Schritt alle Flächentypen mit halmgutartigem Substrat herausgefiltert und deren Gesamtfläche berechnet. Aufgrund der sehr heterogenen Biotopeigenschaften in Kombination mit häufig unzureichenden Datengrundlagen wird für die Grobanalyse ein gemittelter Ertragswert verwendet. Dazu wird gegebenenfalls eine Literaturrecherche oder Expertenbefragung durchgeführt.

Im dritten Schritt der Analyse wird das theoretische Potenzial anhand des ermittelten Ertragswertes berechnet. Die räumliche Verteilung der Flächen besonderer Biotope wird im GIS dargestellt. Das Ergebnis stellt die im Rahmen einer Machbarkeitsstudie einzubeziehenden Flächen dar.

2.4 Regionale Anwendung der Analysemethoden

2.4.1 Potenziale des landwirtschaftlichen Grünlands

Im Folgenden wird die Vorgehensweise in der Untersuchungsregion dargelegt und als Ergebnis die ermittelten Potenziale vorgestellt.

Beschreibung der Grünlandflächen

Das Havelland und die umliegende Region innerhalb des Untersuchungsgebiets umfassen eine Gesamtfläche von rund 68.300 ha Grünland (nach InVeKoS-Daten 2009). Dies entspricht knapp 30 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche des Projektgebiets. Mit Schwerpunkten zusammenhängender Bereiche im Rhinluch, im Havelländischen Luch und der Unteren Havelniederung erstrecken sich Grünländer über die gesamte Region (vgl. Abbildung 2-9 und Abbildung 2-10).



Abbildung 2-9: Grünlandflächen im Havelland (Foto: Bosch & Partner)

Die Grünlandbereiche sind überwiegend durch Niedermoor-, Auenlehm- sowie Auentonstandorte geprägt. Selten sind im Untersuchungsgebiet mineralische, sanddominierte Standorte vorhanden. Zum Teil durchragen Talsande die Niederungen und Luchgebiete. Die Wasserverhältnisse sind mitentscheidend für die Ertragsbildung und Bewirtschaftbarkeit des Grünlandes. Innerhalb des letzten

halben Jahrhunderts kam es durch Meliorationsmaßnahmen mit dem Ziel einer ertragsbezogenen Optimierung der Standortverhältnisse zur nachhaltigen Veränderung der Wasserverhältnisse. Rund 90 % der Grünlandflächen waren 1990 mit Ent- und/oder Bewässerungsanlagen ausgestattet (vgl. [3]). Die aktiven Maßnahmen der Wasserregulation wie die Unterhaltung der Wehre und die Pflege der Gräben sind jedoch einerseits aufgrund fehlender Finanzmittel und andererseits aus Naturschutzgründen seit 1990 kontinuierlich zurückgefahren worden und teilweise vollständig zum Erliegen gekommen [5].

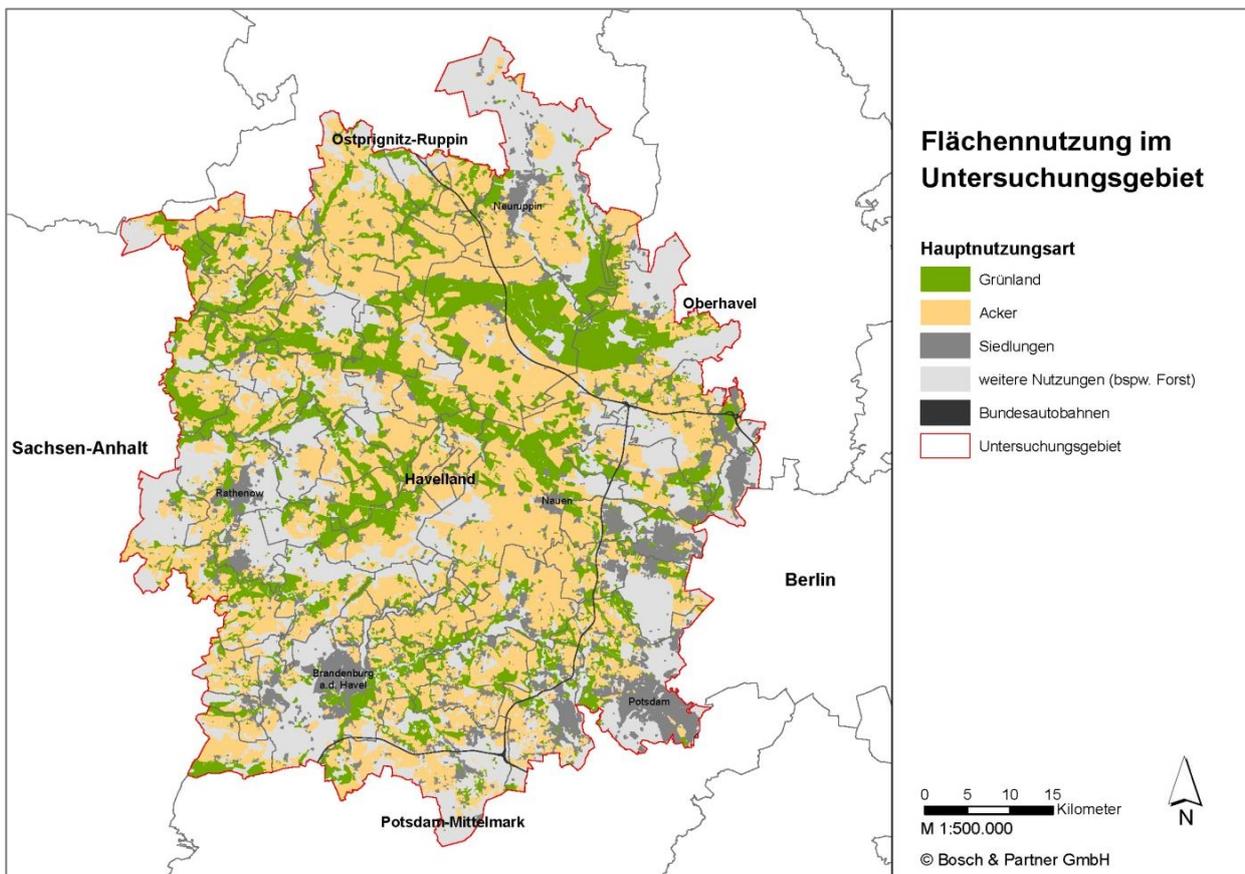


Abbildung 2-10: Nutzung der landwirtschaftlichen Fläche im Untersuchungsgebiet, dargestellt in den Kategorien Acker und Grünland (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB])

Die Landwirtschaftsbetriebe sind im Bereich Grünland mit durchschnittlich rund 200 ha Fläche¹ sowie einem hohen Grünlandanteil im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands sehr flächenstark (vgl. [19] in Verbindung mit InVeKoS). Mit wenigen Ausnahmen werden alle Grünlandflächen bewirtschaftet. Der größere Anteil von rund 45.100 ha auf extensive Art und Weise. Unter extensiver Grünlandwirtschaft ist der bewusste Verzicht auf die Ausschöpfung des standortspezifischen

¹ In Brandenburg werden rund 50 % der landwirtschaftlichen Fläche durch Betriebe mit einer Größe zwischen 500 und 2.000 ha bewirtschaftet, wobei der Durchschnitt bei rund 200 ha je Betrieb liegt ([18]).

Optimalertrags durch verminderten Einsatz an Produktionsmitteln (Dünger, Pflanzenschutzmittel) und Schnitthäufigkeit zu verstehen [3], meist aufgrund von verschiedenen naturschutzfachlichen Auflagen. Darunter fallen insbesondere Vorgaben der Agrarumweltmaßnahmen zu Schnittzeitpunkten, -häufigkeiten und dem Einsatz von Düngemitteln. Auch diese als extensiv kategorisierten Flächen werden in Abständen beweidet. Der Ertrag von Teilen dieser Flächen im Untersuchungsgebiet kann ähnlich wie auch in anderen Grünlandregionen auf Grund der naturschutzfachlich optimierten Mahdtermine begrenzt in die landwirtschaftlichen Betriebsabläufe integriert werden (vgl. Abbildung 2-11). Diese überschüssige Biomasse steht daher grundsätzlich für eine energetische Nutzung zur Verfügung. Zudem sind diese Flächen von besonderer naturschutzfachlicher Bedeutung, so dass die dort anfallende Biomasse nach dem derzeitigen Stand der Empfehlung der EEG-Clearingstelle beim Einsatz als vergütungsfähiges Landschaftspflegematerial (im Sinne des Landschaftspflege-Bonus) zu bewerten ist [20]. Die weiteren Flächen sind als Intensivgrünland eingestuft und werden vornehmlich zur Futtermittelproduktion genutzt.



Abbildung 2-11: Verrottende Heuballen am Rand einer Grünlandfläche im Havelland (Foto: Bosch & Partner)

Im letzten Jahrzehnt ist der Bedarf an hochwertigem Grünschnitt im Zuge des Rückgangs der Milchproduktion und Viehwirtschaft gesunken. In Brandenburg ist die Zahl der Milchkühe zwischen 1999 und 2010 von rund 206.500 [11] auf rund 149.000 [12] deutlich verringert, ebenso ist die Nutzung der Fläche als Dauerweide zwischen 2003 und 2009 um rund 25 % zurückgegangen (vgl. [18]). Diese Entwicklung hat regional unter anderen zwei relevante Konsequenzen:

- Es entsteht ein Überschuss an Biomasse, der damit einer energetischen Nutzung zugänglich gemacht werden kann.
- Da hier aktuell kein wirtschaftlicher Nutzen mehr besteht, werden die nicht benötigten, ursprünglich intensiv genutzten Grünlandflächen nicht extensiv bewirtschaftet.

Letzteres führt zum Teil zu deutlichen Ertragsverlusten der Flächen [21].

Anwendung der Methode im Untersuchungsgebiet

Im Folgenden wird die Anwendung der in Kapitel 2.3.1 dargestellten Methoden zur Ermittlung des theoretischen und des technischen Biomassepotenzials von Grünlandflächen für das Untersuchungsgebiet vorgestellt.

Es ist anzumerken, dass maßgeblich auf die langjährigen Erkenntnisse des LELF aufgebaut wurde. Um die Biomassepotenziale der Grünlandflächen in ihrer räumlichen Verteilung möglichst konkret ermitteln zu können, wurde zu Beginn der Potenzialanalyse eine Datenrecherche durchgeführt.

Tabelle 2-1: Überblick der hier verwendeten Daten mit Bezug auf den Einflussfaktor

Einflussfaktor	Indikator	Datengrundlage (Quelle)
Standorttyp	Bodentyp	MMK (LBGR)
	mittlerer Grundwasserstand	MMK (LBGR)
	Wasserregulation	Befragung (WBV)
Bewirtschaftungstyp	Schnittzahl pro Jahr	InVeKoS (LELF)
	Schnittzeitpunkt	InVeKoS (Landwirte, LELF)
	Düngung	InVeKos (Landwirte, LELF)
Werbungsverluste	Ernteverfahren	KTBL, Befragung (Landwirte)
Lagerungsverluste	Lagerungsstätte	KTBL, Befragung (Landwirte)
Futternutzung	Tierbestände	InVeKoS (LELF)
	Futtermengen	[22–24], Befragung (Landwirte)
Bestehende Energetische Nutzung	Biogasanlagen	Befragung (Landwirte)

Tabelle 2-1 zeigt eine Übersicht der verwendeten Daten. Für das Untersuchungsgebiet erlaubte der Datenbestand keine Anwendung des Ertragsmodells des ZALF, da räumliche Aussagen zu Pflanzengesellschaften nicht verfügbar waren.

Die Ermittlung des energetisch nutzbaren Biomassepotenzials und dessen räumliche Verteilung erfolgten GIS-gestützt. Als zentrale Berechnungseinheit wurden die Feldblöcke entsprechend der InVeKoS-Daten 2009 gewählt. So konnte die räumliche Verteilung der Potenziale differenziert abgebildet werden. Die Ergebnisse waren damit auch gemeinde- und landkreisbezogen oder für das gesamte Untersuchungsgebiet generierbar.

Ermittlung des theoretischen Potenzials (Stufe 1)

Im zweiten Schritt der Potenzialanalyse wurde der Parameter Biomasseerträge (Basispotenzial) ermittelt. Dieser diente als Berechnungsgrundlage für alle weiteren auszuweisenden Potenziale. Über die Einflussfaktoren Standort- sowie Bewirtschaftungstyp und die anschließende Verknüpfung mit den zu erwartenden Erträgen konnte der theoretische Biomasseaufwuchs der einzelnen Flächen bestimmt werden.

Die Forschungsergebnisse der LELF definierten Standorttypen der Grünlandflächen für Brandenburg ([3], vgl. auch [8]), gekennzeichnet durch Bodentyp, mittleren Grundwasserstand und Wasserregulation. Sie geben für jeden Standorttyp unter Beachtung der Bewirtschaftungsintensität erwartete Erträge an. In Anlehnung an diese Klassifizierung wurden fünf Standorttypen gebildet die mit den zugänglichen GIS-Daten in ihrer räumlichen Verteilung dargestellt werden konnten (vgl. Tabelle 2-2). Die Verortung der Standorttypen im Untersuchungsgebiet erfolgte durch die Zuordnung eines Standortregionaltyps (SRT) der digitalen Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK)² Brandenburgs. Dabei konnte die exakte Übereinstimmung nicht für alle Indikatoren gewährleistet werden und es wurde der jeweils in seiner Gesamtheit passende Standortregionaltyp gewählt. Zur weiteren Bearbeitung wurden die flächenhaften Daten der MMK im GIS nach Standorttypen aggregiert (vgl. Abbildung 2-14).

² Neben der MMK stellt die Bodenübersichtskarte (BÜK) eine alternative Datengrundlage dar. Sie ist aktueller als die MMK, die Bodeneigenschaften werden auf andere Art und Weise dargestellt und zusammengefasst. Zukünftig wird das bodengeologische Kartenwerk BK 50, derzeit in Bearbeitung, als Grundlage zur Verfügung stehen.

Tabelle 2-2: Standorttypen der Grünlandflächen

Standorttyp	Indikator			Zuweisung von MMK SRT
	Bodentyp	mittlerer GW-Stand	Wasserregulation	
I	überwiegend homogene Niedermoore	40 – 60 cm	gut wasserreguliert	Mo2b
II	humose bis schwach humose Sande bis Anmoore, grundwasservernässte Auenstandorte, schwach degradierte Niedermoore	30 – 80 cm	mäßig bis gut wasserreguliert	Mo2c, AI3b5-9, AI1b3-6
III	Sandunterlagerte Niedermoore mit teilweiser Vernässung, grundwasserbeeinflusste Sande der Niederungen, grundwasserbeeinflusste humose, zum Teil lehm- und schluffhaltige Sande der Niederungsränder, mäßig grundwasserbeeinflusste Auenstandorte	60 ≤ 100 cm	nicht/schwer regulierbar	Mo1c, AI3b3-4, AI1b1, D2b1-6, D3b1-5, D4b1-7, D5b9-10
IV	mäßig grundwasserbeeinflusste Sande der Niederungsränder oder vernässungsfreie Lehme, schwach bis mäßig grundwasserbeeinflusste Auen, stark vernässte Böden (GW-Stand > 40cm)	60 ≤ 100 cm	-	AI1c, AI3c7, D4b8-9, D5b7-8, D6b2+6
V	grundwasserferne Sande (Hutungen, Trockenrasen, Streuwiesen)	> 200 cm	-	D1a, D2a, D3a, D4a, D5a, D5b3

Mit den InVeKoS-Daten liegen Informationen zur Bewirtschaftung der Grünlandflächen feldblockscharf vor. Auf dieser Grundlage konnten räumlich differenziert Aussagen zum Grünland getroffen werden. Für jeden Feldblock ist angegeben, welcher Anteil der Fläche extensiv und welcher intensiv genutzt wurde. Aus diesen Angaben konnte der Rückschluss zur ungefähren Anzahl der Schnitte sowie der Düngung erfolgen. Diese Indikatoren dienten als Schlüssel für den Einflussfaktor Bewirtschaftungstyp (vgl. Tabelle 2-3).

Tabelle 2-3: Bewirtschaftungstypen des Grünlands

Nutzung	Indikator		Zuordnung von InVeKoS-Daten
	Anzahl der Schnitte	Düngung*	
intensiv	3-5-schnittig	Düngung (NPK)	Grünland ohne Nutzungsauflagen
extensiv	1-2(3)-schnittig	Düngung (nur PK)	Grünland mit Nutzungsauflagen

* Bemessen am Nährstoffentzug und im Boden verfügbaren Nährstoffen

Als nächster Schritt wurde eine Literaturrecherche zu Grünlanderträgen unter Einbeziehung aktueller Forschungsergebnisse durchgeführt. Aus der erstellten Ertragsdatenbank (vgl. Anhang A 2) wurden im Weiteren ausschließlich Werte über die Region herangezogen. Die Ergebnisse der Ertragsdatenbank, insbesondere der Versuchsdaten des LELF, dienen als Grundlage für die Zuordnung erwarteter Erträge zu jeder der zehn Kombinationen der beiden definierten Einflussfaktoren Standort- und Bewirtschaftungstyp (vgl. Tabelle 2-4). Dabei bilden die zugeordneten Ertragserwartungen ab, wie viel Biomasse unter genannten Bedingungen auf den Flächen im Durchschnitt aufkommen kann. In weiteren Schritten wurden die Ertragszahlen durch Expertenbefragungen (Herr Dr. Priebe, LELF, Herr Dr. Hochberg, TLL und Vorsitzender des Deutschen Grünlandverbands e.V. sowie Landwirte der Region) angepasst und validiert. Allgemein wurden restriktive Ertragswerte angenommen, die das untere Mittel der durchschnittlichen Erträge abbilden. So kann der geringen Informationsdichte zu Grünlanderträgen Rechnung getragen und Analyseunsicherheiten ausgeglichen werden.

Tabelle 2-4: Erwartete Graserträge nach Standort- und Bewirtschaftungstyp im Untersuchungsgebiet [3,8, Ertragsdatenbank, siehe A 2]

Standorttypen (Boden, mittlerer GW-Stand)		Durchschnittlicher erwarteter Ertrag in t TM/ha*a ⁻¹	
		intensive Nutzung: 3-5-schnittig, Düngung (NPK)	extensive Nutzung: 1-2(3)-schnittig, Düngung (nur PK)
überwiegend homogene Niedermoore GW-stand 40 – 60 cm	Typ I	10,5	6,0
humose bis schwach humose Sande bis Anmoore, grundwasservernässte Auen- standorte, heterogene Niedermoore GW-stand 30 – 90 cm	Typ II	9,0	5,0
sandunterlagerte Niedermoore mit teilweiser Vernässung, grundwasserbeeinflusste Sande der Niederungen, grundwasserbeeinflusste humose, z.T. lehm- und schluffhaltige Sande der Niederungsränder, mäßig grundwasser- beeinflusste Auenstandorte GW-stand 60 ≤ 100 cm	Typ III	7,5	3,5
mäßig grundwasserbeeinflusste Sande der Niederungsränder oder vernässungsfreie Lehme, schwach bis mäßig grundwasserbe- einflusste Auen, stark vernässte Böden (GW- Stand > 40 cm) GW-Stand 60 ≤ 100 cm	Typ IV	6,5	4,0
grundwasserferne Sande (Hutungen, Trocken- rasen, Streuwiesen) GW-stand > 200 cm	Typ V	4,5	2,5

* Bemessen am Nährstoffentzug und im Boden verfügbaren Nährstoffen

Die gewählten Ertragsannahmen lassen bei extensiv genutzten Grünlandflächen auf ertragsstarken Standorten (insbesondere Niedermoore) im Mittel 6,0 t/ha und Jahr Biomasse erwarten. Bei intensiver Nutzung kann auf diesen Standorten im Mittel mit 10,5 t/ha*a⁻¹ gerechnet werden. Für Grünlandflächen deren Standorte über die MMK nicht bestimmt werden konnten, wurde der mittlere Wert von 7,5 t/ha*a⁻¹ (intensiv) beziehungsweise 3,5 t/ha*a⁻¹ (extensiv) angesetzt.

Der Parameter Biomassequalität wurde durch den Bewirtschaftungstyp abgebildet. Unter der Annahme, dass Biomasse von intensiv genutzten Flächen vornehmlich Futtermittelqualität und damit Biogasqualität besitzt, wurde diese Eignung für alle intensiven Flächen angenommen. Betrachtet man extensiv genutztes Grünland, spielen die Schnittzeitpunkte eine entscheidende Rolle bei der Bestimmung der Qualität. Es wurde davon ausgegangen, dass der erste späte Schnitt der extensiven Flächen nicht für die Futter- oder Biogasnutzung in Betracht kommt, da der Rohfasergehalt hoch und der Methangehalt niedrig ist ([3] und [8]). Es wurde angenommen, dass rund 60 % des Ertrags bei extensiver Nutzung auf den ersten Schnitt entfallen. Der zweite in kürzerem Abstand und damit frischere Schnitt besitzt dagegen geringere Rohfaser- und höhere Methangehalte und kann daher in einer Biogasanlage oder als Futtermittel eingesetzt werden. Entsprechend macht er rund 40 % des Gesamtertrags aus. Eine weitere Rolle spielt die Heterogenität der Pflanzengesellschaft: je reiner der Bestand ist, desto besser eignet er sich als Futtermittel oder Biogassubstrat. Dieser Aspekt konnten aufgrund fehlender Daten jedoch nicht in die Analyse einbezogen werden.

Die Ermittlung des theoretischen Biomassepotenzials erfolgte mit Hilfe eigens entwickelter GIS-Modelle, die eine Berechnung unter Einbeziehung aller relevanten Indikatoren erlauben. Im wesentlichen Schritt wurden dabei Informationen über die Standorttypen mit den Angaben zur Bewirtschaftungsintensität verschnitten. Anschließend wurde die Ergebnisdatenbank zur besseren Handhabbarkeit bereinigt und zuerst alle bei der Verschneidung erzeugte Kleinstflächen $< 100 \text{ m}^2$, die überwiegend auf automatische Verschneidungsfehler zurückzuführen sind ausgelagert. Im Anschluss wurde die Datenbank einer stichpunktartigen Plausibilitätsprüfung hinsichtlich der Erträge und Flächengrößen unterzogen, dabei wurden weitere Flächen (insg. 15) aufgrund fehlerhafter Ausgangsdaten ausgelagert.

Den Flächen konnten nun entsprechend Tabelle 2-2 die erwartete Ertragszahl ($\text{t/ha} \cdot \text{a}^{-1}$) zugewiesen und der jeweilige erwartete Gesamtaufwuchs (t/a), das theoretische Biomassepotenzial, berechnet werden.

Ermittlung des technischen Potenzials (Stufe 2)

Auf der zweiten Stufe wurden die Biomasseverluste sowie der durch Konkurrenznutzungen gebundene Biomasseanteil auf Gemeindeebene ermittelt. Um das technische Biomassepotenzial berechnen zu können, mussten die feldblockscharfen Ertragsdaten des theoretischen Potenzials zunächst für jede Gemeinde zusammengefasst werden.

Das ermittelte theoretische Potenzial von Grünlandflächen steht nicht in vollem Umfang für die Energiegewinnung zur Verfügung. Von den zu erwartenden Biomasseerträgen wurden im ersten Schritt die Ernte- und Lagerungsverluste abgezogen. Diese Verluste werden von folgenden Faktoren beeinflusst: Die unterschiedlichen Pflanzengesellschaften und deren Entwicklungsstadium zum Mähzeitpunkt, das Ernteverfahren, die eingesetzte Technik sowie die Witterungsbedingungen vor und während der Ernte. Dabei bestehen Verluste aus unvermeidbaren, wie beispielsweise Restatmung der Pflanzen oder Gärverluste und vermeidbaren Gründen, wie beispielsweise Bröckelverluste oder Verschimmeln. Bereits die Feldliegezeit kann die Höhe der Verluste in beachtlichem Maße beeinflussen. In Brandenburg wurden folgende Werte ermittelt: bei der Heuproduktion steigen die Feldverluste von 10 auf bis zu 28 % der TM durch Verlängerung der Feldliegezeit von 3 auf 7 Tage; bei der Welkgutbereitung belaufen sich nicht mechanische Feldverluste (Atmungs- und

Auswaschungsverluste) je nach Witterungsbedingungen auf 2 bis 12 % der TM [3]. Daher können die gesamten Ernte- und Lagerungsverluste sehr unterschiedlich ausfallen.

In der Datensammlung für brandenburgische Landwirtschaftsbetriebe [25] wird von Trockenmasseverlusten von 25 % während der Heu- und 15 % während der Silagefertigung ausgegangen. Die regionalen Landwirte im Havelland schätzen die Verluste um jeweils 5 % höher ein [5]. Daher wurden Ernte- und Lagerungsverluste in dieser Studie mit 30 % für Heu und 20 % für Silage veranschlagt. Die Verluste beim Weiden der Tiere wurden ebenfalls auf 20 % geschätzt.

Des Weiteren wurde die bestehende Biomassenachfrage ermittelt. Traditionell wurden Wiesen und Weiden als Futterlieferant für das raufutterverzehrende Vieh genutzt. In der jüngeren Vergangenheit wird das Gras verstärkt auch in Biogasanlagen eingesetzt. Die InVeKoS-Daten liefern Informationen zu Tierbeständen, unterteilt in Tierarten und Altersgruppen. Für das Projektgebiet lagen diese Daten auf Ebene der Gemeinden vor. Die Zusammenstellung einer Futtermischung ist eine wichtige Aufgabe für jeden Viehhalter. Dafür werden Kenntnisse zum art- und leistungsspezifischen Futterbedarf, zur Futteraufnahme sowie zum Energie- und Nährstoffgehalt der Futtermittel benötigt. Bei der Bewertung einer Region erscheint es jedoch unmöglich alle Einzelheiten der Fütterung zu berücksichtigen, da die Futtermischungen sich nicht nur nach Betrieb, sondern auch innerhalb eines Betriebes unterscheiden. Daher wurde jeder Tiergruppe eine einheitliche, an die brandenburgischen Bedingungen angepasste Grundfutmischung zugewiesen, die anhand der Literaturquellen [22–24] zusammengestellt und in Rücksprache mit regionalen Viehhaltern und Beratern verifiziert wurde (Tabelle 2-5). Mais ist neben Grünschnitt maßgeblicher Bestandteil der Futterzusammenstellung.

Tabelle 2-5: Tierbestände im Untersuchungsgebiet und angenommene Grundfuttermengen in kg TM/(Tier*Tag).

Tiergruppe	Zahl der Tiere	Maissilage	Grassilage	Weide	Heu
Kälber unter 6 Monaten	13.834	0,5	0,5	-	0,5
Männliche Rinder von 6 Monaten bis 2 Jahren	8.386	5,4	1,0	-	-
Männliche Rinder über 2 Jahre	1.105	7,0	1,5	-	-
Weibliche Mastrinder von 6 Monaten bis 2 Jahren	1.721	2,0	4,7	-	-
Weibliche Zuchtrinder von 6 Monaten bis 2 Jahren	23.284	1,7	3,0	1,0	1,0
Weibliche Rinder über 2 Jahre	6.933	1,2	4,3	2,0	0,9
Milchkühe	26.036	7,0	4,8	-	0,9
Mutterkühe	18.901	-	-	6,0	6,0
Mutterschafe	9.557	-	-	0,9	0,9
Schafe älter als 1 Jahr ¹⁾	420	-	-	0,6	0,6
Ziegen	257	-	-	1,0	1,0
Equiden ²⁾ unter 6 Monaten	257	-	-	-	1,3
Equiden ²⁾ über 6 Monaten	4.592 ³⁾	-	-	3,0	3,0

¹⁾ außer Mutterschafe ²⁾ darunter Pferde, Ponys und Esel ³⁾ die Zahl der Equiden über 6 Monate beläuft sich auf 5.403 Stück; in Brandenburg gesamt liegt das Verhältnis bei ca. 70 % Pferde, 30 % Ponys/Esel [26]; um den Futterbedarf zu ermitteln, wurden Equiden in GVE umgerechnet: Pferd=1 GVE, Pony/Esel=0,5 GVE

Aufgrund der gestiegenen Zahl von Biogasanlagen ist Mais zu einer stark gefragten Kultur geworden und der Maisanbau wurde auch in Brandenburg in den letzten Jahren ausgedehnt [27]. Daraus folgt ein verstärkter Nutzungsdruck sowie einhergehend ein Verlust von Grünland. Gleichzeitig gewinnt das Material von Grünlandflächen an Bedeutung. Sollten die Silomaisserträge infolge einer schlechten Ernte für beide Hauptnutzer, Tiere und Biogasanlagen nicht ausreichen, kann fehlendes Substrat aus anderen Gegenden zugekauft und angeliefert werden. Fallen Transportkosten dabei sehr hoch aus, so wird zunächst versucht, andere Rohstoffe verstärkt bei der Biogasproduktion einzusetzen. Die benötigte Menge an Energiemais wurde anhand einer Befragung der Anlagenbetreiber ermittelt (siehe Kapitel 6.1) und beläuft sich auf rund 100.000 t TM/a (Tabelle 2-6). In der gleichen Größenordnung liegt der Futterbedarf der Tiere im Untersuchungsgebiet, der sich als Produkt aus den Tierbeständen der regionalen Futtermengen errechnen lässt. Wie aus der Tabelle 2-6 ersichtlich ist, besteht im Untersuchungsgebiet derzeit ein geringer Überschuss an Maissilage, der weniger als 1 % der Gesamtmenge ausmacht und auf Ungenauigkeit in der Datenbasis zurückzuführen ist. In der räumlichen Verteilung konzentrieren sich Maisanbauflächen im zentralen und nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes (vgl. Abbildung 2-12).

Tabelle 2-6: Berechnung der Maismengen im Untersuchungsgebiet

Ergebnisse	Einheit	Wert
Gesamte Silomaisfläche (gemäß InVeKoS-Daten)	ha	28.520
davon Fläche mit Körnermais ¹⁾	%	13
Maisertrag ²⁾	t FM/ha	32,9
Gesamtverlust	%	15
Maissilagemenge bei 30 % TM, inklusive Verluste	t TM/a	208.200
Biogasanlagenbedarf	t TM/a	100.000
Futterbedarf	t TM/a	107.100
errechneter Maissilageüberschuss	t TM/a	1.100

1) gemäß Brandenburger Agrarbericht [27] hat Körnermais einen durchschnittlichen Anteil von ca. 12-15 % an der Maisanbaufläche ²⁾ durchschnittlicher Maisertrag im Landkreis Havelland in 2005-2009 [28,29]

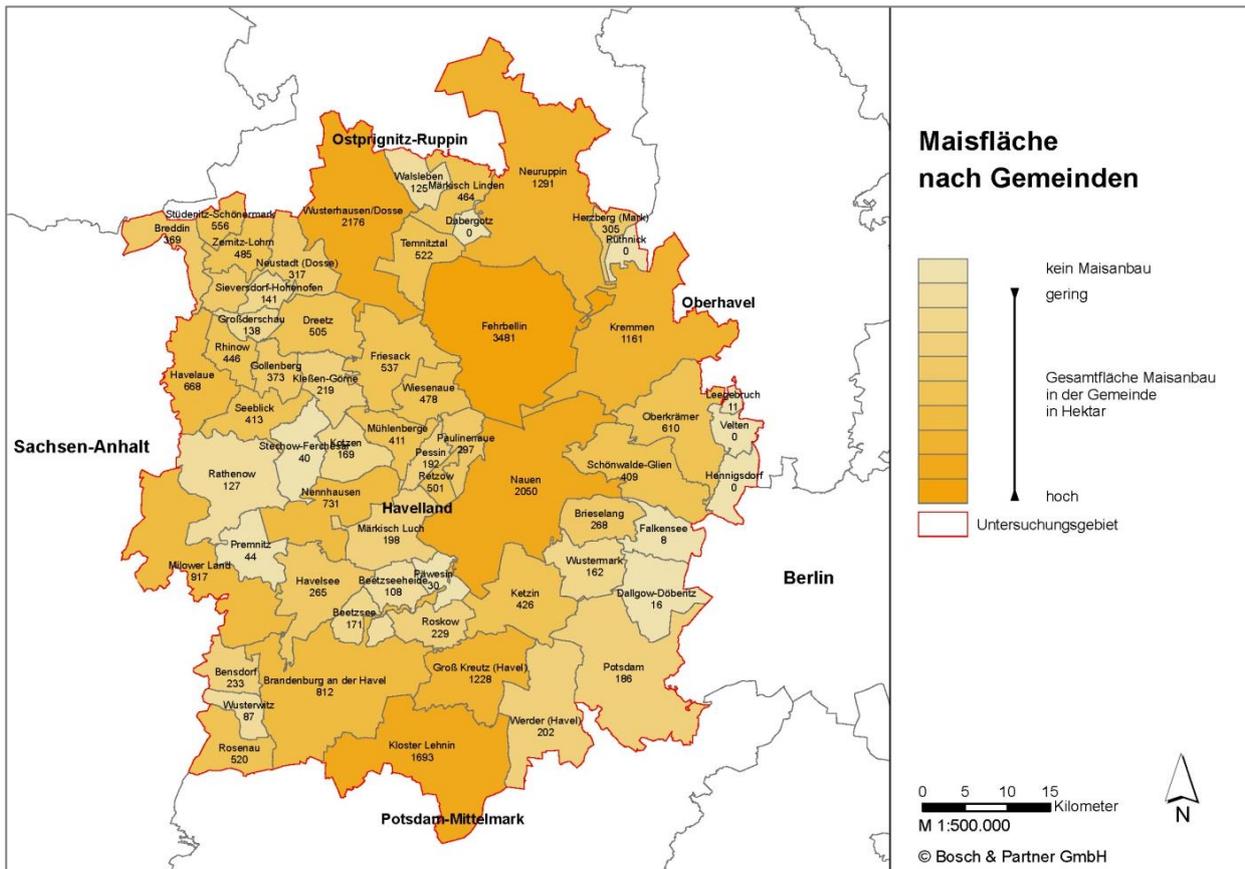


Abbildung 2-12: Verteilung der Maisanbauflächen nach Feldblöcken von niedrig 0 ha/Gemeinde und hoch 3.840 ha/Gemeinde (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB])

Ausgehend von den InVeKoS-Angaben konnte jeder Feldblock genau lokalisiert werden. Die Informationen zu den Tierbeständen lagen nur auf Gemeindeebene vor. Aufgrund der anonymisierten Daten war es nicht möglich, die Tiere den Flächen beziehungsweise den Betrieben zuzuordnen. Daher wurde der Futterbedarf auf Gemeindeebene ermittelt. Dementsprechend wurde auch der Substratbedarf der Biogasanlagen auf Gemeindeebene hochgerechnet. Die Bilanzierung der Maissilage auf Gemeindeebene ergab, dass 10 von insgesamt 59 Gemeinden eine deutlich negative Maissilagebilanz aufwiesen (Abbildung 2-13). Das lag entweder an der großen Nachfrage nach Energiemais (Wusterhausen/Dosse, Nauen, Rathenow), dem hohen Futtermaisbedarf (Havelaue, Kremmen) oder dem zu geringen Maisanbau (Dabergotz, Wusterwitz, Rathenow).

Eine gewisse Ungenauigkeit bei der Bilanzierung auf Ebene der Gemeinden beruht auch auf der Qualität der erhaltenen statistischen Daten. Die Nutztiere werden den Gemeinden beziehungsweise Ortsteilen nach dem Sitz des Viehbetriebes zugeordnet. Die genaue Lage der Weiden und Mähwiesen waren unbekannt. Ferner erstrecken sich die Flächen mancher Betriebe über mehrere Gemeinden. Dementsprechend wird ein und dieselbe Kultur, die aufgrund der Fruchtfolge auf verschiedenen Feldern des Betriebes angebaut wird, den unterschiedlichen Gemeinden zugeschrieben. In der Realität wird der hier errechnete Bedarf und Überschuss an Mais und Grasschnitt für die Futternutzung zwischen den Gemeinden ausgeglichen.

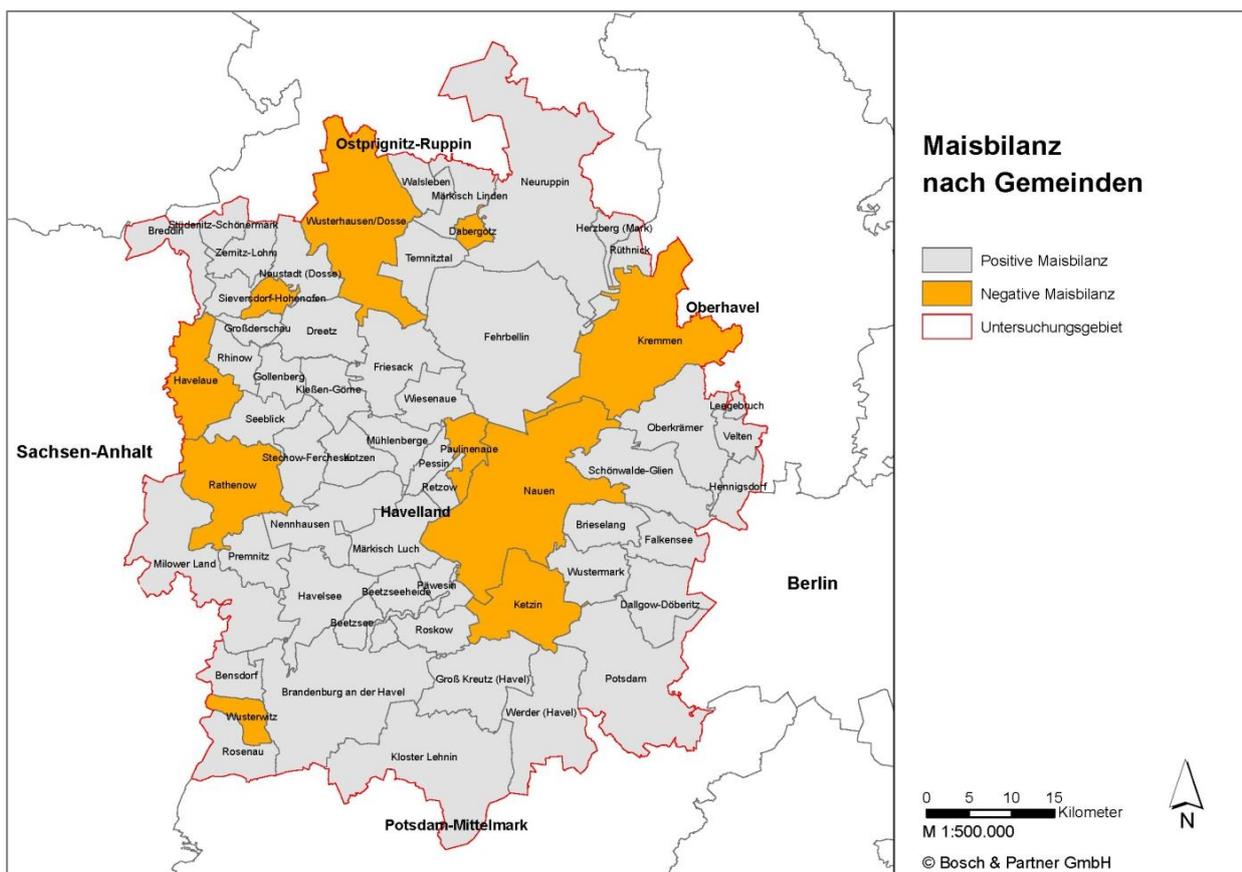


Abbildung 2-13: Gemeinden mit negativer Maisbilanz (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [LGB])

Anders sieht die Situation bei Gras aus. Während der Aufwuchs von intensiven Grünlandflächen als Tierfutter sowie als Biogassubstrat nachgefragt ist, findet Biomasse von extensivem Grünland oft keine Verwertung. Besonders betroffen sind die Flächen, die bedingt durch Naturschutzauflagen erst im Spätsommer zum ersten Mal landwirtschaftlich genutzt werden dürfen, was zu einer verminderten Futter- und Gärqualität führt. Aufgrund der geringeren Energiedichte ist der Transport von Grassilage nicht so lukrativ wie der von Maissilage. Heuballen werden dagegen über weitere Strecken gefahren, wobei sich der niedrige Wassergehalt von Heu als vorteilhaft erweist.

Um herauszufinden, auf welchen Flächen die überschüssigen Mengen an Gras anfallen, wurde eine Bilanzierung auf Gemeindeebene durchgeführt. Es ist kaum festzustellen, in welcher Form Gras von den betrachteten Flächen genutzt wird, besonders wenn es um verschiedene Schnitte bei mehrmaliger Nutzung einer Fläche handelt. Ob siliert, getrocknet oder abgeweidet – das entscheidet der Landwirt meist kurzfristig in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen und der betrieblichen Auslastung. Um dieser Konstellation soweit wie möglich Rechnung zu tragen, wurden alle Werte auf die Trockenmasse und das Jahr bezogen angegeben.

Zunächst wurden die intensiven Grünlandflächen betrachtet. Sie werden regelmäßig gedüngt und mehrfach während einer Vegetationsperiode genutzt. Der damit verbundene erhöhte Aufwand lässt erwarten, dass der Aufwuchs von diesen Flächen einer Nutzung zugeführt wird. Zudem wird Graskonservierung in Form von Silage heutzutage von den meisten havelländischen Landwirten bevorzugt. Die Heuwerbung unterliegt einem erhöhten Witterungsrisiko und ist in der Regel kostenintensiver. Aus diesem Grund wurde davon ausgegangen, dass Intensiv-Grünland in erster Linie der Silagegewinnung dient.

Einige Gemeinden wiesen ähnlich wie bei Maissilage eine negative Grassilage-Bilanz auf. Zur Minimierung der Transportwege wurde angenommen, dass Silage nur von den angrenzenden Gemeinden angeliefert wird. Auf diese Weise konnte der Silagemangel in der gesamten Region ausgeglichen werden. Eine Ausnahme bildete die Gemeinde Kloster Lehnin, in welcher Grassilage auch von extensiven Flächen gewonnen wird.

Ergebnisse

Theoretisches Grünlandpotenzial

Von rund 68.300 ha Grünlandflächen werden zwei Drittel als extensives Grünland und ein Drittel als intensives Grünland bewirtschaftet. Die Verteilung der Standorttypen zeigt, dass Grünland überwiegend (intensiv rund 74 % und extensiv rund 67 %) auf Niedermooren mit phasenweiser Vernässung, grundwasserbeeinflussten Sanden der Niederungen, grundwasserbeeinflusste humose, z.T. lehm- und schluffhaltige Sande der Niederungsränder oder mäßig grundwasserbeeinflussten Auenstandorten vorliegt (vgl. Abbildung 2-14). Knapp 30 % der extensiven und lediglich 20 % der intensiven Flächen sind durch besonders ertragreiche Böden der Standorttypen I und II gekennzeichnet.

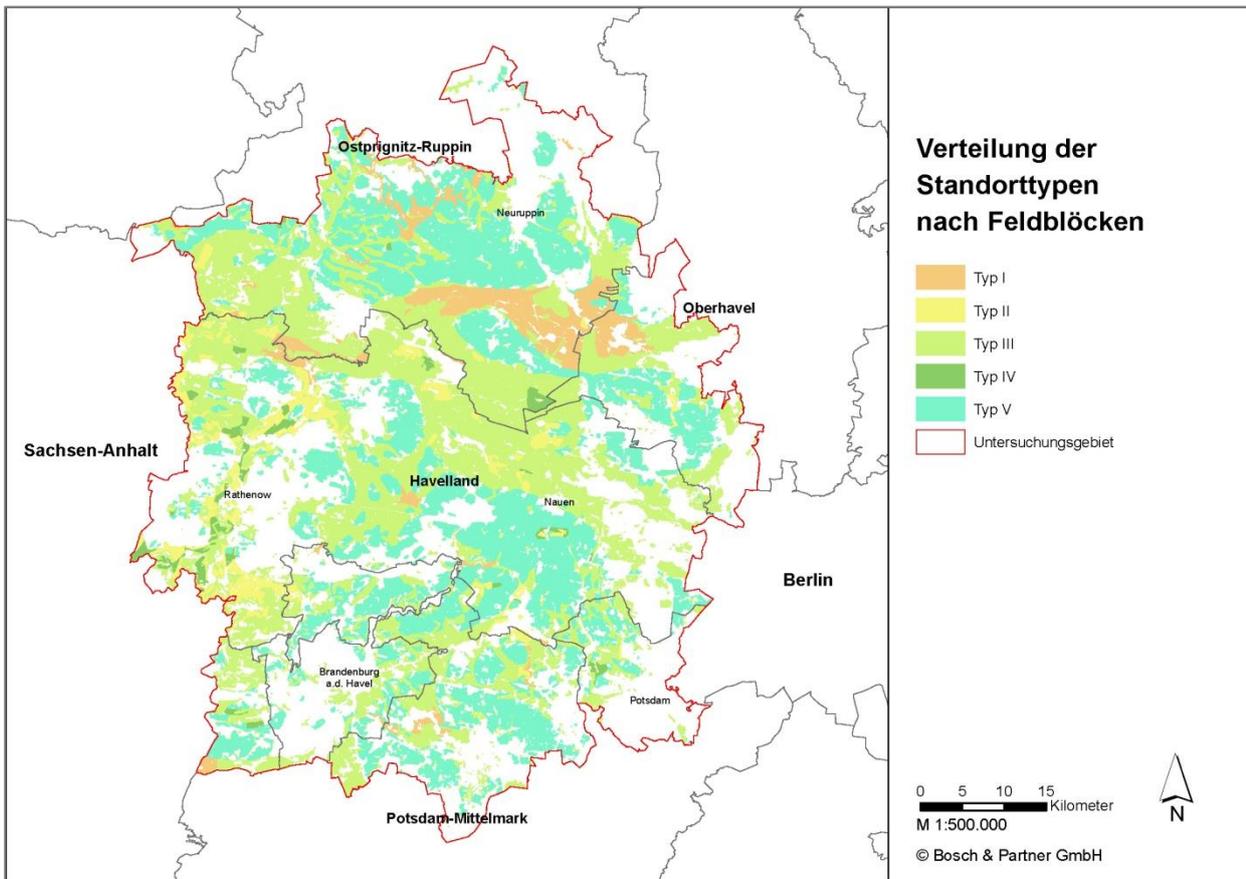


Abbildung 2-14: Räumliche Verteilung der Standorttypen auf der landwirtschaftlichen Fläche im Untersuchungsgebiet (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, MMK, LGB])

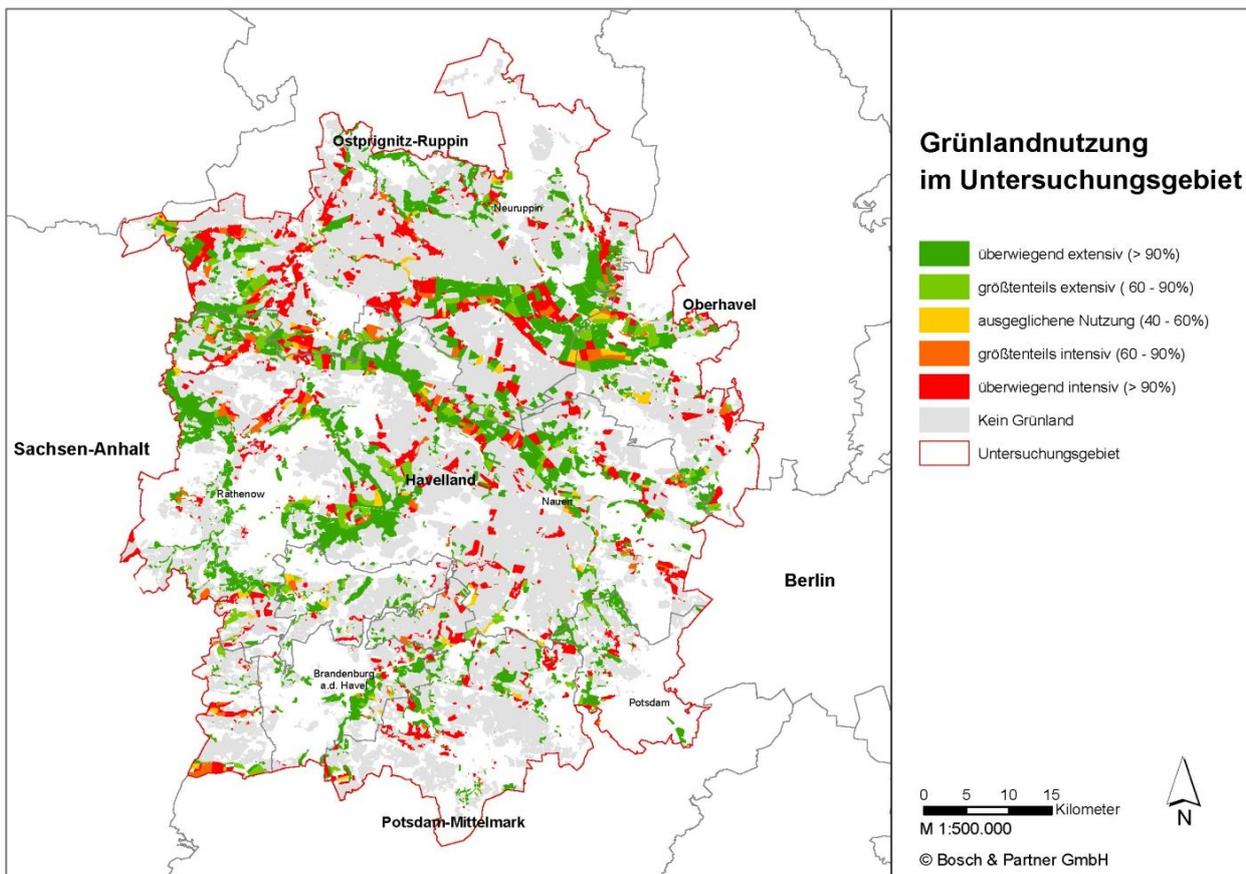


Abbildung 2-15: Nutzungsintensität der Grünlandflächen im Untersuchungsgebiet, dargestellt anhand des Feldblockanteils intensiver und extensiver Nutzung in Prozent (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB])

Das Ergebnis der Abschätzung des Biomasseaufwuchses unter Annahme der mittleren erwarteten Erträge von Grünland im Untersuchungsgebiet ergibt ein Biomassepotenzial von rund 366.000 t TM/a (vgl. Tabelle 2-7). Im Szenario bei +/- 20 % ergeben sich Potenziale von 292.800 t TM in ertragsarmen und 439.200 t TM in ertragsreichen Jahren. Gras von extensiven und von intensiven Flächen entspricht jeweils etwa der Hälfte des Gesamtaufkommens. Aus Sicht der energetischen Nutzung der Biomasse und unter der Annahme, dass etwa 40 % des Materials von extensiven Flächen einer Biogasnutzung zugeführt werden kann, sind insgesamt rund 243.700 t TM/a theoretisch für diesen Konversionspfad geeignet. Die übrigen 122.300 t TM eignen sich für die Pelletierung und Verbrennung.

Tabelle 2-7: Übersicht zum theoretischen Biomassepotenzial von Grünland in t TM/a.

Theoretisches Potenzial	Wert in t TM/a.
Gesamt	366.000
Davon aus extensiver Nutzung	183.500
Davon aus intensiver Nutzung	182.500
Davon mit Biogas-/Futterqualität	243.700
Davon für Pelletierung und Verbrennung	122.300

Die räumliche Verteilung der Biomasseaufkommen ist in Abbildung 2-16 und Abbildung 2-17 dargestellt. Schwerpunkte des Biomasseaufkommens befinden sich im nördlich liegenden Rhinluch, im zentralen Havelland und erstrecken sich vom Gebiet des havelländischen Luchs in nordwestlicher Richtung bis an die Grenze zu Sachsen-Anhalt.

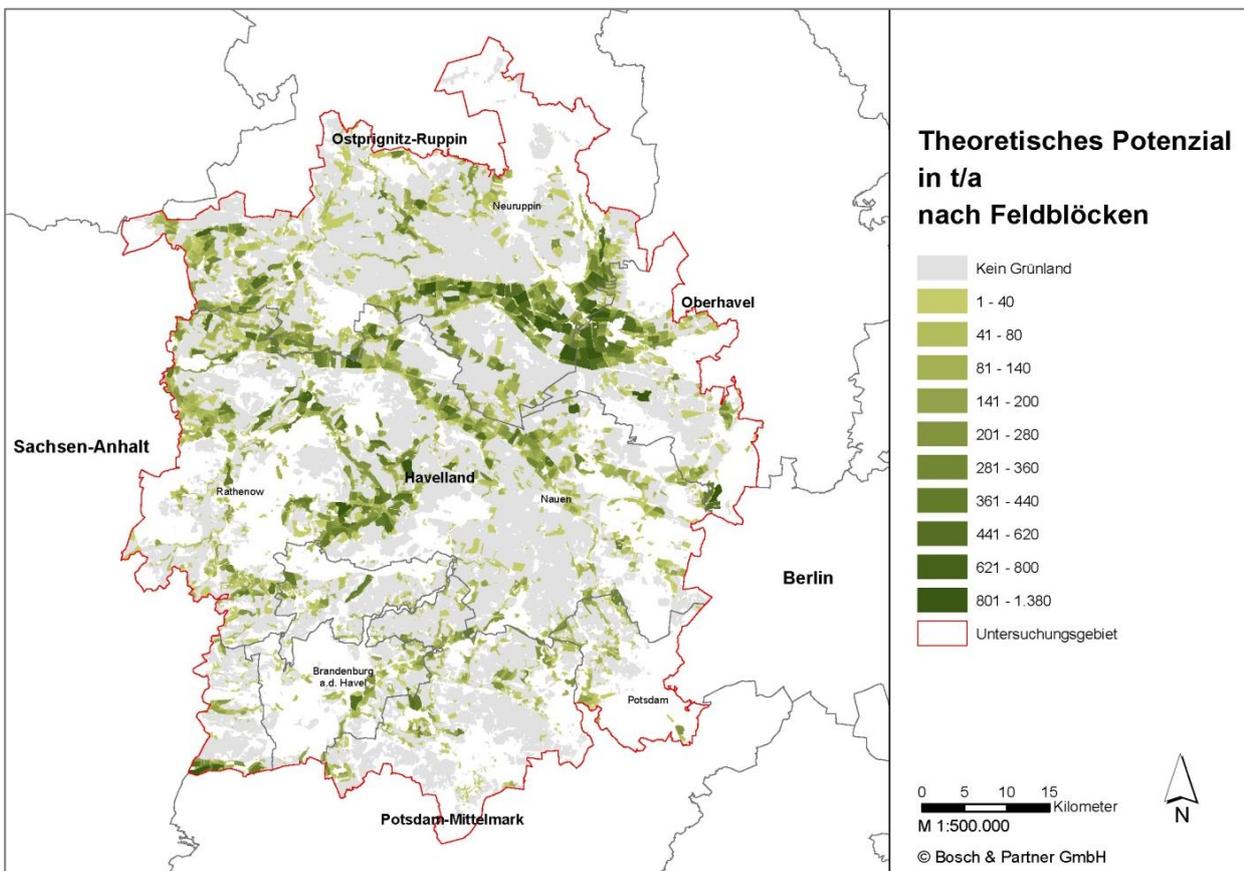


Abbildung 2-16: Verteilung des theoretischen Biomassepotenzials im Untersuchungsgebiet (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, MMK, LGB])

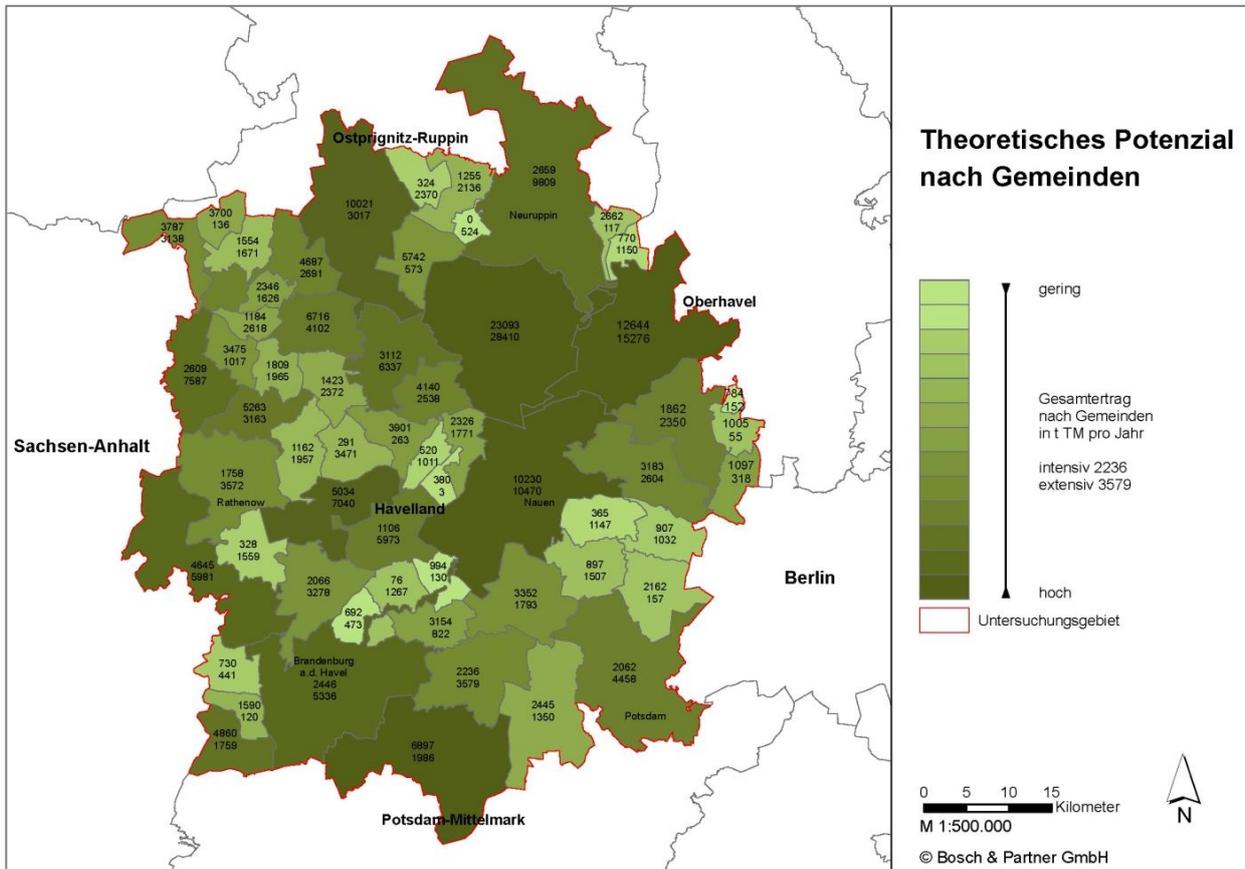


Abbildung 2-17: Ausprägung des Gesamtbiomasseertrags der Gemeinden aufgeschlüsselt nach der Nutzungsintensität (intensiv oder extensiv) (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB, MMK])

Technisches Biomassepotenzial

Im Ergebnis der Analyse besteht ein Silagebedarf von insgesamt 182.500 t TM Gras von intensiven Standorten. Vom theoretischen Biomassepotenzial verbleiben jährlich über 45.000 t TM Gras, die als Heu geerntet werden könnten. Bis auf drei Gemeinden im Landkreis Oberhavel (Leegebruch, Velten und Hennigsdorf, siehe Abbildung 2-19) wird Heu von intensivem Grünland zwischen den Gemeinden verteilt und vollständig verbraucht, sodass man auf extensive Flächen zugreifen muss, um den restlichen Heubedarf zu decken. Nach Berücksichtigung des Weidebedarfs und dem Ausgleich der negativen Heubilanz, stehen für die energetische Nutzung jährlich rund 800 t TM an intensivem und 46.200 t TM an extensivem Gras zur Verfügung. Die räumliche Verteilung der überschüssigen Grünlandflächen ist in Abbildung 2-18 dargestellt.

Tabelle 2-8: Bilanzierung der Grasmenge im Untersuchungsgebiet

Ergebnisse	Menge in t TM*a ⁻¹
Grassilagebedarf von Tieren ¹⁾	113.900
Grassilagebedarf von Biogasanlagen ¹⁾	23.600
Heubedarf von Tieren ²⁾	102.400
Weidebedarf von Tieren ¹⁾	79.100
Grasangebot von intensiven Flächen ³⁾	182.500
Grasangebot von extensiven Flächen ³⁾	183.500
Grasüberschuss (intensive Flächen) ³⁾	800
Grasüberschuss (extensive Flächen) ³⁾	46.200

¹⁾ inklusive 20 % Verluste ²⁾ inkl. 30 % Verluste ³⁾ theoretisches Potenzial

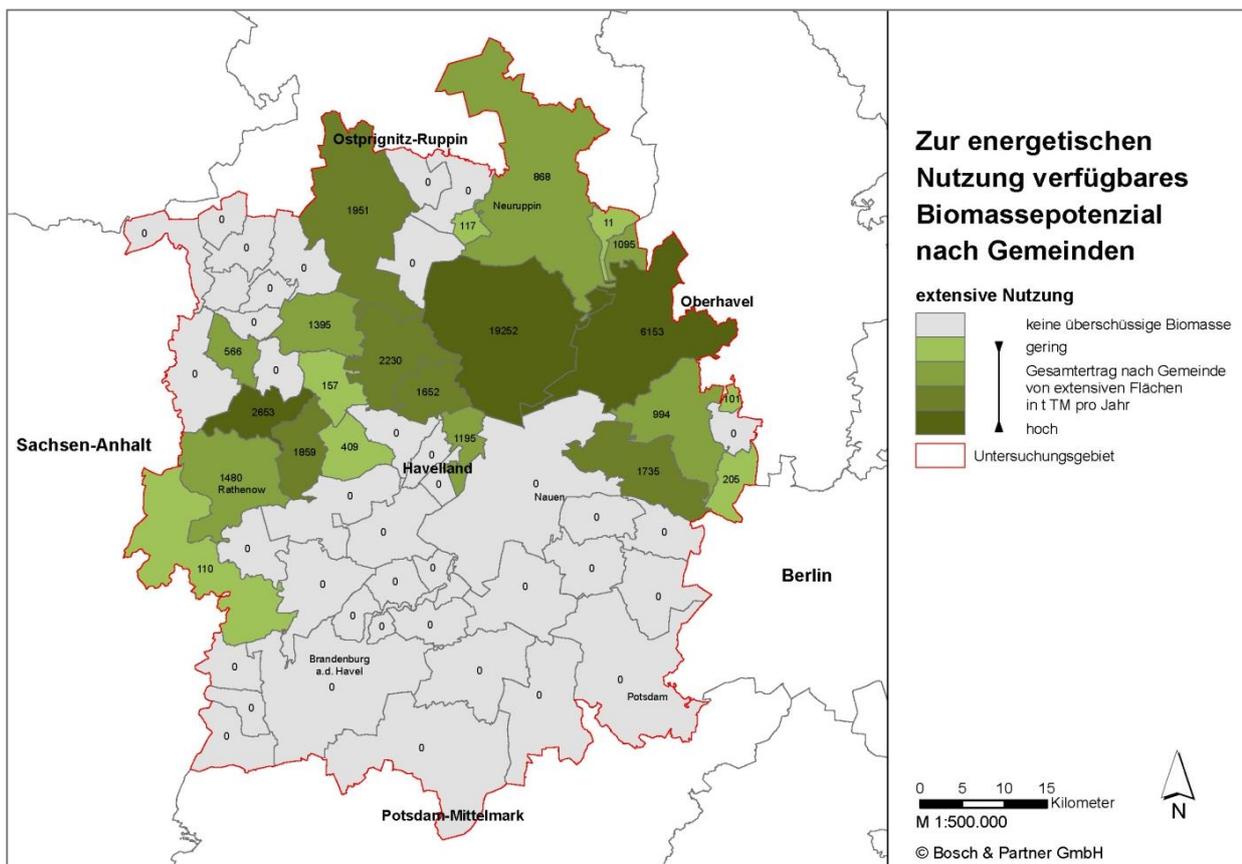


Abbildung 2-18: Gemeinden in denen überschüssige Biomasse von extensiv genutzten Grünflächen zur möglichen energetischen Nutzung vorhanden ist (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB])

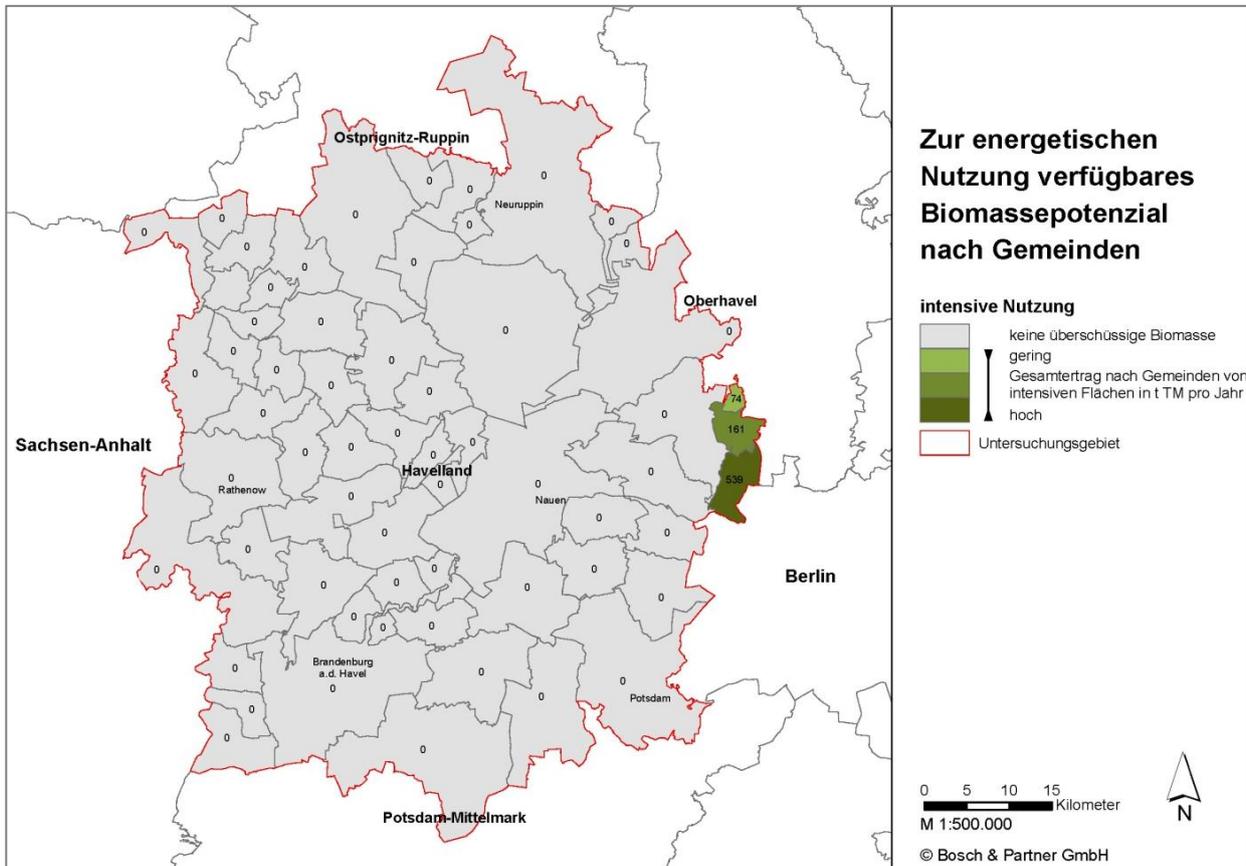


Abbildung 2-19: Gemeinden in denen überschüssige Biomasse von intensiv genutzten Grünflächen zur möglichen energetischen Nutzung vorhanden ist (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB])

Es ist festzustellen, dass sich die Potenziale zur energetischen Nutzung von Grünlandflächen auf den Norden des Untersuchungsgebietes konzentrieren. Dort befinden sich zum Teil große Mengen an Gras, die energetisch verwertet werden könnten. Abzüglich der Werbungs- und Lagerungsverluste eigenen sich näherungsweise rund 15.400 t TM/a für den Einsatz in einer Biogasanlage, während die verbleibende Menge Gras von rund 19.400 t TM/a für die Pelletierung und Verbrennung genutzt werden könnte.

2.4.2 Potenziale aus der Gewässerunterhaltung

Bei der Gewässerunterhaltung fällt regelmäßig Biomasse an, die grundsätzlich für eine energetische Nutzung zur Verfügung steht. In Gebieten mit dichtem Gewässernetz sind zum Teil hohe Biomassertragspotenziale zu erwarten. Für Brandenburg erfolgt die Unterhaltung der Gewässer durch Wasser- und Bodenverbände (WBV). Die Durchführung der Maßnahmen an den Gewässern I. und II. Ordnung im Untersuchungsgebiet unterliegt der Zuständigkeit von sechs WBV. Vornehmliche Unterhaltungsaufgaben stellen die Sohlkrautung sowie die Böschungsmahd zur Sicherung der Gewässerfunktionen dar. Das Material wird überwiegend an den Gewässerrändern geschlegelt/gemulcht und zu einem kleinen Teil kompostiert. Die energetische Verwertung der anfallenden Biomassereststoffe stellt

im Kontext der dezentralen Energieversorgung und dem Ausbau der Erneuerbaren Energien eine weitere Nutzungsalternative dar. Andere Nutzungspfade wie bspw. die stoffliche Verwertung der Biomasse sind nicht vorhanden.



Abbildung 2-20: Unterhaltungsmaßnahme „Sohlkrautung“ am Gewässer II. Ordnung, Brandenburg (Foto: Bosch & Partner)

Im Folgenden wird das Gewässernetz im Untersuchungsgebiet charakterisiert. Die entwickelte Methodik zur Abschätzung des Biomassepotenzials aus der Gewässerunterhaltung wird erläutert und letztlich werden die ermittelten Potenziale im Ergebnis für das Untersuchungsgebiet dargestellt.

Beschreibung des Gewässernetzes

Die Landschaft im Untersuchungsgebiet überspannt ein stellenweise hoch verdichtetes Gewässernetz. Die Niederungen sind von Kanälen durchzogen, die teilweise als Wasserstraßen ausgebaut wurden. Insgesamt erstrecken sich die Gewässer I. Ordnung über eine Gesamtlänge von rund 640 km und die II. Ordnung über eine Länge von rund 5.000 km im Projektgebiet. Zu den Gewässerabschnitten I. Ordnung zählen der Rhinkanal, der Ruppiner Kanal sowie die Dosse, die Jäglitz und der Große Havelländische Hauptkanal, deren Unterhaltung vertraglich zwischen den WBV und dem Landesumweltamt (LUGV) festgelegt wird.

Das Netz der Gewässer II. Ordnung ist im Untersuchungsgebiet stellenweise sehr dicht. Es kann zwischen drei Kategorien unterschieden werden: ganzjährig wasserführende Vorfluter, Meliorationsgräben und Ackergräben die nur zeitweise Wasser führen. In Folge dieser Flächenstruktur kommt es zu einem erheblichen Aufkommen von Materialien aus der Gewässerunterhaltung. In der Gewässer-
sohle wachsen hauptsächlich Makrophyten (krautiges Material) und vereinzelt Schilf. Insgesamt ist das geborgene Material oft mit mineralischen Anteilen und gelegentlich mit Abfallstoffen vermischt. An den Böschungen bietet sich dagegen ein sehr heterogenes Bild: Gras und Schilf wechseln sich überwiegend kleinflächig alle 50 bis 100 Meter ab, nur in Einzelfällen stehen reine Bestände über längere Gewässerabschnitte [30]. In anderen Bereichen sind krautige Vegetation (mehnjährige Stauden) oder Gehölze vorherrschend. Ein großer Teil der Flächen ist von besonderer naturschutzfachlicher Bedeutung, so dass die dort anfallende Biomasse nach dem derzeitigen Stand der Diskussion der EEG-Clearingstelle im Kontext der energetischen Nutzung als Landschaftspflegematerial [20] zu bewerten ist.



Abbildung 2-21: Gewässerabschnitt II. Ordnung nach der Unterhaltung, Brandenburg (Foto: Bosch & Partner)

Die Unterhaltung der Gewässer erfolgt in vielen Fällen über das ganze Jahr verteilt, wobei neben der Kernzeit von Oktober bis Februar Ausnahmegenehmigungen notwendig sind. Eine Unterhaltung des gesamten Netzes erfolgt aus wirtschaftlichen Gründen nicht. Rund zwei Drittel der Gewässer werden regelmäßig ein- bis zweimal jährlich nach Bedarf unterhalten. Maßnahmen an der Böschung werden ein- oder beidseitig durchgeführt, teilweise bedingt durch die beschränkte Zugänglichkeit der

Gewässer. Die Sohlkrautung erfolgt nur in Einzelfällen häufiger als einmal im Jahr. Das anfallende Material wird vornehmlich geschleget und direkt auf der Böschung belassen. In einigen Fällen führt dies zu Konflikten mit anderen Flächennutzungen. Auch aus umweltfachlicher Sicht sind alternative Lösungen interessant, da durch die Zersetzung der Biomasse Sickersäfte und die einsetzende Eutrophierung die Wasserqualität nachhaltig beeinträchtigt (vgl. [13]). Für die Unterhaltung gilt bisher möglichst aufwuchsvermindernde Maßnahmen durchzuführen, um den Aufwand zu verringern, bspw. werden Gewässerränder zum Teil nur einseitig unterhalten um die übrige Gewässerfläche verschattet zu belassen (vgl. Abbildung 2-21). Durch diese Strategie wird der Aufwuchs deutlich gemindert ([14]).

Anwendung der Methode im Untersuchungsgebiet

Im Folgenden wird die Vorgehensweise der Potenzialermittlung für Biomasse aus der Gewässerunterhaltung im Untersuchungsgebiet vorgestellt.

Die Datenrecherche, mit dem Ziel die Biomassepotenziale aus der Gewässerunterhaltung in ihrer räumlichen Verteilung möglichst exakt ermitteln zu können, stellte den ersten Schritt der Analyse dar. Zur Quantifizierung der allgemeinen Parameter von Biomassepotenzialen wurden folgende GIS-Daten über das Gewässernetz ermittelt:

Tabelle 2-9: Ermittelte Datengrundlagen zur Gewässerunterhaltung im Untersuchungsgebiet

Datengrundlage	Erklärung	Quelle
GewNet 25 BB	Gewässernetz Brandenburg	LGB 2010
BTNT	Biotoptypenkarte Brandenburg	LUAV 2007
Kataster der WBV	Datenbanken Gewässerunterhaltung, GIS-Daten der Gewässer	WBV 2010

Aufgrund unzureichender Angaben in den Datengrundlagen, vornehmlich in Bezug zu Erträgen und Qualitäten der Biomasse, wurde im zweiten Schritt zur Vervollständigung der Daten eine Expertenbefragung durchgeführt. Zum Auftakt wurde ein Experten-Workshop mit Vertretern der WBV und des Instituts für angewandte Gewässerökologie (IaG) zur Ermittlung und Klärung aller erheblichen Einflussfaktoren durchgeführt. Nachfolgend begann die Befragung der Experten bei den sechs Wasser- und Bodenverbänden im Untersuchungsgebiet zur Kategorisierung des Gewässernetzes und zur Abschätzung des technischen Rohstoffpotenzials. Der Fragebogen umfasste sechs Teilbereiche zu den in Kapitel 2.3.2 genannten Einflussfaktoren.

Nach der Rücksendung der Fragebögen erfolgte eine statistische und GIS-gestützte Auswertung der Umfrage. Das Gewässernetz wurde entsprechend kategorisiert und den verschiedenen Abschnitten - Erträge, Qualitäten sowie gegebenenfalls Biomasseverluste - zugeordnet. Auf der Grundlage der gewonnenen Ergebnisse konnten die Biomasseaufkommen im Untersuchungsgebiet in ihrer räumlichen Verteilung weitergehend abgeschätzt werden. Die Darstellung der räumlichen Verteilung von Biomasse erfolgte dabei, aufgrund der Datenlage, lediglich für die Gewässer I. Ordnung.

Insgesamt wurde der Fokus insbesondere auf die Punktquellen (vgl. S. 49) gelegt, da hier mit jährlich konstanten Biomasseaufkommen zu rechnen ist. Für die Netzquellen I. und II. Ordnung wurden erwartete Erträge für das gesamte Untersuchungsgebiet ermittelt. Eine räumliche Differenzierung konnte aufgrund der geringen Detailschärfe der Daten nicht erfolgen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse spiegeln die zum Teil große Unsicherheit hinsichtlich möglicher Biomasseerträge wider, bilden jedoch zumindest das Minimumpotenzial ab, wobei tatsächlich ein höheres theoretisches Potenzial zu erwarten ist. Zu dessen Ermittlung fehlen jedoch flächendeckende und detailreichere Datengrundlagen.

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse beruhen auf der Expertenbefragung der im Untersuchungsgebiet zuständigen WBV. Fünf der sechs beteiligten WBV haben an der Befragung teilgenommen. Bei den Angaben handelt es sich überwiegend um Expertenwissen für die keine empirischen Belege angeführt werden können. Die Ergebnisse sind deshalb unter Vorbehalt zu verwenden. Auf der Grundlage des gewonnenen Expertenwissens konnten die Potenziale von Biomassen aus der Gewässerunterhaltung zwar weitgehend ermittelt werden, die Ergebnisse der Umfrage blieben in einigen Fällen jedoch unvollständig und mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft insbesondere die Datengrundlagen zum Gewässernetz. Aus diesem Grund stellt das erfasste Potenzial nur einen Ausschnitt des Gesamtpotenzials von Biomasse aus der Gewässerunterhaltung dar (vgl. Abbildung 2-22).

Im Gesamtergebnis umfasst das Gewässernetz im Rahmen der derzeitigen Bewirtschaftung ein großes theoretisches Potenzial. Aus einem Teil der Netzquellen im Untersuchungsgebiet sind nach derzeitigen Erkenntnissen rund 216.000 m³ FM bis 536.000 m³ FM zu erwarten. Das Potenzial unterteilt sich in mehrere Fraktionen, welche im Folgenden aufgeschlüsselt dargelegt werden. Im Vergleich dazu stellen die Punktquellen mit rund 2.490 m³ FM einen erheblich geringeren Beitrag dar. Sie unterliegen jedoch deutlich weniger Unsicherheiten und stehen einer potenziellen Verwertung im Gegensatz zu Biomasse aus Netzquellen hinsichtlich technischer Gesichtspunkte wesentlich leichter zur Verfügung, da hier bereits eine Bergung und in vielen Fällen auch ein Abtransport durchgeführt wird.

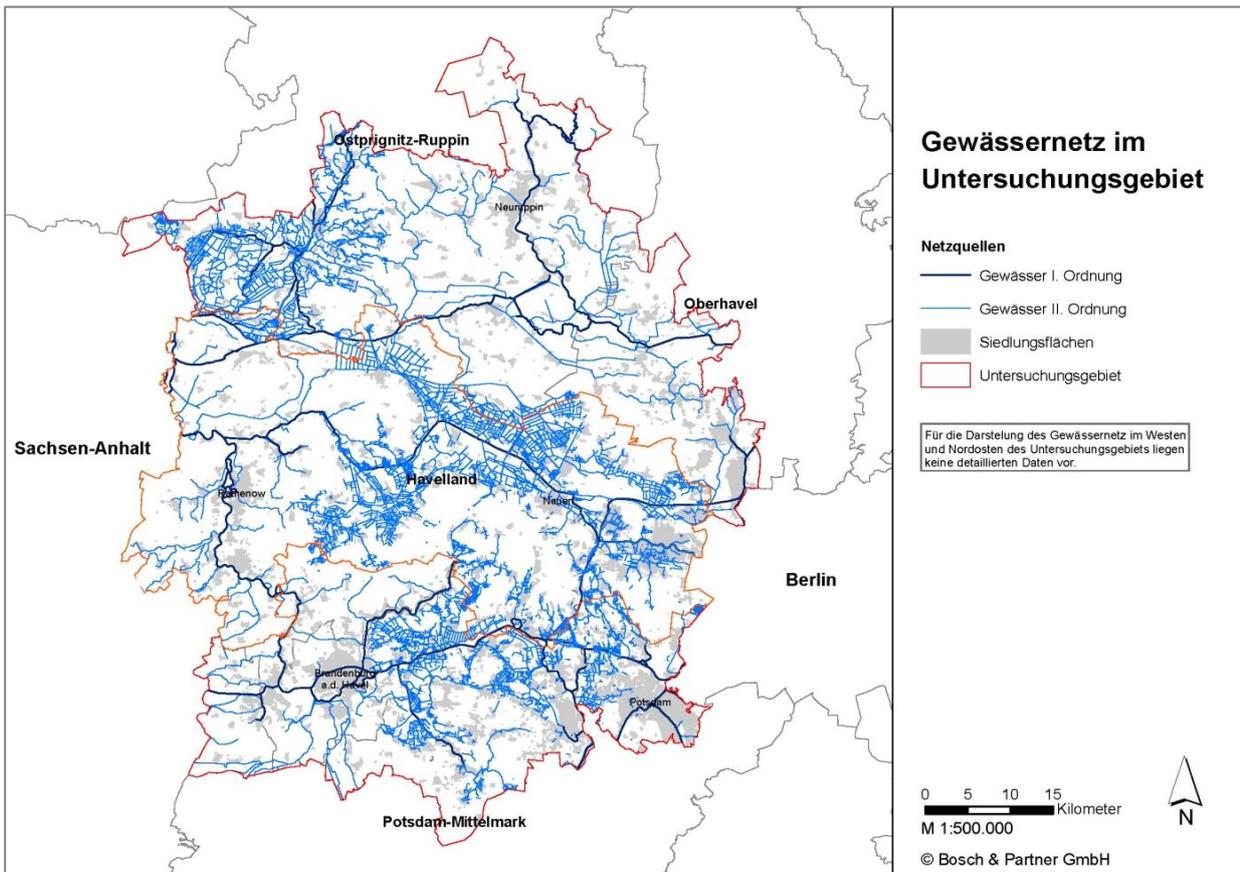


Abbildung 2-22: Gewässernetz I. und II. Ordnung im Untersuchungsgebiet (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [WBV, LGB])

Punktquellen

Die Lage der bekannten Punktquellen im Untersuchungsgebiet verteilt sich mit Einzelerträgen zwischen 50 und 265 m³ FM/a Substrat (vgl. Tabelle 2-10) dezentral im nördlichen Teil des Untersuchungsgebiets (siehe Abbildung 2-23). Mit wenigen Ausnahmen handelt es sich dabei um einen Substratmix, welcher überwiegend durch Makrophyten geprägt ist. Insgesamt fällt rund 2.500 m³ FM/a an. Unter der Annahme einer durchschnittlichen Rohdichte des krautigen, wenig mit Schilf versetzten Substrats von 0,25 t/m³ und einem TM-Gehalt von rund 25 % [13,14,30–33], beträgt das Potenzial rund 192 t TM/a. Die Qualität des Materials eignet sich aufgrund des geringen Trockensubstanzgehalts kaum für die Pelletierung und Verbrennung, da zunächst eine Trocknung erfolgen müsste. Dazu kommt, dass das Substrat häufig einen Anteil von rund 5 % (in Einzelfällen bis zu 20 %) mineralischer Substanz aufweist. Für den Einsatz in einer Biogasanlage besitzt es eine brauchbare Qualität. Aktuell werden die Materialien überwiegend an der jeweiligen Sammelstelle geborgen, abtransportiert und anschließend kompostiert. Informationen zu Werbungs- und Lagerungsverlusten liegen bisher nicht vor. Die Verfügbarkeit des Potenzials zur energetischen Nutzung hängt vom Einzelfall ab. Es ist zu empfehlen, im Rahmen einer lokalen Machbarkeitsstudie die konkreten Nutzungsbedingungen und die mögliche Integration der Punktquellen zu prüfen.

Tabelle 2-10: Erträge der Punktquellen von Biomasse aus der Gewässerunterhaltung im Untersuchungsgebiet

Gewässer	Ortsname	Landkreis	Gemeinde	WBV	Substrat	Ertrag FM [m ³ /Jahr]	Ertrag t TM/a
Rhinkanal	-	Havelland	Friesack	Fehrbellin	Makrophyten (wenig Schilf)	220	14
Rhinkanal	-	Ostprignitz-Ruppin	Fehrbellin	Fehrbellin	Makrophyten (wenig Schilf)	220	14
Wustrauer Mühlenrhin	-	Ostprignitz-Ruppin	Fehrbellin	Fehrbellin	Makrophyten	175	11
A-Graben	-	Ostprignitz-Ruppin	Fehrbellin	Fehrbellin	Makrophyten	85	6
Ruppiner Kanal	-	Oberhavel	Kremmen	Fehrbellin	Schilf (wenig Makrophyten)	265	17
Ruppiner Kanal	-	Oberhavel	Kremmen	Fehrbellin	Schilf (wenig Makrophyten)	265	17
GHHK	Rhinsmühlen	Havelland	Kotzen	Nauen	Makrophyten (wenig Schilf)	50	3
GHHK	Kotzen	Havelland	Kotzen	Nauen	Makrophyten (wenig Schilf)	50	3
GHHK	Senzke	Havelland	Mühlenberge	Nauen	Makrophyten (wenig Schilf)	50	3
GHHK	Wagenitz	Havelland	Mühlenberge	Nauen	Makrophyten (wenig Schilf)	50	3
GHHK	Bergerdamm	Havelland	Nauen	Nauen	Makrophyten (wenig Schilf)	50	3
Dosse	-	Havelland	Havelaue	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	55	3
Dosse	-	Havelland	Großderschau	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	55	4
Bültgraben	-	Havelland	Großderschau	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	50	3
Dosse	-	Havelland	Großderschau	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	55	4
Jäglitz	-	Ostprignitz-	Sieversdorf-	Dosse-Jäglitz	Substratmix	75	5

		Ruppín	Hohenofen		(wenig Schilf)		
Dosse	-	Ostprignitz-Ruppín	Neustadt (Dosse)	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	55	4
Jäglitz	-	Ostprignitz-Ruppín	Zernitz-Lohm	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	75	5
Dosse	-	Ostprignitz-Ruppín	Neustadt (Dosse)	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	55	4
Jäglitz	-	Ostprignitz-Ruppín	Breddin	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	75	5
Jäglitz	-	Ostprignitz-Ruppín	Stüdenitz-Schönermark	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	75	5
Dosse	-	Ostprignitz-Ruppín	Wusterhausen /Dosse	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	55	4
Dosse	-	Ostprignitz-Ruppín	Wusterhausen /Dosse	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	55	4
Dosse	-	Ostprignitz-Ruppín	Wusterhausen /Dosse	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	55	4
Dosse	-	Ostprignitz-Ruppín	Wusterhausen /Dosse	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	55	4
Dosse	-	Ostprignitz-Ruppín	Wusterhausen /Dosse	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	55	4
Dosse	-	Ostprignitz-Ruppín	Wusterhausen /Dosse	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	55	4
Dosse	-	Ostprignitz-Ruppín	Wusterhausen /Dosse	Dosse-Jäglitz	Substratmix (wenig Schilf)	55	4
Ruppiner Kanal	-	Oberhavel	Kremmen	Fehrbellín	Schilf (wenig Makrophyten)	265	17
GHHK	Rhinsmühlen	Havelland	Kotzen	Nauen	Makrophyten (wenig Schilf)	50	3
GHHK	Kotzen	Havelland	Kotzen	Nauen	Makrophyten (wenig Schilf)	50	3
GHHK	Senzke	Havelland	Mühlenberge	Nauen	Makrophyten (wenig Schilf)	50	3
GHHK	Wagenitz	Havelland	Mühlenberge	Nauen	Makrophyten (wenig Schilf)	50	3

Gesamt						2.490	193
--------	--	--	--	--	--	-------	-----

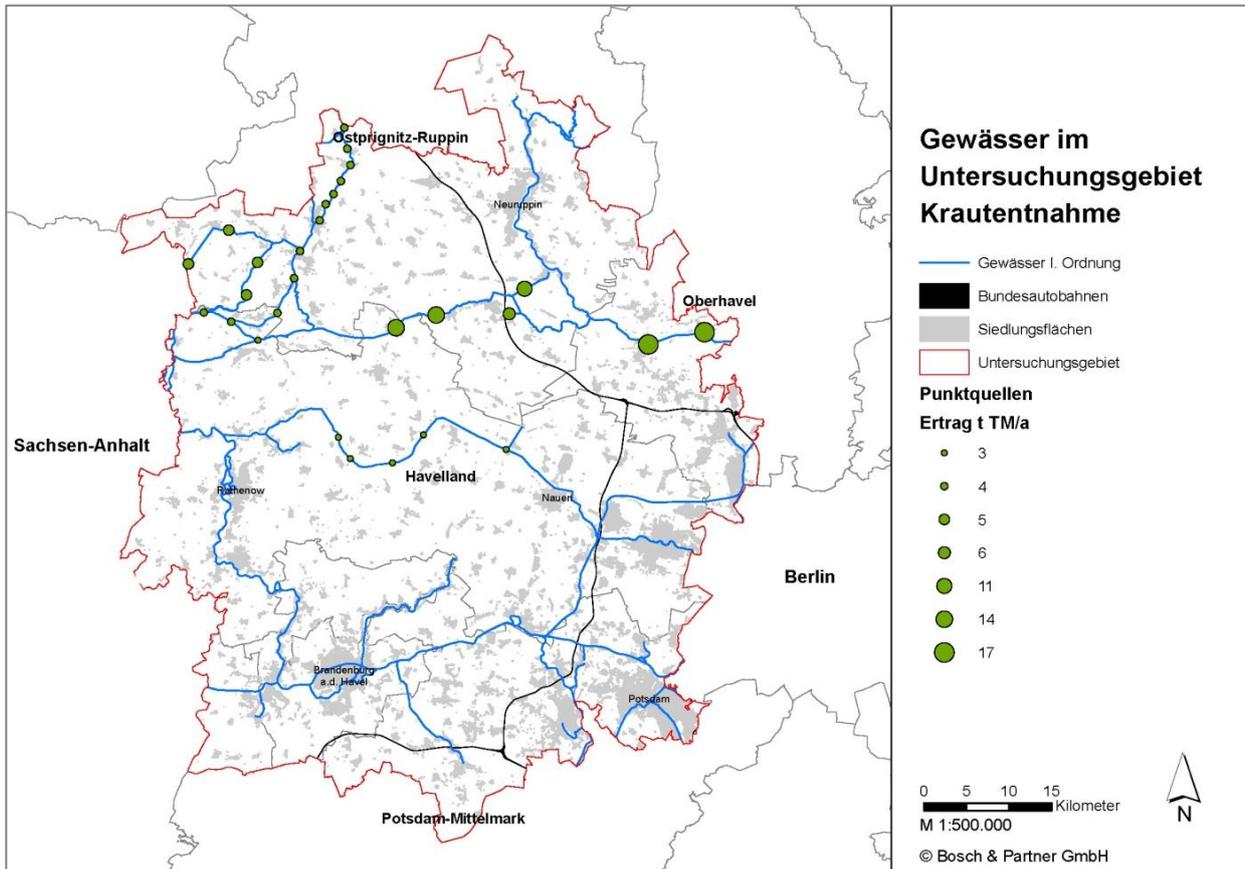


Abbildung 2-23: Punktquellen von Biomasse aus der Gewässerunterhaltung im Untersuchungsgebiet (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [WBV, LGB])

Netzquellen

Die Ergebnisse der Potenzialanalyse für die Netzquellen sind lückenhaft und insgesamt mit Unsicherheiten hinsichtlich der Erträge, Qualitäten und ihrer räumlichen Verteilung behaftet. Aufgrund unzureichender Daten konnte die Analyse des Biomassepotenzials lediglich für Teile des Untersuchungsgebiets durchgeführt werden. Im Bereich der WBV Dosse-Jäglitz, Großer Havelländischer Hauptkanal (GHHK)/Havelkanal-Havelseen und Untere Havel – Brandenburger Havel konnten Biomasseerträge ermittelt werden, die bei der Sohlkrautung³ und der Böschungsmahd anfallen. Dabei kann zwischen ertragsarmen und -reichen Jahren unterschieden werden, zwischen welchen zum Teil erhebliche Ertragsschwankungen zu verzeichnen sind (Tabelle 2-11). Das

³ Sohlkrautung: Beseitigung der Verkräutung einschließlich der Entnahme der Krautwurzeln oberhalb der gewachsenen Sohle. Häufig maschinell mit einem Mähkorb.

Gesamtvolumen des erwarteten Biomasseertrags liegt zwischen 216.000 m³ FM und 536.000 m³ FM/a.

Tabelle 2-11: Erträge der Netzquellen* von Biomasse aus der Gewässerunterhaltung im Untersuchungsgebiet

Gewässer	Qualität	Min. Ertrag FM [m ³ /a]	Max. Ertrag FM [m ³ /a]	Min. Ertrag t TM/a	Max. Ertrag t TM/a
Sohlkrautung an I. Ordnung	Biogas	1.000	3.000	60	200
Sohlkrautung an II. Ordnung	Biogas	68.000	250.000	4.300	15.600
Böschungsmahd an I. Ordnung	Biogas/ Pelletierung und Verbrennung	5.000	12.000	700	1.800
Böschungsmahd an II. Ordnung	Biogas/ Pelletierung und Verbrennung	142.000	271.000	21.300	40.700
Gesamt		216.000	536.000	26.360	58.300

*Angaben liegen nicht umfassend für das Untersuchungsgebiet vor, die Werte beziehen sich auf das Ergebnis der Befragung.

Unter den gleichen Annahmen, wie für die Punktquellen, ist beim Material aus der Sohlkrautung mit Erträgen zwischen 4.360 t TM/a und 15.800 t TM/a zu rechnen. Das Substrat ist sehr feucht und beinhaltet in vielen Fällen einen erheblichen mineralischen Anteil. Daher kann es für die Pelletierung und Verbrennung ausgeschlossen werden, zumal auch eine zusätzliche Trocknung des Materials erforderlich wäre. Dagegen eignet es sich prinzipiell zur Verwertung in einer Biogasanlage. Material aus der Böschungsmahd besteht mindestens zur Hälfte aus Gras, häufig liegt der Anteil zwischen 70 % und 80 %. Weitere Bestandteile sind Schilf zu 10 % bis maximal 40 % und krautige Vegetation mit nicht mehr als 20 %. Hier wird eine durchschnittliche Rohdichte von 0,3 t/m³ und ein TM-Gehalt von rund 50 % angenommen [13,14,30–33]. Daraus ergeben sich ein minimaler Ertrag von 22.000 t TM/a und ein maximaler Ertrag von 42.500 t TM/a. Welchem Konversionspfad die Biomasse zugeordnet werden sollte, entscheidet sich jeweils am TM-Gehalt. Trockenes und überständiges Material eignet sich grundlegend für die Pelletierung und Verbrennung, während die übrigen Zustände eher einer Biogasnutzung zuzuordnen sind. Die räumliche Lage der Biomasse kann auf das Netz der Gewässer II. Ordnung projiziert werden. Eine weitere Differenzierung anhand der drei Gewässertypen (ganzjährig wasserführende Vorfluter; Meliorationsgräben; Ackergräben - nur zeitweise wasserführend) ist aufgrund mangelnder Daten nicht möglich, besitzt jedoch aufgrund der unterschiedlichen Flächengrößen (vgl. Tabelle 2-11) und Erträge eine hohe Relevanz.

Hinsichtlich des energetisch nutzbaren Anteils des Biomassepotenzials bestehen keine bekannten Konkurrenznutzungen der Biomasse aus der Gewässerunterhaltung. Zu Werbungs- und Lagerungs-

verlusten liegen bisher keine Erfahrungswerte vor, da das Material hauptsächlich geschlegelt und auf der Böschung belassen wird. Allerdings zeichnete sich bereits im Rahmen des Workshops ab, dass die für eine energetische Nutzung erforderliche Aufnahme und Transport der Biomasse durch fehlende technische Lösungen stark beschränkt beziehungsweise nicht möglich ist. Die notwendige Umrüstung und in vielen Fällen Neuanschaffung der zur Bergung notwendigen Technik, stellt aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten bisher eine stark eingeschränkte Handlungsoption dar. Darüber hinaus ist der Einsatz von Bergungs- und vor allem Transporttechnik an vielen Standorten aufgrund der sehr schmalen Randbereiche nicht oder nur beschränkt möglich. Bei der Werbung- und Lagerung des Materials wäre mit einem Verlust von rund 30 % zu rechnen. Das Biomassepotenzial der Netzquellen von durchschnittlich rund 29.400 tTM/a steht daher zunächst nur sehr eingeschränkt zur energetischen Nutzung zur Verfügung. Es ist empfehlenswert bei einer konkreten Machbarkeitsanalyse für eine Biogas- oder Verbrennungsanlage die Nutzung der bestehenden Potenziale aus der Gewässerunterhaltung im Detail lokal zu prüfen. Aus diesem Grund wird das Potenzial der Netzquellen im Gesamtergebnis als nicht mobilisierbar beurteilt.

2.4.3 Potenziale von besonderen Biotopflächen

Synergien zwischen Bioenergienutzung und den Zielen des Naturschutzes ergeben sich aus der energetischen Verwertung des Pflegematerials besonders wertvoller Biotopflächen. Das betrifft vorrangig die geschützten Biotope, wie beispielsweise Nass- und Feuchtwiesen, aber auch die als Kompensationsmaßnahmen für Eingriffe in Natur und Landschaft angelegten Flächen.

Im Folgenden werden die besonderen Biotope im Untersuchungsgebiet charakterisiert. Die Vorgehensweise bei der Abschätzung des Biomassepotenzials im Untersuchungsgebiet wird erläutert und es werden die ermittelten Ergebnisse dargestellt.

Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die besonderen Biotope halmgutartiger Biomasse im Untersuchungsgebiet liegen zum Teil in Schutzgebieten verschiedener Kategorien oder sind direkt nach § 32 BbgNatSchG (Gesetz über den Naturschutz und die Landschaftspflege im Land Brandenburg) geschützt. Für Brandenburg besonders typische Biotope wie Feuchtwiesen, Moore und Trockenrasen sind selten geworden oder durch verschiedene Ursachen gefährdet [34]. Das Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) führt als Fachbehörde gemäß § 32 Abs. 3 BbgNatSchG ein Verzeichnis der gesetzlich geschützten Biotope, in das Daten aus unterschiedlichen Kartierungen einfließen. Die besonderen Biotope sind weit gehend kleinflächig und über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt. Ihre Unterhaltung ist in den entsprechenden Schutzgebietsverordnungen und über Pflegeverträge geregelt. Eine Nutzung der halmgutartigen Biomasse ist nur in Einzelfällen zu vermuten. Die folgende Abbildung 2-24 gibt einen Überblick und eine Detailansicht der räumlichen Verteilung.

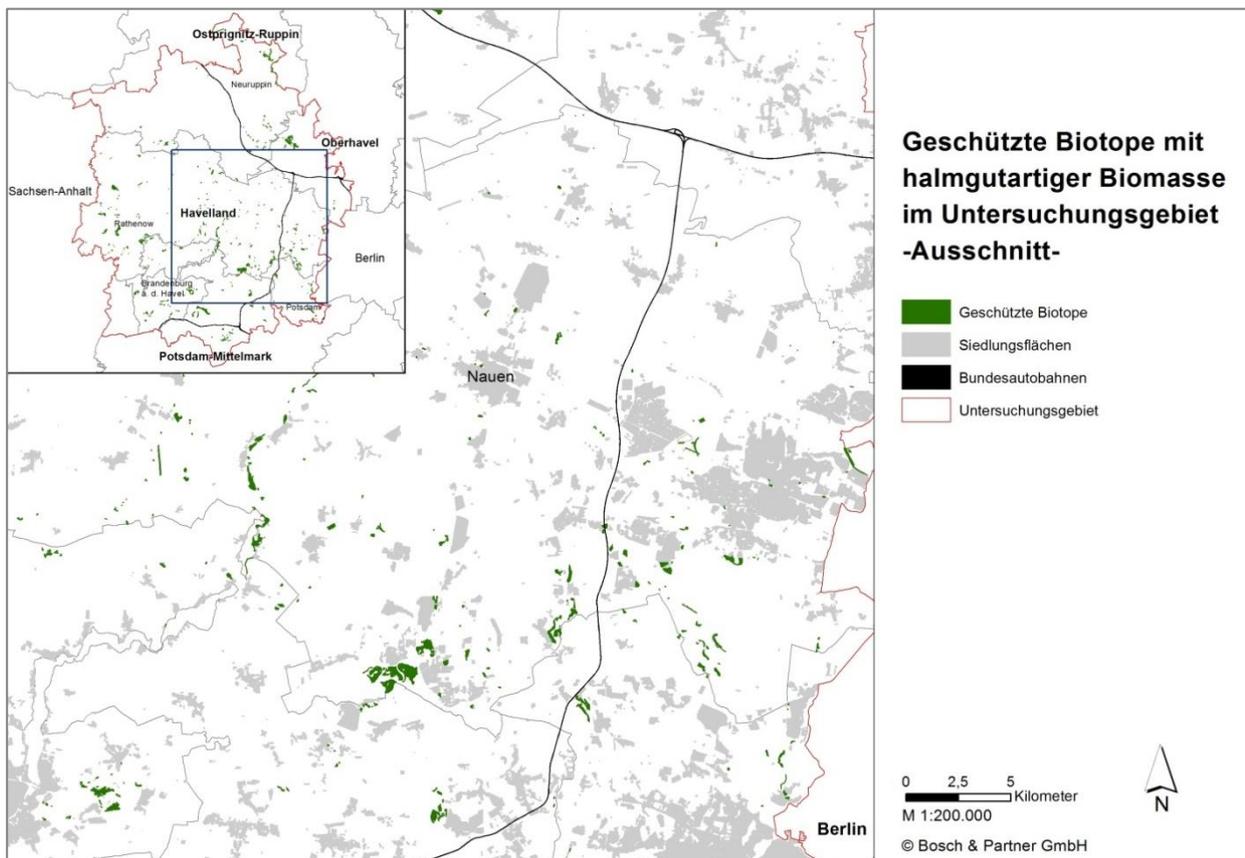


Abbildung 2-24: Ausschnitt der kleinflächigen, besonderen Biotope und deren dezentrale räumliche Verteilung im Untersuchungsgebiet (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [LGB, LUGV])

Zusätzliche Potenziale bieten neben den geschützten Biotopen, auch Kompensationsflächen. Diese liegen im Untersuchungsgebiet in Kompensationsflächenpools der Flächenagentur Brandenburg zusammengefasst vor (vgl. Abbildung 2-25). Diese Flächen unterliegen bestimmten Pflegeauflagen, bei welchen auch halmgutartige Biomasse anfällt und energetisch genutzt werden könnte.

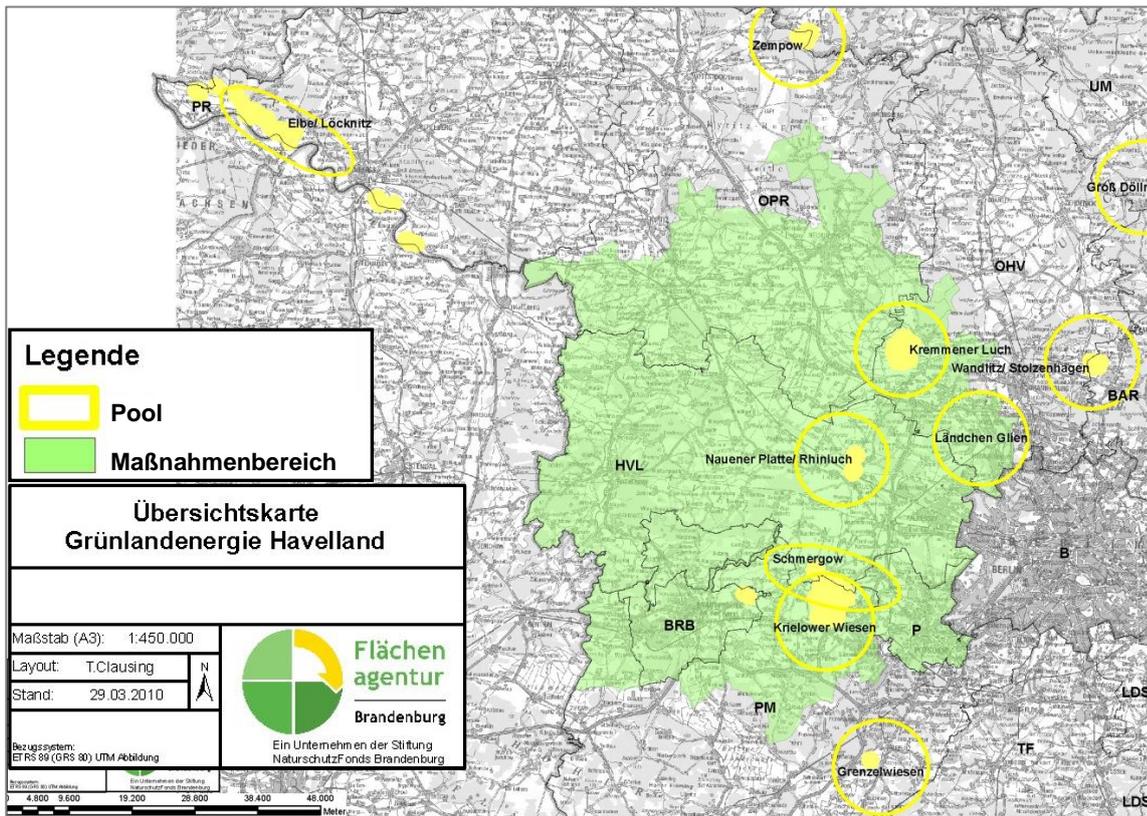


Abbildung 2-25: Übersicht der Kompensationspools im Untersuchungsgebiet (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [Flächenagentur Brandenburg 2010])

Die angeführten Flächen sind von besonderer naturschutzfachlicher Bedeutung, so dass die dort anfallende Biomasse nach dem derzeitigen Stand der Empfehlung der EEG-Clearingstelle als vergütungsfähiges Landschaftspflegematerial (im Sinne des Landschaftspflege-Bonus) zu bewerten ist [20].

Anwendung der Methode im Untersuchungsgebiet

Im Folgenden wird die Vorgehensweise der Potenzialermittlung für Biomasse von geschützten Biotopen und Kompensationsflächen im Untersuchungsgebiet vorgestellt.

Die Datenrecherche stellte den ersten Schritt der Analyse dar. Zur Quantifizierung des Parameters Biomassertrag wurden folgende Daten ermittelt:

Tabelle 2-12: Datengrundlagen der besonderen Biotope im Untersuchungsgebiet

Datengrundlage	Erklärung	Quelle
Selektive BTNT	Selektive Biotopkartierung neu (§32 und LRT außerhalb von FFH- und Großschutzgebieten)	LUGV 2010
	Biotope/§-32 und LRT-Kartierung in FFH-Gebieten	LUA 2001
	Biotope/§-32 und LRT-Kartierung in Großschutzgebieten	LUA 1993
Kompensationsflächen	Kompensationsflächenpools zum Ausgleich von Eingriffen	Flächenagentur Brandenburg 2010

Für die Analyse wurden ausschließlich die aktuellen Bestände der selektiven Biotoptypenkarte berücksichtigt. Da die Neukartierung bisher nicht abgeschlossen wurde, ist mit einem deutlich größeren Potenzial zu rechnen. Vergleicht man die Hektarzahlen der alten und neuen Kartierung, wird offensichtlich, dass rund zwei Drittel der Biotope bisher nur in der alten Kartierung enthalten sind.

Im zweiten Schritt wurden die Biotope mit halmgutartiger Biomasse im GIS selektiert und deren Flächengröße berechnet. Dazu gehören bspw. Nass- und Feuchtwiesen, Binnensalzstellen und Großseggenwiesen. Bei der Selektion wurden Überschneidungen mit Flächen, die bereits im Rahmen der Analyse von landwirtschaftlichem Grünland berücksichtigt sind, beachtet und aus der Selektion entfernt. Für die anschließende Berechnung des theoretischen Biomassepotenzials wurde ein durchschnittlicher Ertragswert ermittelt. Auf der Grundlage der Ertragsdatenbank (Anhang A 2) wurde ein Durchschnittswert von $3,0 \text{ t TM/ha} \cdot \text{a}^{-1}$ ermittelt, der im Weiteren als Berechnungsgrundlage diente. Eine weitere Differenzierung der Flächen hinsichtlich unterschiedlicher Erträge, Qualitäten und in Bezug zu weiteren Parametern erfolgt zunächst nicht, da auf regionaler Betrachtungsebene notwendige Daten nicht zielführend erhoben werden können.

Im dritten Schritt wurde die Berechnung des im Untersuchungsgebiet erwarteten Biomasseertrags der besonderen Biotope durchgeführt. Die Darstellung der räumlichen Verteilung der Flächen wurde im GIS erzeugt.

Ergebnisse

Die Ermittlung des theoretischen Biomassepotenzials von besonderen Biotopen ergibt einen Gesamtwert von rund 7.200 t TM/a . Dieser umfasst die im Untersuchungsgebiet vorhandenen ca. 750 ha Kompensationsflächen und die rund 1.650 ha geschützter Biotope bei einem durchschnittlichen Ertrag von $3,0 \text{ t TM/ha}$ und Jahr.

Tabelle 2-13: Übersicht zum theoretischen Biomassepotenzial von besonderen Biotopen in t TM/a

Besondere Biotope	Fläche in ha	Potenzial in t TM/a
§32 geschützte Biotope neu	1.647	4.900
§32 geschützte Biotope alt - <i>Vergleichswert</i>	5.200	15.600
Kompensationsflächen (überschlägig)	750	2.300

Das theoretische Potenzial ist in diesem Fall zunächst nur durch Biomasseverluste begrenzt, Konkurrenznutzungen sind nicht bekannt. Es wird davon ausgegangen, dass die Flächen grundlegend für Pflegemaßnahmen zugänglich sind und das Potenzial mobilisierbar ist. Bei den Werbungs- und Lagerungsverlusten kann von ähnlichen Größen, wie sie für landwirtschaftliches Grünland definiert sind, ausgegangen werden. Es wurden Verluste von 20 % angesetzt. Damit liegt ein technisches, zur energetischen Nutzung verfügbares Potenzial, unter Beachtung der Biomasseverluste und Nutzungskonkurrenzen, von rund 5.800 t TM/a vor.

Das theoretische Potenzial ist in diesem Fall zunächst nur durch Biomasseverluste begrenzt, Konkurrenznutzungen sind nicht bekannt. Es wird davon ausgegangen, dass die Flächen grundlegend für Pflegemaßnahmen zugänglich sind und das Potenzial mobilisierbar ist. Bei den Werbungs- und Lagerungsverlusten kann von ähnlichen Größen, wie sie für landwirtschaftliches Grünland definiert sind, ausgegangen werden. Es wurden Verluste von 20 % angesetzt. Damit liegt ein technisches, zur energetischen Nutzung verfügbares Potenzial, unter Beachtung der Biomasseverluste und Nutzungskonkurrenzen, von rund 5.800 t TM/a vor.

2.5 Gesamtpotenzial für die energetische Nutzung

Ermittlung der Gesamtmenge

Die Potenziale der einzelnen Flächenkategorien fallen im Gesamtergebnis von rund 40.800 t TM/a Biomasse unterschiedlich ins Gewicht. Durchweg stellt das landwirtschaftlich genutzte Grünland den maßgeblichen Teil des verfügbaren technischen Potenzials bereit. Deutlich geringere Erträge kommen aus der Gewässerunterhaltung und der Biotoppflege (vgl. Tabelle 2-14). Die Verfügbarkeit des Materials ist ebenfalls differenziert zu betrachten. Während das Substrat der Punktquellen an Gewässern bereits geborgen und zur Entsorgung abtransportiert wird, stellt sich insbesondere die Transportsituation bei den Netzquellen und besonderen Biotopen je nach Einzelfall sehr unterschiedlich dar. Diese Biotope unterliegen keiner Konkurrenznutzung, ihre Bergung ist aufgrund der sehr dezentralen Verteilung jedoch mit größerem Aufwand verbunden.

Analyse der räumlichen Konzentration der Biomassepotenziale

In Bezug auf die räumliche Verteilung ist festzustellen, dass in einzelnen Bereichen des Untersuchungsgebietes besonders große Mengen von Gras vorhanden sind. Diese Bereiche eignen sich besonders für die Umsetzung von Konzepten zur energetischen Grüngutnutzung. Daher wurden in einer abschließenden Analyse "Biomassehotspots", Bereiche mit hohem und konzentriertem

Grasaufkommen, mit unterschiedlichen Einzugsradien identifiziert. Dies ermöglicht die anschließende Verknüpfung mit den Ergebnissen der Regionsanalyse (vgl. Kapitel 3) und ermöglicht die Ableitung besonders geeigneter Anlagenstandorte.

Tabelle 2-14: Überblick des Biomassepotenzials in t TM/a

Flächenkategorie	theoretisches Potenzial	technisches Potenzial	energetisch nutzbares Potenzial	möglicher Konversionspfad
Landwirtschaftliches Grünland	366.000	*47.000	*34.800	15.400 Biogas 19.400 Verbrennung
Gewässerränder, Uferböschung	42.000	29.400	**200	Biogas
Besondere Biotopflächen (Kompensationsflächen, Feuchtwiesen, Röhrichte etc.)	***7.200	***5.800	***5.800	Verbrennung
Gesamtpotenzial	415.200	82.200	40.800	15.600 Biogas 25.200 Verbrennung

*davon 800 t von intensiv genutzten Flächen; **nur Punktquellen aus Gewässer I. Ordnung; ***gegebenenfalls doppelt so hoch in der Realität, Werte auf Grundlage der vorhandenen Daten.

Für die Hotspotanalyse wurden ausschließlich die Daten der landwirtschaftlichen Grünlandflächen herangezogen. Aufgrund der verstreuten Lage sowie der unzureichenden raumbezogenen Daten der anderen Flächenkategorien können auf der regionalen Ebene mit vertretbarem Aufwand keine hinreichend genauen Aussagen gemacht werden. Trotz der sehr restriktiven Abschätzung der Erträge sind auch in den ermittelten zwei Kilometerradien noch Potenziale bis 1.500 t TM/a vorhanden. Betrachtet man einen möglichen Einzugsradius von 10 km stehen rund 13.100 t TM/a für eine Verwertung in Biomasseanlagen zur Verfügung (vgl. Abbildung 2-26 und Abbildung 2-27).

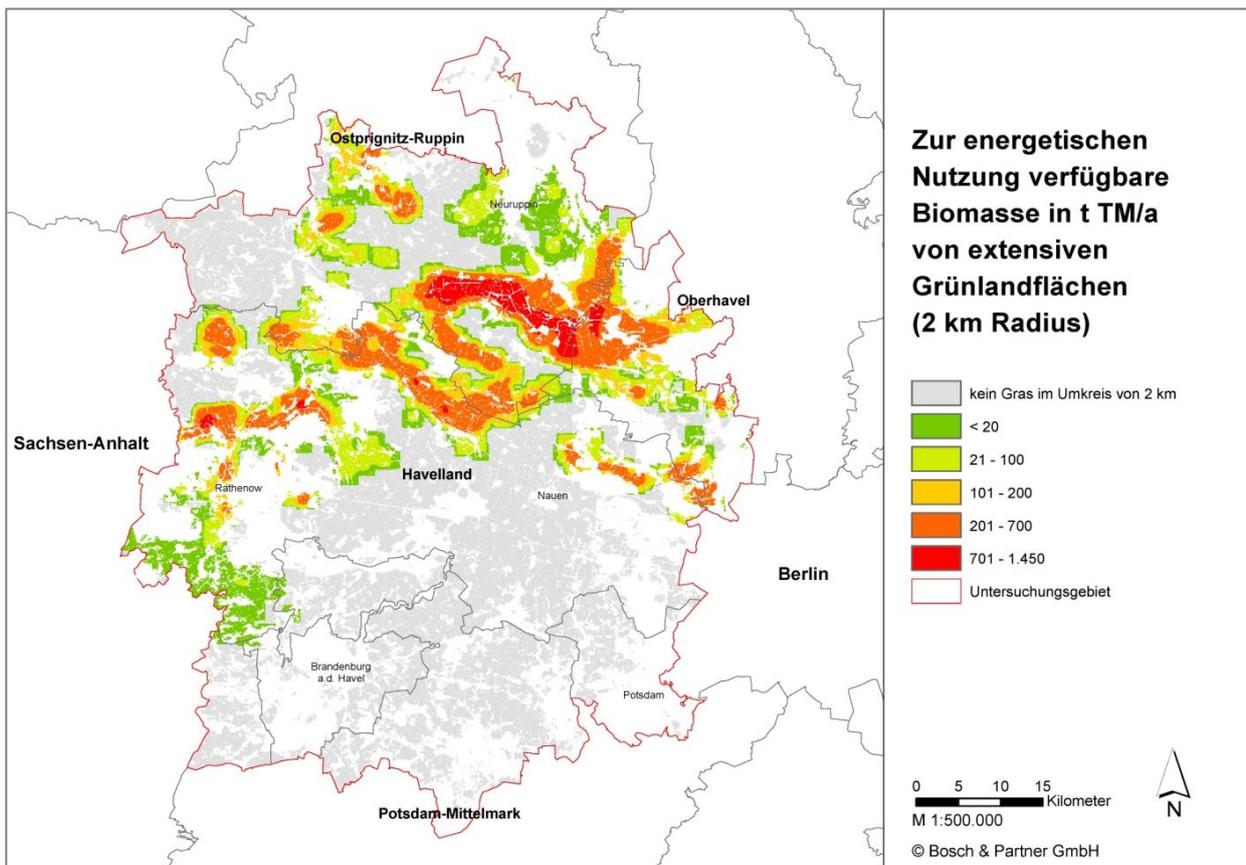


Abbildung 2-26: Biomasseaufkommen von landwirtschaftlichem Grünland innerhalb eines 2 km Radius (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB])

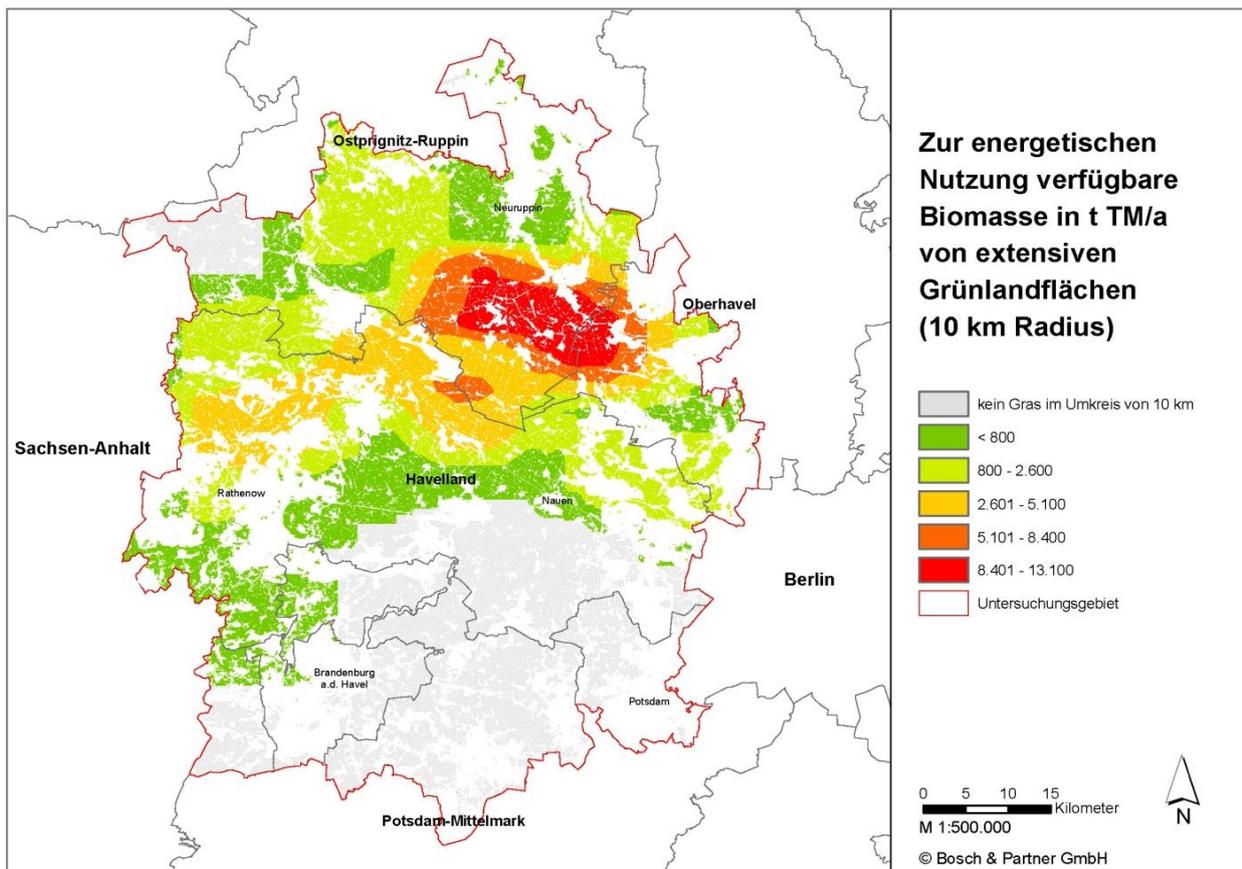


Abbildung 2-27: Biomasseaufkommen von landwirtschaftlichem Grünland innerhalb eines 10 km Radius (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB])

Biotopen und Gewässern von denen ein hohes Grüngutpotenziale zu erwarten ist, wurde durch die GIS-gestützte Überlagerung der Einzelergebnisse für die betreffenden Gebiete ermittelt. Die Abbildung 2-28 zeigt, dass Punktquellen aus der Gewässerunterhaltung sowie Flächen besonderer Biotope innerhalb der bestehenden Hotspots liegen. Insbesondere diese Möglichkeiten sind bei Machbarkeitsstudien zu beachten.

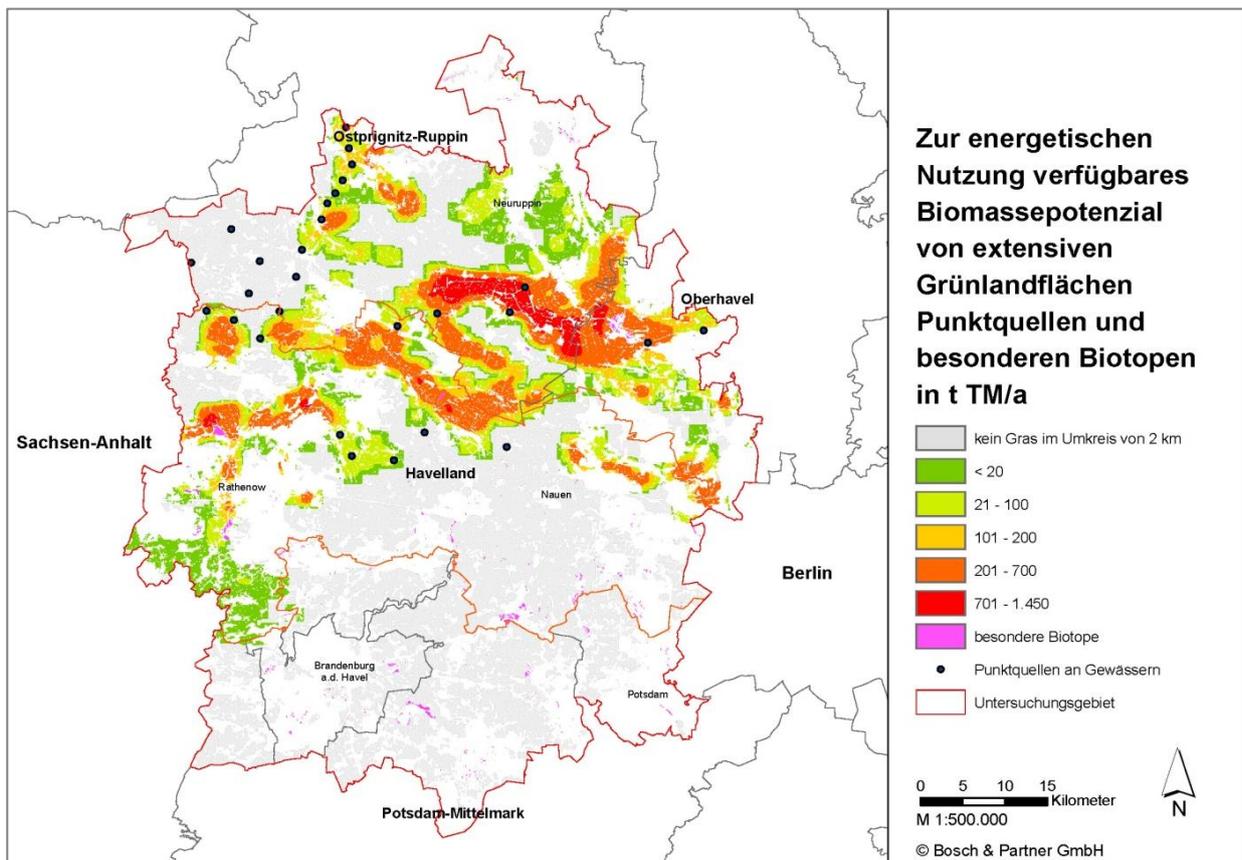


Abbildung 2-28: Biomasseaufkommen von landwirtschaftlichem Grünland innerhalb eines 2 km Radius, von besonderen Biotopen und Punktquellen an Gewässern (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB, WBV, LUGV])

Im Ergebnis wird deutlich, dass die drei Flächenkategorien einen sehr unterschiedlichen Beitrag zum Gesamtpotenzial leisten. Das Grünland liefert die Basis für das Gesamtpotenzial und wird in unterschiedlichem Maße durch Biomasse von den kleinflächigen, dezentralen Flächen der besonderen Biotope und der Gewässerunterhaltung ergänzt.

Die Zuordnung von Material zu einem Konversionspfad (Biogas oder Verbrennung) erfolgt anhand der Substratqualität (Schnittzeitpunkt), die jedoch kein ausschließendes Kriterium darstellt. Dabei sind die Substrateigenschaften und damit letztlich die Qualitäten der Biomassefraktionen auch innerhalb der Flächenkategorien unterschiedlich. Der Anteil landwirtschaftlichen Grünschnitts für den Einsatz in einer Biogasanlage liegt bei rund 15.400 t TM/a. Darin sind ca. 640 t TM/a Gras von intensiv genutzten sowie 14.760 t TM/a von extensiven Flächen aus den früheren Schnittzeitpunkten enthalten.

Für die Pelletierung und die Verbrennung eignen sich rund 19.400 t TM/a Gras aus späteren Schnitten. Das Material aus der Gewässerunterhaltung ist aufgrund des hohen Feuchtegehalts vornehmlich für den Einsatz in Biogasanlagen geeignet. Das schwer mobilisierbare aber konkurrenzfreie Potenzial beträgt rund 29.400 t TM/a. Dagegen ist für die Erträge von besonderen Biotopen davon auszugehen, dass die Qualitäten entsprechend der Biotope selbst sehr heterogen sind und sich daher zum Teil eher in einer Biogasanlage und zum Teil besser in einer Verbrennungsanlage einsetzen lassen. Über konkrete Anteile können bisher keine Aussagen gemacht werden.

2.6 Methodendiskussion, Forschungs- und Handlungsbedarf

Entsprechend dem eingangs formulierten Projektziel, soll das zur Ermittlung der theoretischen und technischen Potenziale sowie deren räumlicher Verteilung entwickelte Methodenkonzept zuverlässige Ergebnisse liefern und gleichzeitig auf andere Regionen übertragbar sein. Vor diesem Hintergrund werden die erzielten Ergebnisse nachfolgend kritisch gewürdigt und die Praktikabilität im Hinblick auf ihre Übertragbarkeit diskutiert.

Übertragbares Methodenkonzept

Das Methodenkonzept stellt den übertragbaren Kern der Analyse für alle Flächenkategorien dar. Dabei gelten die Parameter Art, Menge und räumliche Verteilung der Biomasse als universelle Leitgrößen deren jeweilige Ausprägungen das Potenzial bestimmen. Wie detailreich die Ermittlung der Ausprägungen durchgeführt werden kann, hängt stark von der regionalen Datenverfügbarkeit ab. Es ist zu erwarten, dass nicht immer alle Einflussfaktoren hinsichtlich der Ausprägung ihrer Parameter ausreichend definiert werden können. Zudem liegen häufig nicht alle Indikatoren in ihrer räumlichen Verteilung vor, um zur Ermittlung des Biomassepotenzials herangezogen zu werden. Das entwickelte Methodengerüst bietet jedoch ausreichende Flexibilität, um auf die spezifischen Voraussetzungen (Datenlage und -verfügbarkeit sowie Zuständigkeiten) der zu analysierenden Region eingestellt zu werden. Grundlegend ist dabei mit Bezug auf die Betrachtungsebene und Datenlage im Vorfeld der Analyse zu bestimmen, wie detailliert die Biomassepotenziale abgeschätzt werden sollen. In diesem Kontext ist zu beachten, je differenzierter das tatsächlich zur energetischen Nutzung verfügbare Material ermittelt und räumlich verortet werden kann, desto geringer fällt der folgende Aufwand einer konkreten Machbarkeitsstudie für mögliche Biomasseanlagen aus.

Das Methodengerüst liefert insgesamt einen übertragbaren und umfassenden Ansatz zur Ermittlung von Biomassepotenzialen. Die erzielbaren Ergebnisse erlauben die potenzialgestützte Verortung von möglichen Anlagenstandorten zur Produktion von Bioenergie. Entscheidend bleibt, dass für die detaillierte Entwicklung konkreter Projekte Gespräche mit den regionalen Akteuren initiiert werden müssen, um die Potenziale einerseits weiter zu konkretisieren beziehungsweise zu bestätigen und andererseits deren tatsächliche Mobilisierbarkeit zu ermitteln.

Grünland

Die allgemeine Methode zur Bestimmung der für eine energetische Nutzung verfügbaren Biomassepotenziale von Grünland basiert auf dem übertragbaren Methodenkonzept. Bei der Anwendung im Untersuchungsgebiet konnten flächenscharfe und differenzierte Biomassepotenziale ermittelt werden. Durch die insgesamt sehr restriktive Annahme von Ertragswerten, sowie die weitgehende Verwendung von Durchschnittswerten, können Abweichungen von rund 25 % im Vergleich zu anderen Analysen auftreten. So hat beispielsweise die Analyse der Grünlandpotenziale im *GNUT-Projekt* [35], in welchem die Ertragsdaten auf konkreten Feldversuchen basieren, ein rund 15 % größeres Biomassepotenzial für das Havelland ergeben. Insgesamt bietet der restriktive Ansatz jedoch eine sichere Aussage zum Mindestpotenzial.

Neben der restriktiven Vorgehensweise kann auch die Verwendung von Durchschnittserträgen oder der älteren Datengrundlage der MMK gegenüber der BÜK für Abweichungen ausschlaggebend sein. Im Projekt wurde die MMK aufgrund ihrer, im Bereich mittlerer Grundwasserstand, detailreicheren Angaben präferiert. Allgemein wurden für die Berechnung der Potenziale verschiedene Durchschnittswerte angenommen, die, bezogen auf einzelne Standorte, zu unvermeidbaren Ungenauigkeiten im Ergebnis führen. Insgesamt erscheint die Relevanz solcher Unterschiede vor dem Hintergrund der Betrachtungsebene sowie dem Ziel der Analyse jedoch gering, da sich die Fehler bezogen auf mögliche Einzugsgebiete für potenzielle Anlagen gegenseitig aufheben dürften.

Für die Übertragbarkeit auf andere Regionen bedarf die erarbeitete Vorgehensweise mit den gewählten Einflussfaktoren einer regionalen Anpassung. Dabei kann es erforderlich sein, weitere Einflussfaktoren in die Analyse aufzunehmen, die bisher nicht in der Methodenbeschreibung aufgeführt sind oder einzelne Faktoren weiter zu differenzieren. Zusätzlicher Forschungsbedarf besteht in diesem Zusammenhang insbesondere im Bereich der Abschätzung der Ertragserwartungen von Grünland.

In der vorliegenden Analyse konnten nicht alle bekannten Einflussgrößen beachtet werden. Zu nennen ist zunächst der Einfluss von Extremereignissen. So kam es zuletzt in den Jahren 2007 und 2010 zu Überschwemmungen von großen Teilen des Grünlands im Untersuchungsgebiet. Diese machten eine Mahd der Flächen zum Teil unmöglich oder führten zu einem deutlich geringeren Biomasseaufwuchs. Aufgrund unzureichender Daten über die Häufigkeit ähnlicher Extremereignisse, die Standorte der betroffenen Flächen sowie das konkrete Ausmaß der Ertragsminderung, konnte die Einflussgröße nicht adäquat berücksichtigt werden. In diesem Punkt spielt die Wasserregulierung eine wesentliche Rolle, deren zukünftiger Beitrag noch zu klären ist. Deutlich wurde allerdings bereits, dass die derzeitige Regulierung im Sinne der Landwirtschaft nicht optimal funktioniert.

Im Weiteren wurden mögliche Änderung der Flächenprämien und daraus resultierende Nutzungsänderungen aufgrund ihrer Komplexität (insbesondere in Verbindung mit Änderungen auf dem Weltmarkt sowie indirekten Flächennutzungsänderungen) nicht berücksichtigt. Grundsätzlich kann es in diesem Zusammenhang zur Intensivierung oder zur Aufgabe der Grünlandnutzung von derzeit extensiven Flächen kommen. Während dies aus wirtschaftlicher Sicht gegebenenfalls gerechtfertigt erscheint, so wäre dieses aus naturschutzfachlicher Sicht mit einem Verlust der Biodiversität verbunden und im Sinne der nachhaltigen Bioenergienutzung zu empfehlen, den Grad der derzeitigen Nutzung aufrecht zu erhalten.

Gewässer

Aufgrund der geringen Datendichte und wenigen Erkenntnissen hinsichtlich der Biomasseerträge aus der Gewässerunterhaltung ergaben sich Unsicherheiten bei der Analyse. Um eine umfassende Ermittlung der Potenziale durchzuführen, bedarf es einer insgesamt verbesserten Datengrundlage. Daraus ergibt sich konkreter Forschungsbedarf im Bereich der Erträge und Qualitäten sowie der Entwicklung von Ertragsmodellen für Biomasse an und in Gewässern.

Mit einer Expertenbefragung kann eine ausreichende Datengrundlage generiert werden. Es bleibt jedoch die Gefahr, wie auch bei der Analyse des Untersuchungsgebietes bemerkt wurde, dass in einzelnen Regionen unzureichende oder keine Ergebnisse gewonnen werden.

Die Nutzung der Biomasse aus der Gewässerunterhaltung stellt sich derzeit zum überwiegenden Teil als unwirtschaftlich dar. Nutzungskonzepte können zunächst nur an Standorten mit besonders günstigen Voraussetzungen in Bezug auf die Gewässer- und Akteursstruktur ökonomisch tragbar entwickelt werden. Ändern kann sich diese Situation dann, wenn die Unterhaltungspflichten Auflagen zur Beräumung aller Flächen beinhalten würden. In diesem Fall, wäre der Abtransport nicht der energetischen Nutzung, sondern den Gesamtkosten der Pflegeinstitutionen zugeordnet. Letztlich kann es dadurch wahrscheinlich überwiegend nicht zu einem Kostenausgleich kommen, die Vermarktung des Materials kann dann jedoch deutlich zur Kostenminderung beitragen. Mögliche Änderungen in den Vorgaben zur Gewässerunterhaltung wurden bei der durchgeführten Potenzialanalyse nicht beachtet.

Biotope

Für die Flächenkategorie besondere Biotope ist die vorhandene Datendichte zu Erträgen und Qualitäten von Material gering. Ebenso wie für die Potenzialanalyse der Gewässerunterhaltung wird in diesem Bereich hinsichtlich der Erträge und Qualität ein erheblicher Forschungsbedarf gesehen.

Bei der Potenzialanalyse im Untersuchungsgebiet wurde deutlich, dass es aus zwei Gründen sinnvoll ist zunächst nur das theoretische Potenzial zu ermitteln. Erstens erlaubt die Datenlage keine Ermittlung des technischen Potenzials ohne einen erheblichen Aufwand, denn, und dies ist gleichzeitig der zweite Grund, die besonderen Biotope liegen kleinflächig und sehr dezentral vor. Beispielsweise erscheint eine Befragung aller Pflegeinstitutionen im Verhältnis zu den geringen Potenzialen unverhältnismäßig. Es wird daher empfohlen das technische Potenzial erst im Rahmen konkreter Machbarkeitsuntersuchungen und in direkter Absprache mit den relevanten Akteuren zu ermitteln.

3 Regionsanalyse

Die hier betrachteten Biomassesortimente sollen bei einer energetischen Verwendung vornehmlich für die Wärme- und Stromerzeugung eingesetzt werden. Für die Stromerzeugung wird von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) ausgegangen, sodass in jedem Fall Wärme erzeugt wird. Für deren effiziente Nutzung ist ein gutes Wärmenutzungskonzept in direkter Nähe zur Wärmequelle von zentraler Bedeutung. Hierfür bedarf es Angaben zum Wärmebedarf von Betrieben, Einrichtungen und Haushalten. Entsprechende potenzielle Wärmenutzer wie Einrichtungen und Haushalte mit Wärmebedarf werden im Projektkontext auch als Wärmesenken bezeichnet. Um Daten zu den relevanten Wärmesenken in der Untersuchungsregion bereitzustellen wird in diesem Kapitel der Wärmebedarf ermittelt und geographisch differenziert dargestellt.

3.1 Ziele der Regionsanalyse

Ziel der Regionsanalyse ist die Entwicklung einer Methode zur Erhebung regionspezifischer Daten für die Quantifizierung und die detaillierte geographische Zuordnung von Wärmesenken. Ein besonderer Fokus liegt auf den Wärmesenken, bei denen die Nutzung des Brennstoffs Heu oder auch der Biogasanlagen-Abwärmenutzung in Frage kommt. Grundlage dafür ist die Identifizierung entsprechender Wärmesenken wobei auch wichtige Attribute, wie Standort, Art des Betriebs/ der Einrichtung sowie Größe ermittelt werden. Bei dieser Recherche sollen zunächst alle Akteure mit gesteigertem Wärmebedarf erfasst werden. Dies betrifft vor allem Wärmesenken im ländlichen Bereich mit nennenswertem Wärmebedarf. Durch die detaillierte Herangehensweise bietet diese Analyse eine Grundlage für die Standortauswahl der Nutzungskonzepte. In einem zweiten Schritt ist die entwickelte Methodik auf das Untersuchungsgebiet Havelland anzuwenden. Dabei wird untersucht, wo sich Optionen für die Nutzung von Grüngut zur Wärmeerzeugung in der Untersuchungsregion ergeben. Entsprechende Nutzungsoptionen beinhalten die Nutzung von Grüngut in bestehenden Biomasseanlagen oder die Etablierung neuer, für Grüngut entwickelte Biomasseanlagen wie spezielle Heizwerke oder Biogasanlagen. Dazu wird auch die Akzeptanz seitens der Betriebe und Einrichtungen zum Einsatz von Heu als Brennstoff in dezentralen Heizanlagen ermittelt.

3.2 Vorgehen

Zur Ermittlung des regionalen Wärmebedarfs werden im ersten Schritt das Methodenkonzept erarbeitet und anschließend geeignete Datenquellen für die Regionsanalyse dargestellt.

Für die Analyse des Wärmebedarfs einer Region müssen zunächst die bestehenden Wärmesenken identifiziert werden. Auf Grund der jeweils unterschiedlichen Wärmebedarfseigenschaften wird hierfür eine Unterteilung nach Branchen/ Bereichen getroffen. Hierbei muss auch beachtet werden, dass je nach Branche/ Bereich ein unterschiedliches Temperaturniveau benötigt wird. Die meisten Wärmenutzer, mit Ausnahme von Industrie- und Gewerbebetriebe, sind im Niedertemperatur-Bereich (< 100°C) angesiedelt [36]. Die Branchen/ Bereiche werden wie folgt gegliedert:

- Private Haushalte

- Bildungseinrichtungen (Sekundarstufe I und II, Hochschulen und Universitäten)
- Krankenhäuser/ Vorsorgeeinrichtungen
- Kirchengemeinden
- Schwimmbäder
- Beherbergungsgewerbe
- Kasernen
- Industrie- und Gewerbebetriebe
- Landwirtschaftsbetriebe
- Gartenbaubetriebe
- Reiterhöfe

Zur Recherche vorhandener Betriebe und Einrichtungen wurden vorwiegend internetbasierte Suchmaschinen sowie regionale Statistiken genutzt. Die Quantifizierung des Wärmebedarfs erfolgt anhand von Berechnungen individuell für jede identifizierte Wärmesenke. Dafür werden die jeweiligen Größenangaben mit den spezifischen Kennwerten zum Wärmeverbrauch aus der Literatur herangenommen. Zur Validierung der Berechnungsergebnisse erfolgt parallel auch eine Befragung der Betriebe und Einrichtungen zu ihrem Wärmebedarf sowie zu weiteren relevanten Parametern.

Neben der Analyse der Wärmesenken erfolgt auch eine Analyse der bestehenden Biomasseanlagen, um zu untersuchen inwieweit derzeit verwendete Biomassesortimente durch Grüngut ersetzt werden kann. Diese werden nach den beiden grundsätzlichen Konversionspfaden gegliedert:

- Biomasseheizkraftwerke (BMHKW) und Biomasseheizwerke (BMHW)
- Biogasanlagen (BGA)

Zur anlagengenauen Analyse werden die Biomasseanlagenbetreiber mittels bestehender Datenbanken (DBFZ und FNR) identifiziert und zu deren Einsatzstoffbedarf und deren Bereitschaft zur Substitution derzeitiger genutzter Biomassesortimente durch Grüngut befragt.

3.3 Übertragbare Methoden zur Regionsanalyse

Die Methoden zur Regionsanalyse werden hier für das Untersuchungsgebiet Havelland dargestellt. Die angewandte Methode ist ihren Grundzügen regionsunabhängig und kann auf andere Gebiete übertragen werden. Es ist jedoch zu beachten, dass verwendete Datenquellen (Kapitel 2.2) nur regional verfügbar sind und auch die Auswahl der Branchen/ Bereiche regional angepasst werden muss. Zur Überprüfung der übertragbaren Berechnungen wurde eine Umfrage unter den Wärmesetzern im Havelland durchgeführt.

3.3.1 Identifikation relevanter Wärmesenken und Biomasseanlagen

Die Identifizierung der einzelnen Wärmesenken erfolgt differenziert nach den in Kapitel 3.2 ausgewählten Branchen/ Bereichen.

Haushalte

Für die Quantifizierung des Wärmebedarfs der Haushalte in der Untersuchungsregion ist es zunächst notwendig die Bevölkerungsanzahl pro Gemeinde zu ermitteln. Dafür wird auf die Regionaldatenbank unter www.regionalstatistik.de [1] und InVeKoS [2] zurückgegriffen. Darüber hinaus kann aus den statistischen Berichten des Landes Brandenburgs die Wohnfläche in den Wohngebäuden entnommen werden [37].

Bildungseinrichtungen

Bei der Recherche der Bildungseinrichtungen wird auf Daten des Amts für Statistik Berlin-Brandenburg zurückgegriffen. Hierzu werden Allgemeinbildende Schulen, Berufsschulen sowie Hochschulen und Universitäten erfasst [38], [39].

Krankenhäuser/ Vorsorgeeinrichtungen

Die Krankenhäuser, Vorsorge- und Rehabilitationseinrichtungen werden ebenfalls über das Amt für Statistik Berlin-Brandenburg ermittelt. Zur genauen Bestimmung wird der Statistikbericht „Krankenhäuser und Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen“ herangezogen [40].

Kirchengemeinden

Kirchengemeinden sind unabhängig von den üblichen Gemeindestrukturen und können sich somit auch über mehrere Gemeinden eines Landkreises erstrecken. Die Kirchengemeinden verfügen üblicherweise über mindestens einen Kirchenbau sowie den dazugehörigen Verwaltungs- und Versammlungsgebäuden. Darüber hinaus sind des Öfteren auch Kindergärten, Jugendeinrichtungen, Bibliotheken und Schulen Teil der Kirchengemeinde und unterliegen deren Verwaltung. Zur Ermittlung des Wärmebedarfs können keine flächendeckenden Datenbanken beziehungsweise übergeordnete Verbände ausfindig gemacht werden, die mehrere Kirchengemeinden vertreten. Lediglich für den Landkreis Havelland kann auf Angaben der „Evangelischer Kirchenkreis Nauen Rathenow“ zurückgegriffen werden. Weitere Kirchengemeinden werden über die Internetseiten der einzelnen Gemeinden der Landkreise recherchiert.

In Potsdam wird auf eine detaillierte Recherche verzichtet, da Potsdam insgesamt einen sehr hohen Wärmebedarf hat und die weitere detaillierte Darstellung einzelner Wärmesenken in diesem Bereich nicht zielführend ist. Des Weiteren kann durch die ohnehin große Konzentration an Wohnbebauung in Potsdam von einer gesicherten Abnahmequelle bzgl. der Wärmeleistung einer kleinen bis mittelgroßen Biomasseanlage ausgegangen werden.

Schwimmbäder

Die Ermittlung der Schwimmbäder erfolgt mit Hilfe der Veröffentlichung „Übersicht der Hallenbäder im Land Brandenburg“, welche vom Ministerium für Bildung, Schule und Sport des Landes Brandenburg erstellt wurde [41]. Zusätzlich wird hierzu ergänzende eine Internetrecherche durchgeführt.

Beherbergungsgewerbe

Für die Recherche nach Beherbergungsbetrieben werden zunächst mehrere Suchanfragen auf der Internetseite www.hotel.de durchgeführt. Als Suchkriterium dafür werden die Gemeinden Brandenburg, Potsdam, Brieselang, Rathenow, Nauen, Neuruppin und Fehrbellin ausgewählt. Durch die relativ gleichmäßige Verteilung der „Such-Gemeinden“ und Berücksichtigung der Umkreissuche (30 km Radius) im Untersuchungsgebiet wird dies komplett abgedeckt. Im Anschluss daran wird auf den Seiten einschlägiger Reiseveranstalter eine stichprobenartige Überprüfung durch eine nochmalige Suche nach Hotels durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass nur vereinzelt weitere Beherbergungsbetriebe gefunden werden konnten und die Internetseite www.hotel.de als hinreichend genau angesehen werden kann.

Trotz aller Sorgfalt bei der Recherche kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Beherbergungseinrichtungen bei der Suche erfasst werden, da gerade kleinere Betriebe oft über keine Internetpräsenz verfügen und somit auch nicht von den gängigen Hotelsuchmaschinen erfasst werden. In Potsdam wurde aus oben genannten Gründen auf eine vollständige Recherche aller Hotelbetriebe verzichtet.

Kasernen

Zu Beginn dieses Forschungsvorhabens war es das Ziel die Standorte der Kasernen sowie den jeweilig zugehörigen Wärmebedarf zu ermitteln. Auf Grund ihrer meist dezentralen Lage, stellen Kasernen eine sehr gute Möglichkeit für die Nutzung von Bioenergie dar.

Der Betrieb von Kasernen fällt in die Zuständigkeit der Bundeswehr. Die infrastrukturelle Betreuung sowie alle Belange rund um den Umweltschutz der Kasernen erfolgt von der Wehrbereichsverwaltung. Für die Kasernen im Projektgebiet ist die Wehrbereichsverwaltung Ost zuständig.

Industrie und Gewerbe

Industrie- und Gewerbeunternehmen stellen ein großes Potenzial im Hinblick auf Wärmeverbrauch beziehungsweise Wärmeabnahme dar. Der meist ganzjährige, hohe Wärmebedarf wirkt sich besonders vorteilhaft für die Auslastung und damit auch auf die Wirtschaftlichkeit von Biomasseanlagen aus. Im Bereich Industrie und Gewerbe wird nach mehreren Branchen recherchiert. Hierzu zählen:

- Produzierende beziehungsweise bearbeitende Industrie (außer Nahrungs- und Futtermittel)
- Nahrungs- und Futtermittelproduktion
- Bierbrauereien

- Molkereien

In der EU müssen sämtliche Anlagen, deren Emissionen festgelegte Schwellenwerte überschreiten, besondere Auflagen erfüllen und gelistet werden. Geregelt wird dies in der EU Richtlinie 2008/1/EG über die Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU) [42]. Für die Untersuchungsregion sind diese sogenannten IVU-Anlagen beim Landesportal Brandenburg zu finden [43]. Weitere Daten zur produzierender und verarbeitender Industrie- und Gewerbebetriebe werden der IHK-Zulieferer-Datenbank entnommen werden [44]. In Deutschland wird zugelassenen Betrieben für die Herstellung und Vermarktung von Lebensmitteln eine Betriebsnummer zugewiesen. Über diese Betriebsnummer werden Lebensmittelproduktionsbetriebe für die Untersuchungsregion recherchiert [45]. Zusätzlich wird über die Molkereiverbände MIV, BDM, Mopro sowie VDM nach Molkereien gesucht [46], [47], [48], [49]. Brauereien eignen sich besonders für die Wärmebereitstellung aus Biomasse, da sie einen hohen ganzjährigen Wärmebedarf aufweisen und sich häufig im ländlichen Raum befinden. Diese werde über die Internetseite www.bierwelten.de recherchiert. Ein stichprobenartiger Vergleich anhand weiterer Internetseiten zeigt, dass sich die Internetseite www.bierwelten.de als nahezu vollständig erweist.

Landwirtschaftsbetriebe

Landwirtschaftsbetriebe sind nicht beziehungsweise nur unzureichend über Internetrecherchen zu ermitteln. Zu deren Erfassung wird an entsprechende Organisationen und die verantwortlichen Behörden herangetreten. Diese werden nach telefonischer Anfrage über die Landratsämter ausfindig gemacht und für die jeweiligen Landkreise (LK) im Folgenden aufgeführt:

- LK Havelland: Amt für Landwirtschaft, Veterinärwesen- und Lebensmittelüberwachung des LK Havellands
- LK Ostprignitz-Ruppin: Kreisbauernverband Ostprignitz-Ruppin
- LK Oberhavel: Fachdienst Landwirtschaft OHV
- LK Potsdam-Mark: Kreisbauernverband Potsdam-Mittelmark
- Potsdam: Kreisbauernverband Potsdam-Mittelmark
- Brandenburg: Kreisbauernverband Potsdam-Mittelmark

Landwirtschaftsbetriebe sind im Zusammenhang dieses Projekts nicht nur als Wärmesenke von Bedeutung, sondern auch deren Eigenschaft als Biomasselieferant steht hier im Fokus. Deshalb werden die Betriebe recherchiert, um sie als Wärmesenken und/ oder Grünlandbewirtschaftungsbetriebe (ab 50 ha Grünlandfläche) zu identifizieren.

Gartenbaubetriebe

Da Gartenbaubetriebe ebenfalls einen hohen Wärmebedarf aufweisen, wurden sie mit in die Recherche einbezogen. Für die Wärmeerzeugung interessant sind allerdings nur Betriebe, die Anbaufläche unter Glas beziehungsweise Folie aufweisen und beheizt werden müssen. Die Betriebe werden der Datenbank des Landesverband Gartenbau Brandenburg e.V. entnommen [50]. Im Vergleich mit einer separat durchgeführten Internetrecherche stellte sich heraus, dass sich die Angaben des Landesverband Gartenbau Brandenburg e.V. als ausreichend genau herausstellen.

Reiterhöfe

Reiterhöfe wurden ebenfalls als potenzielle Wärmesenke angesehen. Dies liegt zum einem an den in meist ländlichen Gebieten gelegenen Standorten sowie der oftmals relativ großen Hofstruktur. Darüber hinaus sind auf Reiterhöfen häufig auch Gästeunterkünfte sowie weitere Tiere untergebracht.

Bei der Recherche werden in erste Linie Broschüren des Tourismusbüros Brandenburg (TMB GmbH) ausgewertet [51]. Nach Anfrage kann von Seiten der TMB GmbH kostenloses, umfangreiches Informationsmaterial zu Reiterhöfen im Untersuchungsgebiet zur Verfügung gestellt werden. Vervollständigt werden die Angaben durch die Nutzung von internetbasierten Standard-suchmaschinen.

Biomasseheizkraftwerke und Biomasseheizwerke

Das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ) verfügt über eine aktuelle und umfangreiche Datenbank zu Biomasseheizkraftwerken im gesamten Bundesgebiet. Aus dieser sowie aus Datenbanken der FNR und der ETI-Brandenburg wurden die Anlagenstandorte im Untersuchungsgebiet ermittelt [52], [53].

Für die Erfassung der BMHW wurden neben der DBFZ eigenen Datenbank auch die der FNR herangezogen. Vervollständigt werden die Daten durch eine telefonische Anfrage bei den zuständigen Bauämtern beziehungsweise Bauaufsichtsbehörden in der Untersuchungsregion.

Basis der Identifizierung von Biogasanlagen um Untersuchungsgebiet war ebenfalls die DBFZ-Datenbank. Diese verfügt hier ebenfalls über eine hohe Vollständigkeit. Ergänzend wurden Daten des ATB miteinbezogen.

3.3.2 Berechnung des Wärmebedarfs

Für die Berechnung des Wärmebedarfs werden spezifische Kennwerte aus der Literatur herangezogen. Diese beziehen sich auf größenabhängige Angaben der Betriebe, Einrichtungen und Haushalte, die zwischen den Branchen/ Bereichen variieren. Deshalb wird entsprechend der Identifizierung von Wärmesenken auch die Berechnung des Wärmebedarfs branchen-/ bereichsindividuell durchgeführt.

Wärmebedarf Haushalte

Für die Ermittlung des Wärmebedarfs bedient man sich der Anzahl der Einwohner sowie der von ihnen bewohnten Wohnfläche. Der Wärmebedarf wird für jede Gemeinde nach folgender Formel berechnet:

$$E_{Wohn.} = \frac{A_{Wohn.} \cdot E_{spez.}}{Einw.}$$

Dabei gilt:

$E_{Wohn.}$ = durchschnittliche Wärmeenergie pro Einwohner

$A_{Wohn.}$ = Gesamtwohnfläche pro Gemeinde

$E_{spez.}$ = spez. Wärmebedarf pro Wohnfläche

$Einw.$ = Einwohneranzahl je Gemeinde

Der dafür benötigte spezifische Energiebedarf pro Wohnfläche wird aus verschiedenen Literaturangaben ermittelt. Da die Literaturwerte untereinander Schwankungen aufweisen beziehungsweise auch innerhalb einer Studie verschiedene Kennwerte zu finden sind, wird ein Mittelwert mit entsprechender Standardabweichung dargestellt. In Tabelle 3-1 sind die Kennwerte mit der entsprechende Quelle sowie der resultierende Mittelwert dargestellt.

Tabelle 3-1: Übersicht zum spezifischen Wärmebedarf pro Wohnfläche von privaten Haushalten

	IER [54]	AGES [56]
Wärmebedarf [kWh/m ² *a ⁻¹]	161,8	214
	196,6	360
		218
		178
Mittelwert über alle mit Standardabweichung [kWh/m²*a⁻¹]	221 ± 71	

Auf Grundlage dessen wird der Wärmebedarf für Haushalte, als Durchschnittswert für das gesamte Projektgebiet mit 8.700 ± 2.795 kWh/EW*a-1 ermittelt. Mit Hilfe dieses Wertes kann der Wärmebedarf für Haushalte pro Ortschaft errechnet werden. Hierzu werden alle Gemeinden per E-Mail um Auskunft über die vorhandenen Ortschaften mit den dazugehörigen Einwohnerzahlen gebeten. Ergänzend werden die Internetseiten der Städte und Gemeinde nach diesen Angaben durchsucht.

Bildungseinrichtungen

Die Berechnung des Wärmebedarfs erfolgte für jeden Bildungseinrichtungstyp separat (siehe Kapitel 3.3.1). Dazu werden zunächst entsprechende Kennwerte aus der Fachliteratur entnommen. Die Ergebnisse dieser Recherche sind in Tabelle 3-2 dargestellt. Da die Kennwerte sich üblicherweise auf die Fläche beziehen, die Grunddaten für die Schulen aber auf der Schüleranzahl beruhen, muss eine entsprechende Umrechnung der Kennwerte erfolgen. Auf Grund des Mangels an regional spezifischer Fachliteratur, wird der Platzbedarf je Schüler aus dem Musterraumprogramm Sachsens entnommen [57]. Der Platzbedarf umfasst dabei nicht nur den Klassenraum an sich, sondern auch Gruppenräume, Fachräume sowie Räume der Verwaltung. Vor dem Hintergrund, dass es sich um Werte aus einem Musterprogramm handelt, wird aus den enthaltenen Werten der Mittelwert gebildet und mit einer Unsicherheit von 20 % beaufschlagt. Die so ermittelten Kennwerte in kWh/Schüler*a⁻¹ sind ebenfalls in Tabelle 3-2 zu finden. Im Musterprogramm ist kein konkreter Wert für Berufsschulen angegeben. Es wird davon ausgegangen, dass dieser vergleichbar mit denen der Hauptschulen (höher Raumbedarf durch Werkstätten und Seminarräume) ist und somit 7,3 m²/Schüler beträgt.

Tabelle 3-2: Übersicht zum spezifischen Wärmebedarf von Bildungseinrichtungen

	Grundschulen	Mittelschulen	Gymnasien/ Oberschulen	Berufsschulen
Wärmebedarf mit entsprechenden Quellen [kWh/m ² *a ⁻¹]	70; 140 [58] 110 [56] 91; 135 [59] 117; 145 [60] 115; 146 [61] 70 [62]	75; 110 [58] 97; 108; 101 [56] 72; 67 [63] 77; 152 [59] 114 [64] 94; 110; 122 [61] 73; 118; 122 [63]	65; 85 [58] 101 [56] 87; 92; 97 [63] 70; 102 [59] 53; 95; 105; 117 [60] 107; 120 [61] 119 [65]	104 [58] 177 [61]
Platzbedarf [57] [m ² /Schüler]	4,1 ± 0,8	6,1 ± 1,2	4,9 ± 1	7,3 ± 1,5
Kennwert Wärmebedarf [kWh/Schüler*a⁻¹]	435 ± 143	522 ± 209	462 ± 134	1026 ± 416

Die Kennwerte zum Wärmeverbrauch von Hochschulen sind sehr starken Schwankungen unterworfen und somit als unzureichend genau für die weitere Berechnung eingestuft. Eine Berechnung der Wärmemengen erfolgt für Hochschulen daher nicht.

Der gesamte Wärmebedarf der jeweiligen Bildungseinrichtung lässt sich wie folgt errechnen:

$$E_{BE} = N_{Schüler} \cdot E_{sp.Sch.}$$

Dabei gilt:

E_{BE} = Gesamtwärmeverbrauch der Bildungseinrichtung

$N_{Schüler}$ = Anzahl der Schüler

$E_{sp.Sch.}$ = spezifischer Wärmebedarf pro Schüler

Krankenhäuser/ Vorsorgeeinrichtungen

Die Berechnung des Wärmebedarfs erfolgt mit Hilfe der Bettenanzahl sowie dem spezifischen Wärmeverbrauch von Krankenhäusern beziehungsweise Vorsorge- und Rehabilitationseinrichtungen. Innerhalb der einzelnen Literaturquellen sind diese nochmals für die unterschiedliche Bettenanzahl unterteilt. Aus allen ermittelten Kennwerten wird für jede Größenklasse ein Mittelwert mit Standardabweichung, siehe Tabelle 3-3, errechnet.

Tabelle 3-3: Übersicht zum spezifischen Wärmebedarf von Krankenhäuser/Vorsorgeeinrichtungen

	bis 250 Betten	250 – 450 Betten	451 – 650 Betten	651 – 1.000 Betten	> 1.000 Betten
Spezifische Wärmebedarfsangaben in der Literatur [kWh/Bett*a ⁻¹]	19.800 [58]	20.100 [58]	28.100 [58]	30.000 [58]	37.200 [58]
	16.276 [56]	16.322 [56]	19.100 [56]	19.856 [56]	25.474 [56]
	32.164 [56]	30.702 [56]	32.988 [56]	31.288 [56]	57.368 [56]
Ermittelter spezifischer Wärmebedarf [kWh/Bett*a⁻¹]	22.746 ± 8.343	22.374 ± 7.454	26.729 ± 7.044	27.048 ± 6.261	40.014 ± 16.132

Mit Hilfe der Kennwerte in Tabelle 3-3 wird der Wärmebedarf mit nachfolgender Gleichung berechnet.

$$E_{Kr} = N_{Betten} \cdot E_{sp.Kr.}$$

Dabei gilt:

E_{Kr} = Gesamtwärmeverbrauch der Krankenhäuser /Vorsorgeeinrichtungen

N_{Bett} = Bettenanzahl

$E_{sp.Kr.}$ = spezifischer Wärmebedarf pro Bett

Schwimmbäder

Die Ermittlung des Wärmebedarfs für Hallenbäder wird mittels der Beckenfläche und einem mittleren spezifischen Wärmebedarf berechnet. Dieser Kennwert werden zum einem aus der VDI 3807 und zum anderem aus einem Forschungsprojekt der ages GmbH generiert (siehe Tabelle 3-4).

Tabelle 3-4: Übersicht zum spezifischen Wärmebedarf von Schwimmbädern

	bis 250 m ² beheizte Wasserfläche	250 – 500 m ² beheizte Wasserfläche	> 500 m ² beheizte Wasserfläche
Spezifische Wärmebedarfsangaben [kWh/m ² *a ⁻¹]	3.820 [58]	3.075 [58]	3.460 [58]
	1.637 [56]	1.878 [56]	735 [56]
	4.357 [56]	4.316 [56]	3.839 [56]
Ermittelter spezifischer Wärmebedarf [kWh/m²*a⁻¹]	3.271 ± 1.441	3.090 ± 1.219	2.678 ± 1.693

Anhand der Kennwerte aus Tabelle 3-4 und folgender Formel wird der Gesamtwärmebedarf für die jeweiligen Schwimmbäder mit beheiztem Becker berechnet.

$$E_{Schw} = A_{Becken} \cdot E_{sp.Schw}$$

Dabei gilt:

$$E_{Schw} = \text{Gesamtwärmeverbrauch des Schwimmbades}$$

$$A_{Becken} = \text{Beckengröße in m}^2$$

$$E_{sp.Schw} = \text{spez. Wärmebedarf pro m}^2 \text{ Wasserfläche}$$

Beherbergungsgewerbe

Zur Berechnung des Wärmebedarfs im Beherbergungsgewerbe werden ebenfalls spezifische Kennwerte herangezogen. Diese beziehen sich in der Regel immer auf die Fläche eines Hotels oder auf die Anzahl der Übernachtungen. Für die jeweiligen Hotels kann jedoch nur die Gesamtanzahl der Betten ermittelt werden, was eine Umrechnung erforderlich macht. Basierend auf den Daten des Statistischen Bundesamtes gab es im Jahr 2008 140.963.551 Hotelübernachtungen in 989.399 Betten. Daraus lässt sich eine mittlere Übernachtungsanzahl pro Hotelbett von rund 142 schließen. Bei adäquatem Vorgehen für Pensionen werden durchschnittlich 81 Übernachtungen pro Pensionsbett ermittelt (siehe Tabelle 3-5).

Tabelle 3-5: Übersicht zum spezifischen Wärmebedarf vom Beherbergungsgewerbe

	Hotel	Pension
Bettenanzahl (Deutschlandweit) [66]	989.399	156.392
Anzahl der Übernachtungen (Deutschlandweit) [66]	140.963.551	12.616.598
Mittlere Übernachtungsrate pro Bett	142	81
Spezifische Wärmebedarfsangaben [kWh/ÜN*a ⁻¹]	58; 72; 63; 58; 56 [67] 60 [68] 61 [69]	48; 43; 24; 39; 22 [67] 30 [68] 30 [69]
Ermittelter spezifischer Wärmebedarf [kWh/ÜN*a ⁻¹]	61 ± 5	34 ± 10
Ermittelter spezifischer Wärmebedarf [kWh/Bett*a⁻¹]	8.662 ± 710	2.754 ± 810

Der Wärmebedarf von Hotels und Pensionen wurde jeweils anhand deren ermittelten spezifischen Kennwerte in Tabelle 3-5 und folgender Formel berechnet.

$$E_{Hotel} = N_{Bett} \cdot E_{sp.Ho}$$

Dabei gilt:

$$E_{Hotel} = \text{Gesamtwärmeverbrauch pro Hotel}$$

$$N_{Bett} = \text{Bettenanzahl}$$

$$E_{sp.Ho} = \text{spezifischer Wärmebedarf pro Bett}$$

Industrie und Gewerbe

Die Berechnung des Wärmebedarfs von Industrie und Gewerbe ist grundsätzlich möglich. Hierzu existieren in der Literatur auch Kennwerte. Eine Überprüfung der Kennwerte ergab jedoch große Differenzen, sodass deren Anwendung auf Grund der großen Variabilität der Betriebe hinsichtlich ihrer Produkte, Fertigungstiefe, Maschineneffizienz, Auslastung, etc. nicht durchgeführt wird [36]. Entsprechende Werte zum Wärmeverbrauch lassen sich somit nur über eine Befragung ermitteln.

Landwirtschaftsbetriebe

In der Landwirtschaft, speziell der Tierhaltung, variiert der Wärmebedarf stark mit der jeweilig gehaltenen Tierart. So benötigen Wiederkäuer wie Kühe, Schafe und Ziegen in der Regel keine Beheizung des Stalls. Veredelungsvieh wie Schweine und Geflügel hingegen sind auf eine Beheizung der Ställe angewiesen. Betriebsindividuelle Angaben zur Art und Größe der Landwirtschaftsbetriebe

liegen nicht vor, weshalb hier keine Berechnung des Wärmebedarfs durchgeführt werden kann. Entsprechende Werte zum Wärmeverbrauch lassen sich somit nur über eine Befragung ermitteln.

Gartenbaubetriebe

Für Gartenbaubetriebe mit Anbaufläche unter Glas wird der Wärmebedarf anhand deren Anbaufläche, der Temperierung sowie der angebauten Kultur berechnet. Der spezifische Energieverbrauch pro m²-Anbaufläche wird unter anderem mit Hilfe des „Leidfaden Bioenergie im Gartenbau“ ermittelt und ist in Tabelle 3-6 aufgeführt [70]. Die angebauten Kulturen werden den Pflanzengruppen Blumen/Zierpflanzen oder Gemüse zugeordnet. Die Temperaturbereiche werden in kalt (< 12 °C), temperiert (12 – 18 °C) und warm (> 18 °C) unterteilt. Zur Berechnung wird angenommen, dass im Blumen und Zierpflanzenbereich je 45 % der Unterglasfläche kalte und temperierte Kulturen und nur 10 % Warmhauskulturen angebaut werden. Im Gemüseanbau hingegen wird von 35 % kalten Kulturen und 65 % warmen Kulturen ausgegangen [71].

Tabelle 3-6: Übersicht zum spezifischen Wärmebedarf von Gartenbaubetrieben, unterteilt in die Temperaturbereiche kalt, temperiert und war

	Kalt < 12 °C	Temperiert 12 – 20 °C	Warm > 20 °C
Wärmebedarfskennwerte Blumen/Zierpflanzen [kWh/m ² *a ⁻¹]	111; 121; 131; 131 [70]	372; 392; 402; 453 [70]	543; 563; 594; 644 [70]
Ermittelter spezifischer Wärmebedarf für Blumen/Zierpflanzen [kWh/m ² *a ⁻¹]	124 ± 10	405 ± 35	586 ± 44
Wärmebedarfskennwerte Gemüse- anbau [kWh/m ² *a ⁻¹]	111; 121; 121; 131 [70]	keine Daten	352; 372; 382; 382 [70]
Ermittelter spezifischer Wärmebedarf für Gemüseanbau [kWh/m²*a⁻¹]	121 ± 8	keine Daten	372 ± 14

Die Berechnung des Wärmebedarfs wird mittels folgender Formel und den ermittelten Kennwerte in Tabelle 3-6 berechnet:

$$E_{Gart} = A_{Gart} \cdot E_{sp.Gart}$$

Dabei gilt:

$$E_{Gart} = \text{Gesamtwärmeverbrauch pro Gartenbaubetrieb}$$

$$A_{Gart} = \text{beheizte Anbaufläche}$$

$$E_{sp.Gart} = \text{spez. Wärmebedarf pro m}^2 \text{ – Anbaufläche}$$

Reiterhöfe

In der Literatur existieren keine geeigneten Durchschnittswerte zum spezifischen Wärmebedarf von Reiterhöfen. Dies ist teilweise auf die hohe Variabilität, hinsichtlich deren Größe und des Wärmebedarfs, zurückzuführen. Entsprechende Werte zum Wärmeverbrauch lassen sich somit nur über eine Befragung ermitteln.

3.4 Regionale Anwendung der Analysemethoden

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Recherche, Berechnung und Befragung zum Wärmebedarf in der Region dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Methodik durch die Kombination von Internetrecherche, Befragung und Berechnung einen hohen Aufwand darstellt. Trotzdem kann aufgrund hoher Unterschiede in der Effizienz der Wärmenutzung bei den hier angewandten Methoden der Wärmebedarf nur näherungsweise bestimmt werden kann. Daher werden in Kombination mit den Ergebnissen jeweils die Schwankungsbreiten mit angegeben. Eine Gewähr auf Vollständigkeit kann daher nicht gegeben werden.

3.4.1 Identifizierte Wärmesenken

Die identifizierten Wärmesenken in der Untersuchungsregion sind in folgender Tabelle 3-7 aufgeführt. Sofern genauere Angaben verfügbar sind, wurden diese nach Art oder Region unterteilt.

Tabelle 3-7: Identifizierte Wärmesenken im Untersuchungsgebiet, für Haushalte werden die Einwohner (EW) und die bewohnte Wohnfläche (Wfl.) je Landkreis (LK) angegeben [1]

Branchen/ Bereiche	Identifizierte Wärmesenken im Untersuchungsgebiet
Haushalte	<ul style="list-style-type: none"> • LK Havelland: ca. 155.000 EW, 6 Mio. m² Wfl. • LK Oberhavel: ca. 62.000 EW, 2,3 Mio. m² Wfl. • LK Ostprignitz-Ruppin: ca. 62.000 EW, 2,4 Mio. m² Wfl. • LK Potsdam-Mittelmark: ca. 57.000 EW, 2,1 Mio. m² Wfl. • Brandenburg an der Havel: ca. 73.000 EW, 2,9 Mio. m² Wfl. • Potsdam: ca. 153.000 EW, 5,5 Mio. m² Wfl.
Bildungseinrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • 102 Grundschulen • 9 Mittelschulen • 51 Gymnasien/Oberschulen • 28 Berufsschulen • 4 Fachhochschulen • 1 Universität

Krankenhäuser/ Vorsorgeeinrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • 10 Krankenhäuser • 4 Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen
Kirchengemeinden	<ul style="list-style-type: none"> • 49 im LK Havelland • 15 im LK Oberhavel • 31 im LK Ostprignitz-Ruppin • 10 im LK Potsdam-Mittelmark • 7 in Brandenburg an der Havel
Schwimmbäder	<ul style="list-style-type: none"> • 7 Hallenbäder, davon 3 in Potsdam
Beherbergungsgewerbe	<ul style="list-style-type: none"> • 3 Hotels in Brandenburg an der Havel • 14 Hotels und eine Pension in Potsdam • 6 Hotels und 2 Pensionen im LK Havelland • 3 Hotels im LK Oberhavel • 12 Hotels und eine Pension im LK Ostprignitz-Ruppin • 11 Hotels und eine Pension im LK Potsdam-Mittelmark
Kasernen*	
Industrie und Gewerbebetriebe	<ul style="list-style-type: none"> • 32 Industrie- und Gewerbebetriebe • 30 Nahrungs- und Futtermittelbetriebe • 5 Bierbrauereien
Landwirtschaftsbetriebe	<ul style="list-style-type: none"> • LK Havelland: 36 • LK Ostprignitz-Ruppin: 8 • LK Oberhavel: 30 • LK Potsdam-Mark: 18 • Potsdam: keine entsprechenden Betriebe vorhanden • Brandenburg: 1
Gartenbaubetriebe	<ul style="list-style-type: none"> • 37 Betriebe mit beheizter Anbaufläche unter Glas
Reiterhöfe	<ul style="list-style-type: none"> • 33 Reiterhöfe

*Trotz wiederholter telefonischer und schriftlicher Anfragen kam jedoch keine Kooperation mit der entsprechenden Abteilung zustande. Die Kasernen konnten demnach nicht mit in die Betrachtung der Wärmesenken einbezogen werden.

Insgesamt können im Projektgebiet 607 Einrichtungen und Betriebe, die einen nennenswerten Wärmebedarf (> 50 kW) haben, erfasst werden. Hinzu kommen ca. 290.000 Haushalte in den ca. 562.000 Einwohner, die insgesamt ca. 21,1 Mio. m² Wohnfläche bewohnen.

3.4.2 Ergebnisse zum Wärmebedarf

Nachfolgend erfolgt die Darstellung und Erläuterung der Ergebnisse, die aus der Berechnung des Wärmebedarfs in der Untersuchungsregion hervorgehen. Für Kasernen, Industrie- und Gewerbebetriebe, Gartenbaubetriebe, Kirchengemeinden sowie Reiterhöfe konnten keine Berechnungen durchgeführt werden. Der Grund hierfür liegt in der unzureichenden Verfügbarkeit entsprechender betriebsspezifischen Angaben. Für diese Betriebe und Einrichtungen wurden - soweit verfügbar - die Umfrageergebnisse zur Bestimmung des Wärmebedarfs verwendet. Die geographische Verteilung der Wärmesenken für die jeweiligen Branchen und Bereiche ist detailliert im Anhang A 6 dargestellt.

Aufgrund von individuellen Rahmenbedingungen der Wärmenutzung wie Dämmung, Heizsystem etc. wurden die Berechnungsergebnisse zum Wärmebedarf hinsichtlich deren Anwendung im Havelland überprüft. In Branchen, bei denen sich eine Berechnungen des Wärmebedarfs als nicht sinnvoll erwies, wurde die Ergebnisse der Befragung für die Darstellung des Wärmebedarfs genutzt. Dazu wurde eine Befragung identifizierten Betriebe und Einrichtungen zum Wärmeverbrauch durchgeführt. Bei Haushalten wird auf Grund ihrer Vielzahl und der guten Verfügbarkeit von Kennwerten zum individuellen Wärmebedarf keine Befragung der einzelnen Hausbewohner durchgeführt. Die Befragung der weiteren Branchen/ Bereiche wird mittels eines standardisierten Fragebogens per E-Mail vorgenommen. Die Fragebögen wurden branchenindividuell gestaltet und sind im Anhang zu finden. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit der E-Mailadressen von Landwirtschaftsbetrieben, erhalten diese den Fragebogen auf dem Postweg. Sofern innerhalb von 14 Kalendertagen keine Antwort der befragten Betriebe und Einrichtungen vorliegt, wurde eine Erinnerungs-E-Mail/-Brief geschrieben, was gegebenenfalls nach weiteren 14 Kalendertagen wiederholt wurde.

Für die Befragung in der Untersuchungsregion sind bei einigen Betrieben die Kontaktdaten nicht vollständig verfügbar, sodass diese nicht angeschrieben werden konnten. Insgesamt befragt wurden:

- 51 Beherbergungsbetriebe
- 11 Krankenhäuser
- 5 Schwimmbäder
- 183 Bildungseinrichtungen
- 50 Industrie- und Gewerbebetriebe
- 20 Gartenbaubetriebe
- 77 Landwirtschaftsbetriebe
- 65 Kirchengemeinden
- 28 Reiterhöfe

Abgefragt wurden spezifische Kennwerte zum Wärmeverbrauch. Zusätzlich wurden Parameter abgefragt, über die anhand verfügbarer Angaben aus der Literatur der Wärmebedarf hochgerechnet werden kann. So wurden zum Beispiel bei Beherbergungsbetrieben neben dem Gesamtwärmeverbrauch auch nach der Anzahl der Betten gefragt. Diese Doppelbefragung soll in erster Linie dazu dienen, die Energiekennwerte aus der Literatur dem realen Wärmeverbrauch gegenüberstellen und vergleichen zu können. Neben der Ermittlung des Wärmebedarfs wurde die Befragung auch genutzt, die Akzeptanz zum Einsatz von Heu als Brennstoff in dezentralen Heizanlagen abzufragen. Sofern die Betriebe und Einrichtungen einen Fragebogen beantwortet haben, wurde er in der folgenden Darstellung berücksichtigt.

Für die landwirtschaftlichen Betriebe wird der Fragebogen hier zusätzlich erweitert, da diesen hier eine Doppelrolle als Wärmenutzer, aber auch als Produzent des Grünguts von Grünlandflächen zukommt. So wurde neben den oben genannten Fragen auch Fragen zur Größe, Bewirtschaftung und entsprechender Überschussmengen von deren Grünlandflächen gestellt.

Wärmebedarf von Haushalten

Auf Basis der für alle Ortschaften recherchierten Einwohnerzahl wird der er spezifische Wärmebedarf für Haushalte wurde mit $8.700 (\pm 2.795) \text{ kWh/EW} \cdot \text{a}^{-1}$ berechnet. Wie zu erwarten war, konzentriert sich der größte Wärmebedarf auf den Großraum Berlin sowie auf die größeren Städte Potsdam und Brandenburg. Weitere große Wärmesenken im privaten Bereich sind die Städte Rathenow und Neuruppin. Aber auch im ländlichen Raum besteht ein hoher Wärmebedarf durch Haushalte, die sich besonders in Kombination mit teilweise bestehenden Nahwärmenetzen sehr gut für die Nutzung von Wärme aus Biomasseanlagen wie Biogasanlage eignen. Insgesamt weisen die Haushalte im Untersuchungsgebiet einen Wärmebedarf von 4.874 GWh/a auf. Auf Grund der hohen Variabilität im Wärmebedarf der einzelnen Haushalte bestehen hierbei Schwankungsbreiten von $\pm 1.543 \text{ GWh/a}$.

Bildungseinrichtungen

Der Wärmebedarf von Bildungseinrichtungen summiert sich im Untersuchungsgebiet auf insgesamt 45.840 (± 4.600) MWh/a. Hierbei ist zu beachten, dass vier Hochschulen und eine Universität auf Grund fehlender Kennwerte und Angaben in dem hier dargestellten Wärmebedarf nicht berücksichtigt werden konnten. Die meisten Bildungseinrichtungen konzentrieren sich in den großen Städten wie Potsdam, Brandenburg, Rathenow und Neuruppin. Im ländlichen Raum sind vereinzelt kleine Wärmesenken von unter 250 MWh/a zu erkennen.

Aus der Befragung wurde deutlich, dass der berechnete Wert lediglich ca. $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ des realen, befragten Wertes beträgt. Allerdings beruht diese Aussage auf einem Vergleich weniger Bezugswerte (fünf Schulen). Ein Grund für diese extremen Abweichungen könnte auch sein, dass die Gebäudesubstanz und weitere wärmerrelevante Angaben an sich unberücksichtigt bleiben. Für eine Korrektur der berechneten Werte wären weitere Befragungsergebnisse erforderlich um ein repräsentatives Gesamtbild zu erhalten. Zu berücksichtigen bleibt jedoch, dass die errechneten Werte demnach nur den ungefähren Wärmebedarf darstellen können.

Bei der Frage nach der Akzeptanz von Heu als Brennstoff haben sich Bildungseinrichtungen vermehrt dagegen ausgesprochen. Gründe dazu wurden nicht genannt.

Krankenhäuser/ Vorsorgeeinrichtungen

Krankenhäuser, Vorsorge- und Rehabilitationseinrichtungen im Untersuchungsgebiet haben einen Wärmebedarf von insgesamt 118.250 MWh/a. Auf Grund der unterschiedlichen Ausgestaltung (zum Beispiel Dämmung) der Einrichtungen muss von bis zu ± 33.500 MWh/a Abweichung ausgegangen werden. Die betrachteten Einrichtungen konzentrieren sich zum größten Teil auf Potsdam und Brandenburg. Im restlichen Gebiet befinden sich zwei Krankenhäuser in den Städten Neuruppin und Nauen sowie zwei im ländlichen Gebiet in Sommerfeld bei Kremmen. Diese Krankenhäuser in Nauen und Neuruppin sowie im ländlichen Raum könnten aufgrund ihres hohen Wärmebedarfs ein potenzieller Wärmeabnehmer sein.

Bei der Befragung hat nur ein Krankenhaus geantwortet, bei dem der Wärmebedarf über dem 2,5 fachen des berechneten mittleren Wärmebedarfs der Krankenhäuser mit rund 5.840 MWh/a liegt. Daraus kann geschlossen werden, dass die krankenhausspezifischen Kennwerte nicht immer den realen Wert widerspiegeln. Dies kann verschiedene Ursachen haben. Zum Beispiel bleibt bei den Kennwerten das Alter des Gebäudes unberücksichtigt und damit auch verbundene Standards bei der Gebäudeisolierung. Allerdings reicht ein einziger Rücklauf aus der Befragung nicht aus, um die Kennwerte hinreichend genau zu bewerten. In erster Näherung wurde daher die Berechnungsmethodik für die übrigen Krankenhäuser beibehalten.

Die Frage nach der Akzeptanz einer Biomasseheizanlage und somit auch nach dem Brennstoff Heu wurde von dem Krankenhaus negativ beantwortet.

Kirchengemeinden

Von 65 befragten Gemeinden haben vier den Fragebogen zurück geschickt. Allerdings wurde von nur einer Kirchengemeinde der Wärmebedarf angegeben, der sich auf 22,2 MWh/a beläuft. Aufgrund der geringen Rücklaufquote können die Angaben nicht auf die weiteren Kirchengemeinden übertragen werden.

Für die Nutzung von Heu als Brennstoff bestanden seitens drei Kirchengemeinden keine grundsätzlich Einwände. Eine Kirchengemeinde sieht in der Nutzung von Biomasse generell keine Option zur Wärmeerzeugung.

Schwimmbäder

In der Untersuchungsregion wurden sieben Schwimmbäder identifiziert, die über beheizte Schwimmbecken von insgesamt ca. 5.100 m² verfügen. Dies entspricht einem Wärmebedarf von ca. 14.070 MWh/a. Auf Grund der unterschiedlichen Ausgestaltung der betrachteten Schwimmbäder kann es zu Abweichungen von bis zu ± 8.100 MWh/a kommen. Die Schwimmbäder befinden sich vor allem in dicht besiedelte Gebiete wie den Großraum Berlin und weitere Städte konzentrieren. Auf Grund der relativ großen Standardabweichung von 8.100 MWh/a lassen sich die berechneten Kennwerte eher zur Feststellung der Tendenz und Verteilung der Schwimmbäder, als zur genauen Angabe des Wärmebedarfs verwenden. Aufgrund deren großen Entfernung zu den Gebieten mit hohem Grünlandpotenzial sind die betrachteten Schwimmbäder zunächst ungeeignet für die Wärmeversorgung durch Grüngut-basierte Biomasseanlagen.

Beherbergungsgewerbe

Für das Beherbergungsgewerbe wurde der Wärmebedarf im Untersuchungsgebiet mit insgesamt 34.100 (\pm 2.800) MWh/ a berechnet. Die Standardabweichung ist hier relativ gering. Ein Betrieb hat einen Fragebogen beantwortet, dessen Wärmebedarf liegt im ungefähren Rahmen des spezifischen Durchschnittsverbrauchs. Es ist anzunehmen, dass die errechneten Werte als eher konservative, aber gute, Schätzung anzusehen sind. Analog zu den zuvor betrachteten Branchen ist auch hier eine auffällig starke Ausprägung des Beherbergungsgewerbes in den Ballungsgebieten zu erkennen. Die vereinzelt Hotels und Pensionen im ländlichen Raum bieten dagegen eine gute Möglichkeit zur Wärmebedarfsdeckung durch Biomasseanlagen.

Die Akzeptanz von Heu als Brennstoff wurde von dem befragten Betrieb positiv beantwortet.

Industrie und Gewerbe

Insgesamt konnten über den Weg der Befragung (geringer Rücklauf) und Berechnung keine nutzbaren Daten für Industrie und Gewerbe generiert werden. Der einzige Weg erscheint hier die persönliche Direktansprache einzelner Betriebe, um über diesen Weg mögliches Interesse und technische Kenndaten zu eruieren. Dieses Vorgehen wurde jedoch aus forschungswirtschaftlichen Gründen nicht in Erwägung gezogen. Der Betrieb einer Biomasseheizanlage und somit auch die Nutzung von Heu als Brennstoff wurden von einem Betrieb abgelehnt. Die anderen Betriebe beantworteten diese Frage nicht.

Landwirtschaftsbetriebe

Insgesamt haben 24 von 77 befragten Betrieben auf die Befragung reagiert und den Fragebogen ausgefüllt zurückgeschickt. Da die meisten Landwirte ihren Energieverbrauch in Form von Heizöl-beziehungsweise Gasmenge oder Nennwärmeleistung ihres Kessels angeben, musste der daraus resultierende Wärmebedarf errechnet werden. Dazu wurde die Annahmen getroffen das der Nutzungsgrad der Anlagen bei 80 %, der untere Heizwert für Heizöl 9,8 kWh/l und für Gas 10 kWh/m³ liegt. Der gesamte Wärmebedarf aller teilnehmenden Landwirtschaftsbetriebe beträgt ca. 2.200 MWh/a. Von den Betrieben gaben zehn an, mit Heizöl und 13 ausschließlich, beziehungsweise zusätzlich mit Gas zu heizen. Lediglich drei Betriebe heizen mit Holz und ein Betrieb wird mit Fernwärme versorgt. Die Verteilung der an der Befragung teilgenommen Betriebe sowie deren Größe kann als repräsentativ betrachtet werden, da die Betriebe relativ gleichmäßig über die Fläche verteilt sind und alle Größenklassen abgedeckt werden. Als Tendenz ist jedoch festzustellen, dass sich die größeren Betriebe eher im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes, dem eher ländlich geprägten Teilgebiet, befinden.

Neben dem Wärmebedarf der Betriebe wurde auch die Akzeptanz des Einsatzes von Grüngut zur Energieerzeugung sowie Angaben zu vorhandener Grünlandfläche abgefragt. Die große Mehrheit der Betriebe, 17 von 24, gab an, dass sie ihre Heizungsanlage auf Biomassenutzung umzustellen würden. Elf Betriebe würden sogar Heu aus der eigenen Produktion dafür nutzen, wobei davon bereits acht Betriebe über entsprechende Überschussmengen verfügen, die nicht für Futtermittelzwecke benötigt werden. Bei der Befragung gab es jedoch auch kritische Bemerkungen, so lehnten fünf Betriebe die

Nutzung von Heu als Brennstoff strikt ab. Als Begründung wurden dabei meist die Konkurrenz zur Futtermittelproduktion sowie die Befürchtung steigender Futtermittelpreise, bei erhöhter Nachfrage nach Heu, angegeben.

Die gesamte bewirtschaftete Fläche, der an der Befragung teilgenommenen Landwirtschaftsbetriebe, beläuft sich auf ca. 18.000 ha. Im Durchschnitt liegt der Grünlandanteil der Betriebe bei ca. 40 % und ist damit rund 290 ha groß.

Gartenbaubetriebe

Insgesamt haben lediglich drei von 67 befragten Gartenbaubetrieben geantwortet. Alle drei Betriebe gaben an ihren Wärmebedarf, zwischen 27 und 908 MWh/a, mit Heizöl zu abzudecken. Die großen Unterschiede ergeben sich aus der Betriebsstruktur beziehungsweise -größe weshalb eine Hochrechnung mit Kennwerten nicht ausreichend genaue Ergebnisse liefern konnte.

Für zwei Gartenbaubetriebe erwies sich die Nutzung von Heu zur Wärmeerzeugung als denkbare Option. Ein Gartenbaubetrieb lehnte die Wärmezeugung anhand einer Biomasseheizanlage kategorisch ab.

Reiterhöfe

Zwei der 28 befragten Reiterhöfe haben auf den Fragebogen reagiert und geantwortet, wobei ein Hof genauere Angaben gemacht hat. Dessen Wärmebedarf entspricht ca. 23,5 MWh/a. Darüber hinaus wurde angegeben, dass der Hof über 45 ha Grünland sowie 40 Pferde verfügt. Da nur ein Betrieb vollständig geantwortet hat, ist die Befragung nicht repräsentativ, weshalb die Ergebnisse nicht auf die anderen Betriebe übertragen werden können. Die Nutzung von Heu als Brennstoff wurde von dem befragten Reiterhof nicht abgelehnt, ein anderer sieht darin die Konkurrenz zur Futtermittelproduktion.

3.4.3 Bestehende Biomasseanlagen

Neben der Analyse des Wärmebedarfs wird auch die bestehende Struktur an Biomasseanlagen untersucht. Dadurch soll ermittelt werden, wie groß der Biomassebedarf und wie hoch die Akzeptanz zum Einsatz von Heu als Brennstoff in der Region ist, um erste Anhaltspunkte für eine Substitution derzeit genutzter Biomasse durch Grüngut zu geben. Hierzu werden nur größere Biomasseanlagen (> 100 kW_{th}) betrachtet, da in diesen Anlagen, anders als bei kleineren Anlagen ein geringerer Modifikationsaufwand hinsichtlich der Umrüstung hin zur Nutzung von Grüngut erwartet wird.

Biomassekraft- und Biomasseheizkraftwerken

Biomasseverbrennungsanlagen könnten, sofern eine entsprechende Anpassung der Technik wirtschaftlich möglich ist, Halmgüter als Brennstoff einsetzen. Betrachtet wurden Biomasseheizkraftwerke (BMHKW) die Wärme und Strom liefern sowie Biomasseheizwerke (BMHW) die lediglich Wärme liefern. Bei Abfrage der verfügbaren Datenbanken wurden insgesamt zwei BMHKW (in Henningsdorf und Kirchmöser) und neun BMHW gefunden. Bei der telefonischen Umfrage unter den Bauämtern beziehungsweise Bauaufsichtsbehörden in der Untersuchungsregion zeigte sich, dass von

den BMHW nur noch die beiden BMHW Dabergotz (Werder) und Potsdam in Betrieb sind. Die sich im Untersuchungsgebiet befindenden Biomasseverbrennungsanlagen sind mit den wichtigsten Anlagenparametern in der folgenden Tabelle 3-8 zusammengefasst.

Tabelle 3-8: Biomasseheizwerke (BMHKW) und Biomasseheizwerke (BMHW) in der Untersuchungsregion [52,53, DBFZ-Datenbank, telefonische Befragung]

Standort	Anlagen- typ	Brennstoffart	Installierte thermische (th) Leistung	Installierte elektrische (el) Leistung	Brennstoff- bedarf	Inbetrieb- nahme
Hennigsdorf	BMHKW	Holzhack- schnittel (HHS)	9,8 MW	2,2 MW	30.400 t/a	k. A.
Kirchmöser	BMHKW	Waldrestholz, Altholz	15 MW	7,5 MW	100.000 t/a	k. A.
Dabergotz (Werder)	BMHW	Sägereste	4,8 MW	-	k. A.	1996
Potsdam	BMHW	HHS	0,55 MW	-	k. A.	2005

Die Karte in Abbildung 3-1 zeigt den Standort aller vier ermittelten Anlagen, wobei sich zwei der Anlagen am Rand zu Berlin und die anderen beiden am nördlichen beziehungsweise südlichen Rand der Untersuchungsregion befinden.

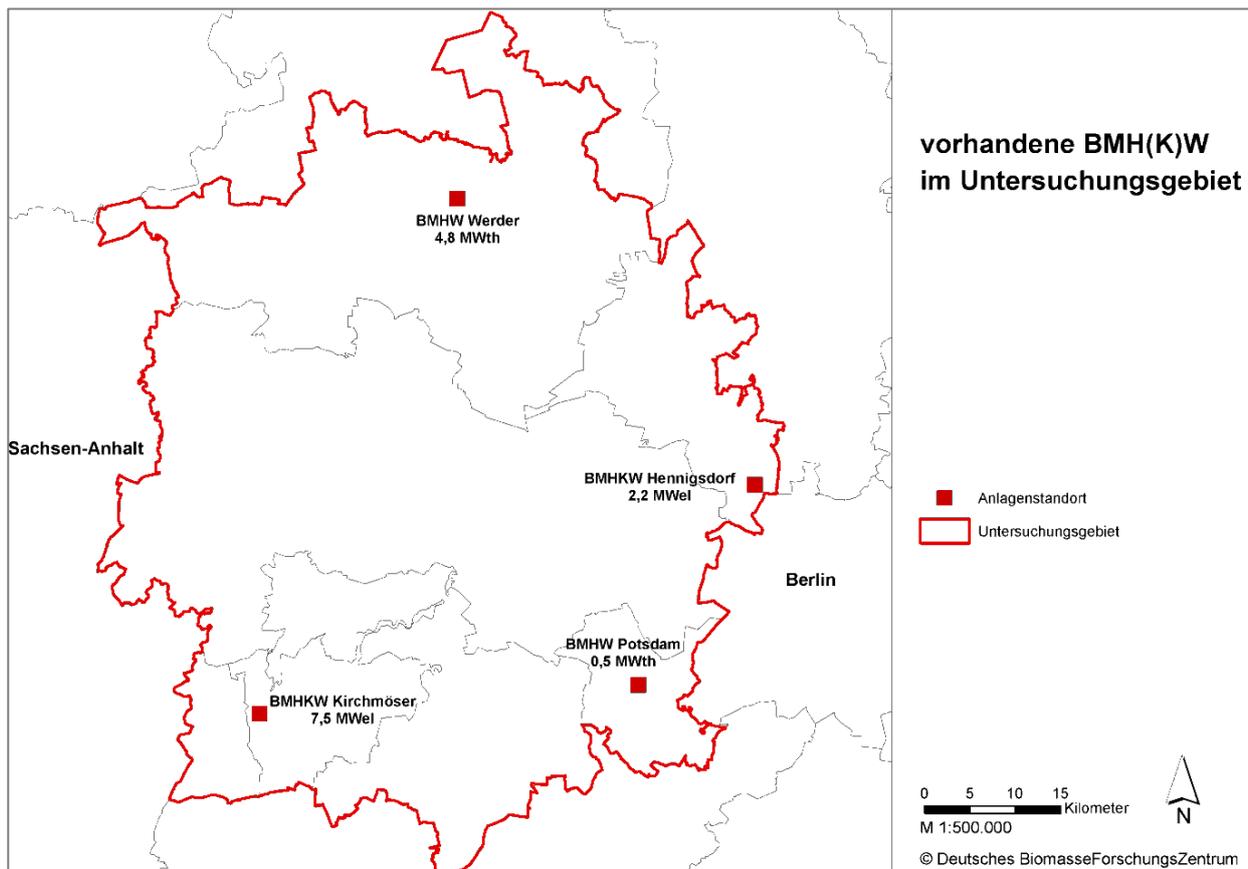


Abbildung 3-1: Anlagenstandorte von Biomasseheizkraftwerke (BMHKW) und Biomasseheizwerke (BMHW) (Abbildung: DBFZ, nach Daten von [52,53, DBFZ-Datenbank, telefonische Befragung])

Bei der telefonischen Befragung der beiden BMHW-Betreiber stellte sich heraus, dass das BMHW in Potsdam es in Betracht ziehen würden Heu als Brennstoff einzusetzen, wenn dies aus technischer und rechtlicher Sicht möglich ist. Das BMHW in Dabergotz, welches an ein Holzwerk angeschlossen ist, setzt als Brennstoff ausschließlich Reste aus der Holzverarbeitung ein. Eine Nutzung von Heupellets wird daher als „nicht interessant“ eingestuft. Nach Angaben der BMHKW-Betreiber des Hennigsdorfer Kraftwerkes könnten Heupellets eingesetzt werden, wenn die technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen dafür gegeben wären. Die Betreiber des Kirchmöser Kraftwerks konnten keine Aussage diesbezüglich machen.

Biogasanlagen

Die Biogasanlagen im Havelland wurden mit der DBFZ-Datenbank zu Biogasanlagen und weiterer interner Quellen des ATB identifiziert. Die Betreiber wurden in einer weiteren Studie schriftlich befragt [72].

Demzufolge waren im Untersuchungsgebiet im Jahr 2010 neununddreißig Biogasanlagen und zwei Biogas-Einspeiseanlagen in Betrieb. Drei Viertel der Anlagen gingen vor dem Inkrafttreten der letzten EEG-Novelle am 1. Januar 2009 ans Netz. Darüber hinaus wurden mindestens elf weitere Anlagen genehmigt, die sich derzeit in unterschiedlichen Baustadien befinden.

Tabelle 3-9: Installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen im Untersuchungsgebiet (ATB-Daten)

Nr.	Standort	Leistung [kW _{el}]	Nr.	Standort	Leistung [kW _{el}]
1.	Bantikow	537	22.	Neukammer 1	1.074
2.	Bredow	537	23.	Neukammer 2	Einspeisung
3.	Brunn 1	537	24.	Phöben	182
4.	Brunne	1.000	25.	Rathenow	Einspeisung
5.	Damme	350	26.	Reckahn 1	526
6.	Damsdorf 1	537	27.	Reckahn 2	192
7.	Damsdorf 2	537	28.	Retzow	537
8.	Fehrbellin	1.394	29.	Rhinow 1	500
9.	Gnewikow	500	30.	Ribbeck	380
10.	Gollwitz	625	31.	Rietz	500
11.	Götz	800	32.	Schmergow	500
12.	Groß Kreuz	80	33.	Sechzehneichen	500
13.	Hertefeld 1	530	34.	Selbelang	342
14.	Hertefeld 2	530	35.	Stüdenitz-Schönermark	500
15.	Hohenbruch	500	36.	Vehlefan 1	537
16.	Hohennauen	562	37.	Vehlefan 2	537
17.	Kantow	500	38.	Warsow	170
18.	Ketzin	Einspeisung	39.	Wulkow 1	360
19.	Lögow	100	40.	Wulkow 2	375
20.	Nennhausen	1.182	41.	Wusterhausen/Dosse	537
21.	Netzen	185	42.	Wustrau-Altfrisesack	500
Gesamte installierte Leistung (ohne Biogas-Einspeiseanlagen)					20.272

Die meisten Biogasanlagen liegen in einem mittleren Leistungsbereich: 21 von insgesamt 39 Anlagen weisen eine elektrische Leistung zwischen 451 kW und 550 kW auf. Die durchschnittliche installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen im Havelland liegt bei 520 kW. Die räumliche Lage der Biogasanlagen ist in Abbildung 3-2 dargestellt.

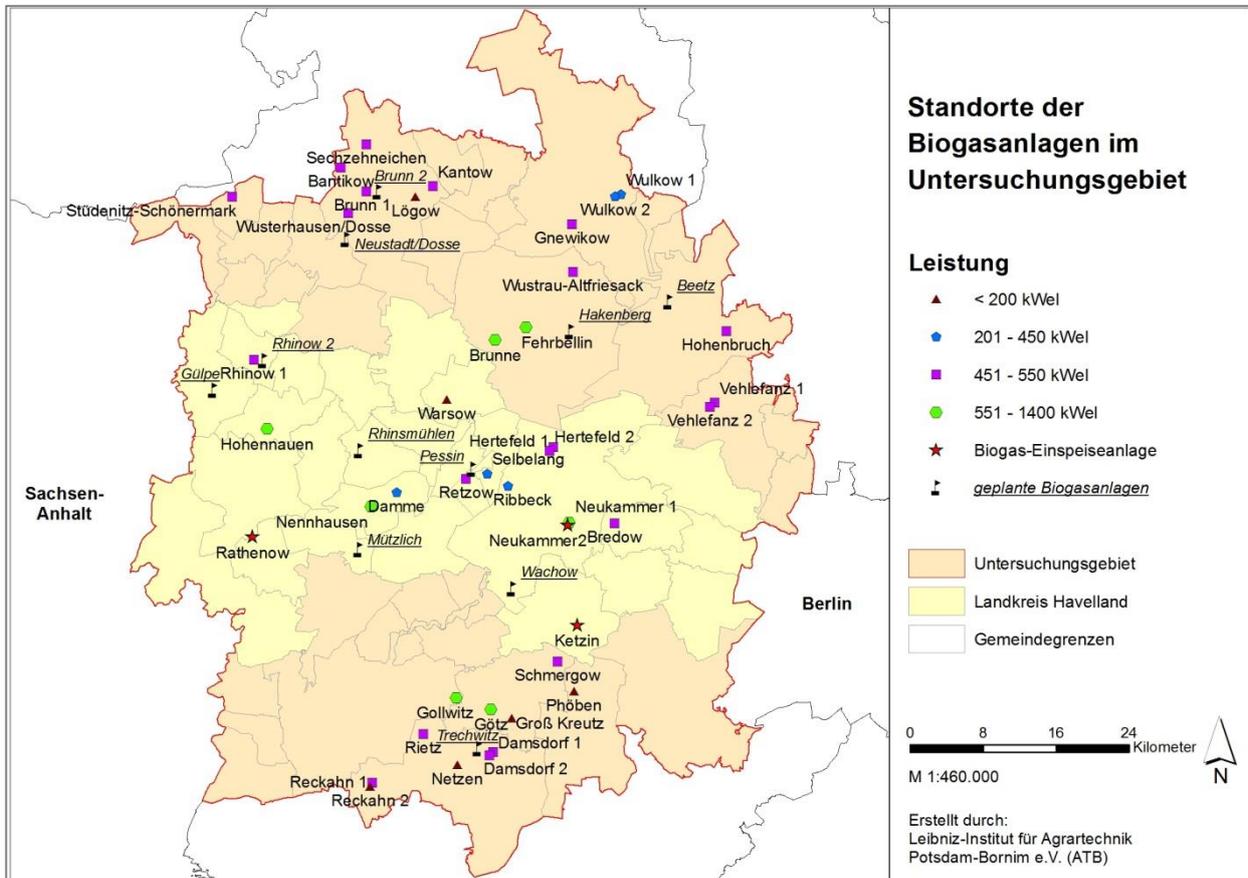


Abbildung 3-2: Biogasanlagen im Untersuchungsgebiet (Abbildung: ATB)

Die erzeugte Wärme wird bei kleineren Anlagen zu großen Anteilen zum Beheizen des Fermenters und der Gebäude auf dem Betriebsgelände genutzt. Mögliche Alternativen zur Nutzung sind hier Getreide-, Gärrest- und Holz Trocknung, was bereits in einigen der havelländischen Biogasanlagen praktiziert wird. Als weitere Möglichkeiten der Wärmenutzung sind im Untersuchungsgebiet das Beheizen von Gewächshäusern, die Milchkühlung, das Betreiben des Pilzbaus, die Warmwasserversorgung eines Schlachthofs und Fischzucht zu erwähnen. Zudem wird die Wärme auch in eine Nahwärmeleitung für die Beheizung von Wohnräumen eingeleitet oder speziell dafür gebaut. Dazu bedarf es eines zuverlässigen Partners und großen Wärmeabnehmern wie zum Beispiel Stadtwerke, Gewerbebetrieb oder öffentliche Einrichtung. So bezieht beispielsweise das Krankenhaus in Nauen Wärme über ein zwei Kilometer langes Nahwärmenetz von einer Biogasanlage. Auch das Handwerk- und Ausbildungszentrum in Götz, deckt seit Dezember 2010 seinen Heiz- und Warmwasserbedarf mit Wärme von einer nahe gelegenen Biogasanlage.

3.5 Gesamter Wärmebedarf

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Berechnung des Wärmebedarfs über spezifische Kennwerte aus der Literatur als übertragbare Methode angewandt für eine Einschätzung angewandt werden kann. Für eine detailliertere regionale Überprüfung empfiehlt sich eine Befragung

der Wärmenutzer, um die Berechnungsergebnisse durch Literaturangaben bewertend gegenüberzustellen beziehungsweise zu vervollständigen.

In Abbildung 3-3 sind die berechneten sowie angegebenen Wärmemengen für die Region zusammenfassend dargestellt.

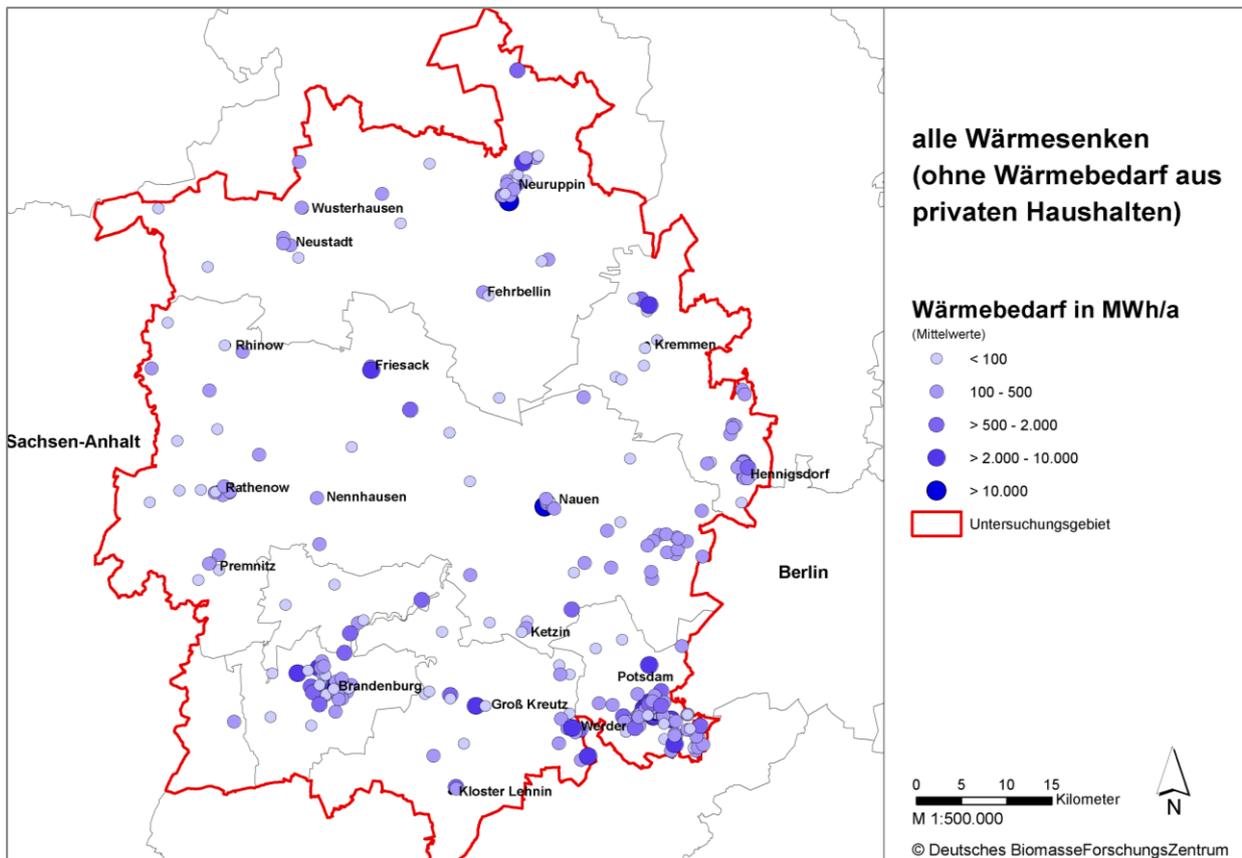


Abbildung 3-3: Überblick aller Wärmesenken, ohne Wärmebedarf aus privaten Haushalten (Mittelwerte) (Abbildung: DBFZ)

Erwartungsgemäß sind große Wärmesenken vorwiegend im Großraum Berlin sowie vereinzelt in größeren Ballungsräumen wie zum Beispiel Brandenburg an der Havel, Rathenow, Friesack oder Neuruppin zu finden. Aber auch in ländlich geprägten Gebieten sind Betriebe mit erhöhtem Wärmebedarf wie größere Landwirtschaftsbetriebe mit Maststall zu finden die bei genauer Betrachtung potenzielle Wärmeabnehmer von Biomasseanlagen darstellen können.

Zusätzlich zu den Wärmengen aus öffentlichen, gewerblichen oder privaten Einrichtungen wurde auch der Wärmebedarf für die privaten Haushalte ermittelt. Dies geschah zum großen Teil auf Ebene der Ortschaft. Wenn die Datenlage diese Auflösung nicht zuließ, so wurden die Werte gemeindescharf ermittelt (Abbildung 3-4).

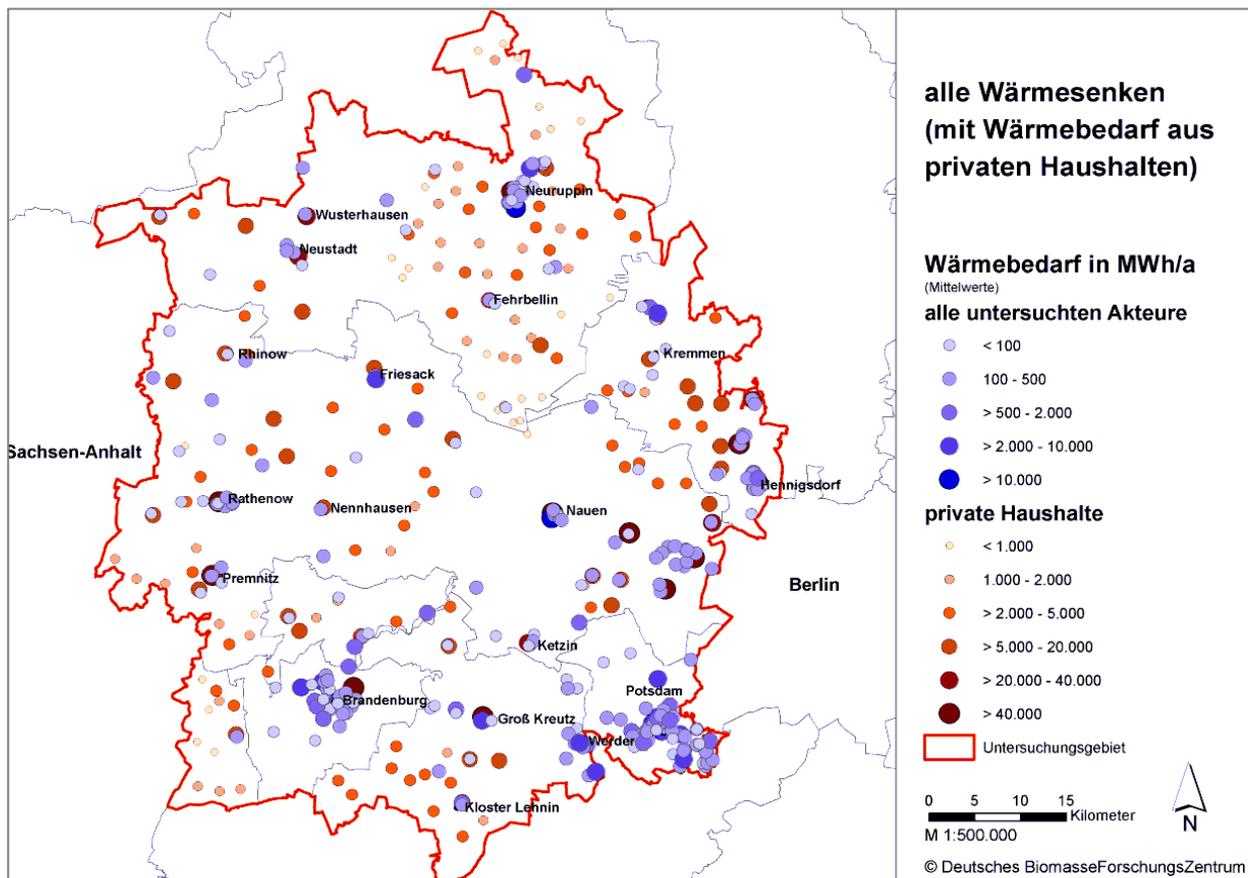


Abbildung 3-4: Überblick aller Wärmesenken, inklusive privater Haushalte (Mittelwerte) (Abbildung: DBFZ)

Auch hier zeigt sich eine Konzentration in den Ballungsräumen sowie in der Randlage von Berlin. Im Unterschied zu Abbildung 3-3, dass auch im ländlichen Raum eine durchaus erhebliche Wärmenachfrage besteht. Einige Dörfer und Kleinstädte, deren Haushalte der Wärmeherzeugung von großen Biomasseanlagen entsprechen könnten beispielsweise über ein Nahwärmenetz versorgt werden. Der zusammengefassten Ergebnisse aus Befragung und Berechnung zum Wärmebedarf jeder Branche/ jeden Bereichs sind der Tabelle 3-10 zu entnehmen.

Tabelle 3-10: Übersicht zum Befragungs- und Berechnungsergebnis des Wärmebedarfs in der Untersuchungsregion

	Befragte Betriebe und Einrichtungen	Rücklaufquote der Befragung	Summe des angegebenen Wärmebedarfs [MWh/a]	Summe des berechneten Wärmebedarfs [MWh/a]
private Haushalte**	-	-	-	4875.000 ± 1.543.000
Bildungseinrichtungen	183	3 % (5)	1.850	45.840 ± 4.600
Krankenhäuser	11	9 % (1)	2.270	118.250 ± 33.500
Kirchengemeinden	65	6 % (4)	22	-*
Schwimmbäder	5	0 % (0)	-*	14.070 ± 8.100
Beherbergungsgewerbe	51	2 % (1)	354	34.100 ± 2.800
Gewerbe- und Industrieunternehmen	50	6 % (3)	-*	-*
Landwirtschaftsbetriebe	77	31 % (24)	2.200	-*
Gartenbaubetriebe	20	20 % (4)	1.000	-*
Reiterhöfe	28	7 % (2)	24	-*
Gesamt	490	9 % (44)		5.087.260 ± 1.592.000

* es wurden keine Wärmemengen in der Befragung angegeben, beziehungsweise für die Berechnung der Wärmemengen waren die Angaben unvollständig

**die Ermittlung der Wärmemenge für die Haushalte erfolgte mit Hilfe von Statistiken und spezifischen Kennwerten zum Wärmebedarf

Insgesamt konnte ein Wärmebedarf von rund 5,1 (± 1,6) TWh/a durch die Berechnungen quantifiziert werden. Die Ergebnisse aus der Befragung zum Wärmebedarf der Betriebe und Einrichtungen gingen vereinzelt mit den Berechnungsergebnissen einher.

Der Großteil, ca. 4,9 (± 1,5) TWh/a, beruht auf Wärmebedarf der privaten Haushalte. Der berechnete Wärmebedarf von öffentlichen und gewerblichen Einrichtungen in der Region beträgt rund 220.260 (± 49.000) MWh/a. Daraus wird ersichtlich, dass eben einem geringen konstanten Wärmebedarf, für gewerblichen Prozesse und der Brauchwasserbereitstellung in öffentlichen Einrichtungen und Haushalte, Wärme vor allem zur Raumbeheizung benötigt wird. Während eine ungleichmäßige Verteilung des Wärmebedarfs zunächst negativ auf einen wirtschaftlichen Betrieb einer Biomasseanlage auswirkt, bestehen in der Region Havelland andererseits Vorteile in der guten Erschließung einiger Dörfer und Städte wie Neuruppin oder Nauen mit Nah- und Fernwärmenetzen. Dadurch könnte die Wärmeerzeugung aus Biomasse in eine vorhandene Infrastruktur integriert werden, wodurch zusätzlicher Investitions- und Organisationsaufwand entfällt.

Betriebe und Einrichtungen, die über einen hohen Wärmebedarf verfügen, könnten zudem direkt (ohne ein Wärmenetz) mit Wärme aus Biomasseanlagen versorgt werden. Die entsprechende Anzahl und deren Bereitschaft zum Einsatz von Heupellets als Energieträger wird in Tabelle 3-11 dargestellt.

Tabelle 3-11: Übersicht für das Befragungsergebnis zur Akzeptanz zum Einsatz von Heu als Brennstoff

	Befragungs- umfang	Antworten (Rücklauf- quote)	Umstellen auf Biomasse- heizung	Einsatz von Heu als Brennstoff
Bildungseinrichtungen	183	5 (3 %)	1 ja / 4 nein	1 ja / 3 nein
Krankenhäuser	11	1 (9 %)	1 nein	-
Kirchengemeinden	65	4 (6 %)	3 ja / 1nein	3 ja
Gemeinden	59	2 (3 %)	1 ja	1 ja
Schwimmbäder	5	0 (0 %)	-	-
Beherbergungsgewerbe	51	1 (2 %)	1 ja	1 ja
Industrie- und Gewerbe- betriebe	50	3 (6 %)	1 nein	1 nein
Landwirtschaftsbetriebe	77	24 (31 %)	18 ja / 6 nein	12 ja / 5 nein
Gartenbaubetriebe	20	4 (20 %)	2 ja / 1 nein	2 ja
Reiterhöfe	28	2 (7 %)	2 ja	1 ja / 1 nein
Gesamt	549	46 (8 %)	28 ja / 14 nein	21 ja / 10 nein

Von insgesamt 46 an der Befragung teilnehmenden Akteuren gaben rund 28 (61 %) Akteure ihre grundsätzliche Bereitschaft an, bei der nächsten Heizsystemsanierung auf Biomassenutzung umstellen und 20 (43 %) dafür würden prinzipiell sogar Heu aus der Region einsetzen. Insgesamt lehnen 14 (30 %) der befragten Akteure ab ihre Heizungen auf Biomassenutzung umstellen und 10 (22 %) ziehen es nicht in Betracht Heu als Brennstoff einzusetzen. Aus der vielfach positiven Einstellung zur Nutzung von Heu als Brennstoff lässt sich ableiten, dass bei einer gesicherten Brennstoffversorgung sowie geringen Wärmegestehungskosten und unter Voraussetzung der Erfüllung rechtlicher Vorgaben ein relativ großes Potenzial für Heizanlagen, basierend auf Heu, besteht.

3.6 Methodendiskussion, Forschungs- und Handlungsbedarf

Für die Recherche bestehender Wärmesenken wurden mehrere verschiedene Datenquellen herangezogen. Auf Grund der Vielzahl der beachteten Quellen wird angenommen, dass ein großer Teil der Betriebe und Einrichtungen erfasst werden konnte. Allerdings ist die Erfassung je nach Branche/ Bereich unterschiedlich vollständig. Besonders bei den Gewerbe- und Industriebetrieben sowie

Reiterhöfen wird davon ausgegangen, dass ein gewisser Anteil an Betrieben nicht erfasst wurde. Dagegen wird bei den meisten anderen Branchen/ Bereichen eine hohe Vollständigkeit angenommen. Aus Mangel an anderen Datenquellen basiert die Recherche bei mehreren Branchen/ Bereichen vorwiegend auf Internetsuchmaschinen. Damit lassen sich größere Betriebe und Einrichtungen allgemein bekannter Betriebszweige (zum Beispiel Molkerei) meist sehr gut auffinden. Kleinere oder spezialisierte Betriebe hingegen werden meist nicht gut gefunden. Dies betrifft auch die Aufteilung von Industrie und Gewerbe nach entsprechenden Betriebsarten. Hier wurden nur vier Kategorien aufgeführt, bei denen jeweils eine zu hohe Variabilität (Produkte, Fertigungstiefe, Maschineneffizienz, Auslastung, etc.) besteht um anhand von Kennwerten den Wärmebedarf zuverlässig berechnen zu können. Für weitere, detailliertere Regionsanalyse sind eine detailliertere Klassifizierung sowie weitere spezifische Kennwerte zur Wärmebedarfsermittlung erforderlich.

Die Berechnungsergebnissen sind mit starken Schwankungen belegt. Teilweise weichen die Angaben der spezifischen Kennwerte zum Wärmebedarf aus der Literatur um mehr als 50 % vom Mittelwert ab (vgl. Schwimmbäder). Dies ist vor allem auf die standardisierten Kennwerte zurückzuführen, bei denen die Gebäudeisolierung und weitere relevanten Eigenschaften nicht miteinbezogen werden, beziehungsweise nicht im Rahmen des Projekts erfasst werden konnten. Auch die Umfrageergebnisse zeigen, dass vielfach erhebliche Abweichungen bestehen und die berechneten Werte daher nur näherungsweise herangezogen werden können.

Die Befragung wies eine sehr geringe Rücklaufquote von 9 % bei der Wärmebedarfsanalyse, beziehungsweise 8 % bei der Frage nach der Akzeptanz des Brennstoffs Heu auf. Dies mag auf die E-Mail-basierte Befragung zurückzuführen sein. Bei der postalischen Befragung unter den Landwirtschaftsbetrieben wurden im Gegensatz dazu deutlich höherer Rücklaufquoten erzielt. Andererseits mag dies auch an einem nur geringen Interesse seitens der befragten Unternehmen und Einrichtungen liegen. Die meisten Ergebnisse konnten daher nur zur stichprobenartigen Bewertung der berechneten Ergebnisse herangezogen werden. Eine Ausnahme bildet hier der Rücklauf von den Landwirtschaftsbetrieben, wobei ein repräsentatives Umfrageergebnis erzielt werden konnte. Dies betrifft neben dem Wärmebedarf auch den Grünlandanteil und die Bereitschaft Heu als Brennstoff einzusetzen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass diese Regionsanalyse im Rahmen dieses Projekts ausreichend ist, da es darum geht, grundsätzlich günstige Orte für Biomasseanlagen auszuwählen. Es wird davon ausgegangen, dass das gesamte verfügbare Potenzial der betrachteten Biomasse-sortimente nur zu geringen Anteilen den Wärmebedarf der Region decken könnte. Eine tendenzielle Unterschätzung des Wärmebedarfs ist im Rahmen einer vorsichtigen Aussage für Biomasseanlagenentwickler also eher von Vorteil. Von größerer Bedeutung als der gesamte Wärmebedarf ist hier die geographische Zuordnung. Diese kann für eine erste Regionsanalyse als ausreichend genau beschrieben werden. Es kann dadurch aufgezeigt werden, wo tendenziell günstige Orte für Biomasseanlagen bestehen. Für eine konkrete Biomasseanlagenentwicklung muss eine weitere, lokal fokussierte, detailliertere Regionsanalyse durchgeführt werden.

4 Überlagerung von Biomassepotenzial und potenziellem Wärmebedarf

Für eine effiziente Nutzung der ermittelten Potenziale halmgutartiger Biomasse in Biomasseanlagen ist es erforderlich, potenzielle Anlagenstandorte zu identifizieren, die einerseits über ein möglichst großes Biomassepotenzial in ihrem Umfeld verfügen und andererseits eine Nutzung der Abwärme aus der Biogasverstromung oder der Wärme aus der Verbrennung ermöglichen.

Vor diesem Hintergrund erfolgt die räumliche Überlagerung der Ergebnisse aus Kapitel 2 und 3, um Aussagen über günstige Standorte für Biomasseanlagen zur Nutzung von halmgutartiger Biomasse treffen zu können. Dabei können nicht nur neue Standorte identifiziert, sondern auch bestehende Biomasseanlagen aus Sicht der Belieferung und Verwertung von Grüngut bewertet werden. Die Ergebnisse dieses Kapitels bilden die Grundlage für die Standortwahl nachfolgender Nutzungskonzepte. Die hier verwendete Methodik wird für das Untersuchungsgebiet Havelland angewandt, ist aber grundsätzlich auf andere Gebiete übertragbar.

4.1 Ziel

Ziel der Überlagerung von Biomassepotenzial und Wärmesenken ist die Identifikation geeigneter Standorte für Biomasseanlagen zur Wärme- und/oder Stromerzeugung. Dabei können der Betrachtungsebene entsprechend Räume identifiziert werden, innerhalb derer es besonders lohnenswert erscheint, eine Machbarkeitsstudie für ein konkretes Nutzungskonzept und eine konkrete Anlage durchzuführen. Diese Bereiche sollen sich durch kurze Transportdistanzen und die Möglichkeit hoher Wärmeabnahmen auszeichnen. Hierfür werden auch bestehende Brennstoffaufbereitungsanlagen (zum Beispiel Pelletwerke) einbezogen. Gleichermaßen werden auch die Standorte bestehender Biomasseanlagen berücksichtigt. Für diese Anlagen ist dann in einem weiteren Schritt zu prüfen, inwieweit die Substitution bestehender Biomassesortimente durch halmgutartige Biomassereststoffe möglich ist. Die Ergebnisse der Überlagerung von Biomassepotenzial und Wärmesenken sollen in Form einer Karte dargestellt werden. Im Vorhaben dienen die identifizierten Bereiche als Grundlage für die in Kapitel 5.3 und 6 zu entwickelnden exemplarischen Nutzungskonzepte.

4.2 Methodik

Die Analyse erfolgt mit Hilfe von ArcGIS. Die räumlichen Informationen zum Biomasseaufkommen werden mit denen zu relevanten Wärmesenken überlagert. Anschließend wird die daraus resultierende Karte (Abbildung 4-1) hinsichtlich günstiger Räume manuell ausgewertet. Für die Auswahl sind folgende Kriterien wesentlich:

- Entfernung zu Aufkommensschwerpunkten der Biomassesortimente Gras und Schilf
- Entfernung zu Betrieben, Einrichtungen und Haushalten mit potenziellem Wärmebedarf

Die beste Eignung für die Wärmerzeugung in Biomasseanlagen stellen dabei die Gebiete dar, deren Entfernung sowohl zu den Potenzialen der Einsatzstoffe als auch zu Gebieten mit hohem potenziellem Wärmebedarf jeweils möglichst gering ist.

Eingehende Daten sind die räumliche differenzierten Biomassepotenziale aus Kapitel 2 sowie die berechneten Wärmebedarfe aus Kapitel 3. Während die Potenzialergebnisse bereits als georeferenzierter Datensatz vorliegen, müssen die Wärmesenken für die Nutzung in ArcGIS zunächst in geographische Koordinaten konvertiert werden. Auf Grund der unterschiedlichen Wärmenutzungsstruktur (Höhe des Wärmebedarfs, Jahresverlauf der Wärmeabnahme etc.) wird zwischen den Wärmesenken Haushalten und Betriebe/ Einrichtungen unterschieden. Die Haushalte werden als Punkte dargestellt, wobei die Punkte in der geographischen Mitte der jeweiligen Gemeinde oder bei größeren Orten in der Mitte der Orte lokalisiert sind. Betriebe/ Einrichtungen werden als Rasterdaten dargestellt, wobei die Rasterdaten die aufsummierten Ergebnisse einzelner geographischer Gebiete enthalten.

4.3 Ergebnisse der Überlagerung

Für eine wirtschaftlich und ökologisch effiziente Nutzung des Grünguts sind kurze Transportwege bei der Beschaffung des Grünguts besonders wichtig. Aus diesem Grund bietet sich die Wärme- und Stromerzeugung vor allem in Gebieten mit konzentriertem Biomasseaufkommen an.

Insgesamt besteht für die energetische Nutzung im Untersuchungsgebiet ein Potenzial von ca. 40.800 t TM/a (Tabelle 2-14). Dies entspricht bei einem durchschnittlichen Heizwert von 4,8 MWh/t [73] einer möglichen Wärmeerzeugung von rund 0,2 TWh/a. Der gesamte Wärmebedarf im Untersuchungsgebiet beträgt dagegen rund 5,1 TWh/a (Tabelle 3-10). Der Vergleich der möglichen Wärmeerzeugung und des Wärmebedarfs der Region zeigt deutlich, dass der Wärmebedarf selbst bei kompletter Nutzung des zur Verfügung stehenden Grünguts nicht gedeckt werden kann. Ebenso wird das Potenzial durch die Einbeziehung von Konversionsverlusten sowie die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme nochmals verringert.

Bei der Überlagerung der Biomassekonzentrationen mit den Wärmesenken in der Untersuchungsregion wird zuerst deutlich, dass sich die halmgutartigen Biomassepotenziale vor allem im nordwestlichen Teil konzentrieren, während sich der Großteil der Wärmesenken im südlichen Teil befindet (Abbildung 4-1). Vor allem die wärmenutzenden Betriebe und Einrichtungen, welche oft einen hohen Wärmebedarf über mehrere Monate verzeichnen, kommen größtenteils in Potsdam und der Stadt Brandenburg an der Havel vor.

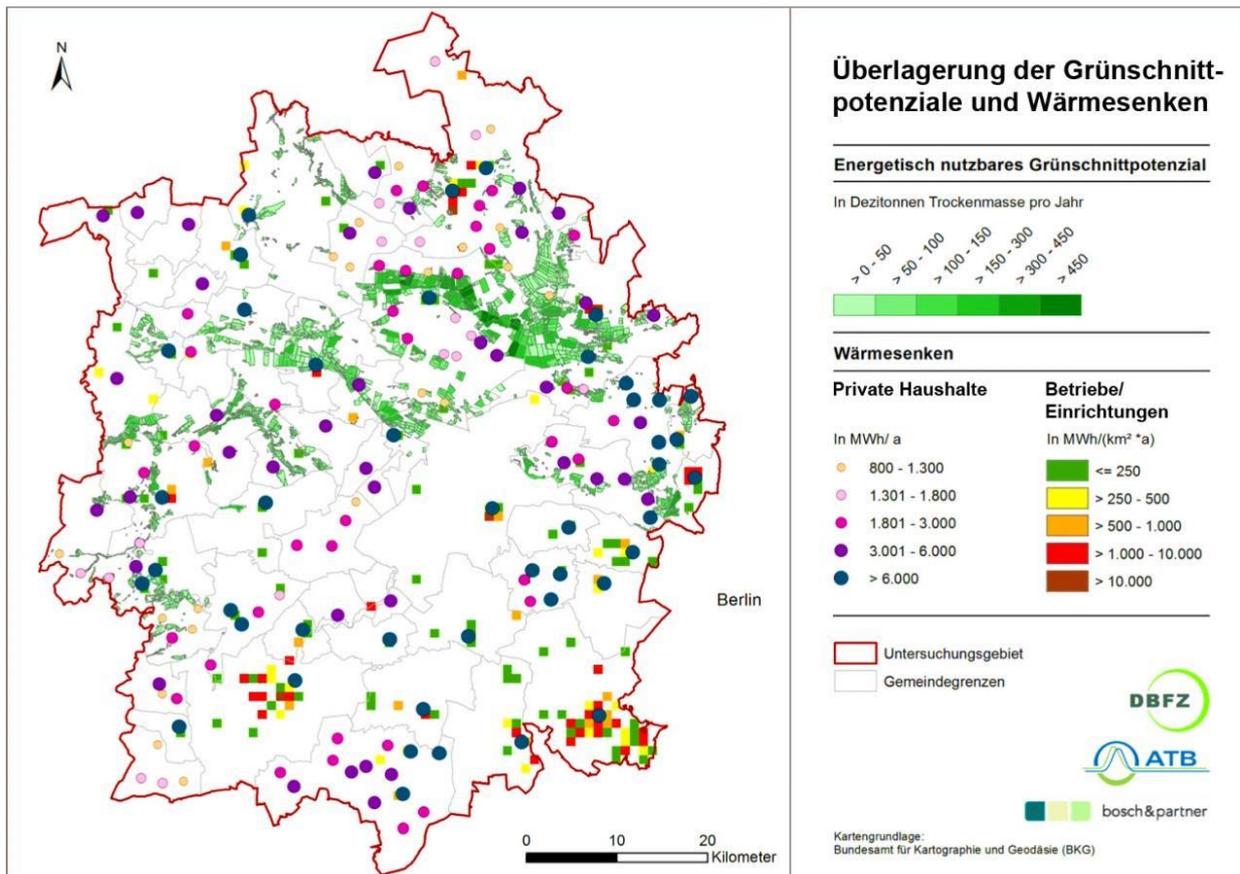


Abbildung 4-1: Kartographische Gegenüberstellung von Grüngutpotenzialen und bestehenden Wärmesenken (Abbildung: DBFZ)

Anhand der Überlagerung von Grüngutpotenzial und potenziellen Wärmenutzern prinzipiell geeignete Bereiche für den Einsatz von Gras und Schilf zur Wärmeerzeugung ergeben sich zum einen in kleinen dezentralen Biomasseanlagen (< 100 kW_{th}) oder in größeren Biomasseanlagen, die größere Objekte versorgen oder dezentral Wärme bereitstellen. Dezentrale kleine Biomasseanlagen können im Havelland nahezu flächendeckend eingesetzt werden, da deren Kapazität an den individuellen Wärmebedarf angepasst werden kann und der Bedarf an Einsatzstoffen vergleichsweise gering ist und somit schon kleine Grünland-, Gewässerrand- und Biotopflächen zur Bereitstellung ausreichen und somit von kurzen Transportentfernungen auszugehen ist. Für größere Anlagen bedarf es einer sorgfältigen Standortauswahl. Bei genauerer Betrachtung lassen sich Räume mit einer größeren Anzahl von Haushalten oder auch Betriebe und Einrichtungen mit hohem Wärmebedarf identifizieren, die in direktem räumlichen Zusammenhang zu Konzentrationspunkten des Grüngutaufkommens liegen (Abbildung 4-1). Entsprechend sollte sich die energetische Nutzung des Grünguts auf diese Konzentrationsgebiete (Hotspots) des Biomassepotenzials konzentrieren, sodass die Transportdistanzen in der Summe möglichst kurz gehalten werden. Besonders attraktiv sind hierfür Standorte wie Fehrbellin, Kremmen, Rhinow und Friesack. In den Städten befinden sich neben einer höheren Einwohnerdichte auch Nahwärmenetze, die in ein Energiekonzept auf der Basis von Überschussgrünland und Biomasse aus der Gewässerunterhaltung einbezogen werden könnten. Weiterhin ist die Versorgung von Betrieben und Einrichtungen, die über eine über das Jahr hinweg konstanten und hohen Wärmebedarf verfügen. Entsprechende Betriebe und Einrichtungen sind auch in grüngutpotenzialreichen Gebieten zu finden. In diesen Gebieten befinden sich zum Teil bereits

Biomasseanlagen (vgl. Abbildung 3-1: Anlagenstandorte von Biomasseheizkraftwerke (BMHKW) und Biomasseheizwerke (BMHW) Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2). Für diese ist die mögliche Substitution der bisher verwendeten Substrate durch Grüngut zu überprüfen.

4.4 Methodendiskussion, Forschungs- und Handlungsbedarf

Insgesamt eignen sich die Ergebnisse mit den vorhandenen Daten aus dem Untersuchungsgebiet sehr gut für eine erste Auswahl von geeigneten Standorten beziehungsweise die Bewertung der Standorte bestehender Biomasseanlage hinsichtlich deren Belieferung mit Grüngut und der Möglichkeit der Wärmeabgabe. Dabei gibt die hier angewandte Methode einen guten Überblick über vorzügliche Standorte von Biomasseanlagen und bietet auch einen ersten Ansatz zur Projektierung von konkreten Anlagen. Zur genaueren Planung bedarf es jedoch detaillierter und vollständiger Daten, sowie weitere relevante Angaben zu Besitzverhältnissen, Infrastruktur, lokale Förderprogramme etc. Eine genaue Standortanalyse kann diese Methode in dieser Ausbaustufe daher nicht bieten.

5 Einsatz von Heu in Verbrennungsanlagen

Die Verbrennung von Heu stellt einen wesentlichen Konversionspfad bei der Analyse zur energetischen Nutzung dieser Biomassefraktion dar und wird in Deutschland schon seit längerer Zeit diskutiert. In der Praxis hat dieser Konversionspfad jedoch bisher kaum Relevanz, da Heu verbrennungstechnische Herausforderungen mit sich bringt, die bisher technisch nur schwer beherrschbar waren.

Vor diesem Hintergrund wurde in diesem Projekt die Pelletierung von Heu als Mittel der Brennstoffoptimierung untersucht. Die Pelletierung von Heu und Gräsern ist im Wesentlichen aus der Landwirtschaft bekannt und unter den in diesem Anwendungsfall gegebenen Rahmenbedingungen Stand der Wissenschaft und Technik. Mit der Bereitstellung eines Brennstoffs aus Heu beziehungsweise getrocknetem Gras ändern sich aber die Anforderungen an das Produkt. Insbesondere die physikalisch-mechanischen und chemischen Eigenschaften stellen aus verbrennungs-technischer Sicht abweichende Anforderungen. Vor diesem Hintergrund gilt es, den Prozess der Pelletherstellung aus Sicht der Nutzung als Brennstoff zu betrachten und umsetzbare Konzepte zur Brennstoffbereitstellung zu entwickeln (Kapitel 5.1.)

Da bisher kaum Erfahrungen bei der Verbrennung von Heu vorliegen, werden mögliche Problemfelder, die immer wieder zu technischen Störungen bei der Strohverbrennung führen, aufgezeigt. Anschließend werden verschiedene Anlagen und deren Komponenten vorgestellt, die für eine Verbrennung von Häckselgut beziehungsweise pelletiertem Material geeignet sind (Kapitel 5.1.5).

Bei der Entwicklung von übertragbaren Konzepten werden auf die regionalen und technischen Voraussetzungen eingegangen. So sollen speziell Heizwerke zur Versorgung von größeren Objekten in der ländlichen Region sowie zur Versorgung von kleineren Siedlungseinheiten und Betrieben entwickelt werden (Kapitel 5.3).

5.1 Pelletierung

5.1.1 Administrative Rahmenbedingungen

Zu den administrativen Rahmenbedingungen zählen die Anforderungen an die Herstellung. Hierzu gehören insbesondere die bau- und sicherheitstechnischen Vorgaben. Diese sind bei der Planung einer Produktionsanlage zu beachten und mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

Für den Handel und den Einsatz von Pellets als Brennstoff sind die Brennstoffeigenschaften als Kriterium heranzuziehen. Die Verbrennungsqualität hängt stark von den chemischen Eigenschaften des Materials ab, die Zusammenhänge und Anforderungen werden in Kapitel 5 erläutert. Zur Beurteilung des Herstellungsprozesses und als Bewertungsgrundlage der Versuche dienen im Wesentlichen die durch den Prozess beeinflussbaren physikalisch-mechanischen Eigenschaften. Für die Einschätzung der Transport- und Lagerfähigkeit eines pelletierten Brennstoffs sind der Wassergehalt, die Schüttdichte, die mechanische Festigkeit, der Feinanteil und die Abmessungen der Pellets relevant. Die normative Einordnung der in den Versuchen hergestellten Pellets erfolgt anhand

der auf europäischer Ebene geltenden Norm DIN EN 14961-6. In dieser sind die Spezifikationen für nichtholzartige Pellets aufgelistet, zu denen auch halmgutartige Biomassen wie das untersuchte Heu zählen. In Tabelle 5-1 sind normative Vorgaben aufgelistet, welche im Weiteren zur Einordnung herangezogen werden.

Tabelle 5-1: Ausgewählte normative Anforderungen gemäß DIN EN 14961-6

Parameter	Maßeinheit	DIN EN 14961-6	
		Klasse A	Klasse B
Durchmesser, <i>D</i>	mm	6 bis 25 mm ± 1	6 bis 25 mm ± 1
Länge, <i>L</i>	mm	≤ 40 (D 6 bis 10 mm) ≤ 50 (D 12 bis 25 mm)	≤ 40 (D 6 bis 10 mm) ≤ 50 (D 12 bis 25 mm)
Schüttdichte, <i>BD</i>	kg/m ³	≥ 600	≥ 600
Mechanische Festigkeit, <i>DU</i>	Ma.-%	≥ 97,5	≥ 96,0
Wassergehalt, <i>M</i>	Ma.-%	≤ 12	≤ 15

5.1.2 Stand der Technik

Der technische Prozess der Pelletierung beginnt mit der Bereitstellung gepressten Heus und lässt sich im Wesentlichen in sechs Teilschritte untergliedern: Trocknung, Zerkleinerung, Konditionierung, Pelletierung sowie Kühlung und Absieben (Abbildung 5-1).

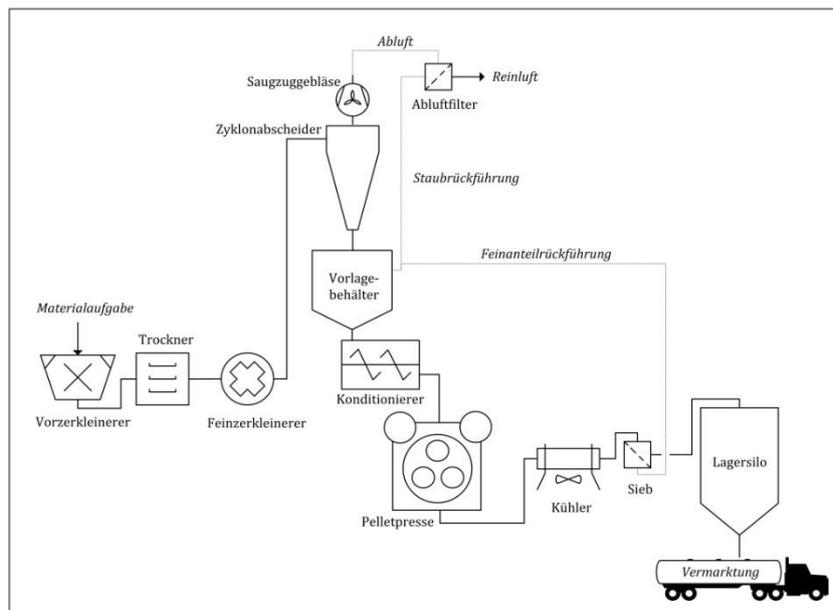


Abbildung 5-1: Fließbild einer Pelletproduktion (Abbildung: DBFZ)

Bei der Herstellung von Holzpellets wird der Rohstoff meist als Reststoff vorheriger Prozesse angeliefert. Heu wird in der Regel trocken geborgen, um die Lagerfähigkeit des Materials zu ermöglichen. Daher muss die Trocknung nicht betrachtet werden.

Zerkleinerung

Die wesentlichen Aufgaben der Zerkleinerung sind einen einheitlichen Feinheitsgrad herzustellen und das Ausgangsmaterial zu homogenisieren. Für die Herstellung von Pellets mit 6 mm Durchmesser wird als Richtwert eine Korngröße von < 4 mm angestrebt [74], auf der Basis von Erfahrungswerten sollte die Korngröße der Aufmahlung stets geringer sein als der Durchmesser des Presskanals beziehungsweise der Pellets. Bei der Auswahl der Sieblochweite ist ein Optimum anzustreben, da mit Verringerung der Siebweite der spezifische Energieeintrag steigt.

Heu wird in der Regel in Ballen angeliefert. Diese müssen zur weiteren Verarbeitung aufgelöst und zerkleinert werden. Abbildung 5-2 zeigt die Wirkungsweise verschiedener Ballenauflöser.

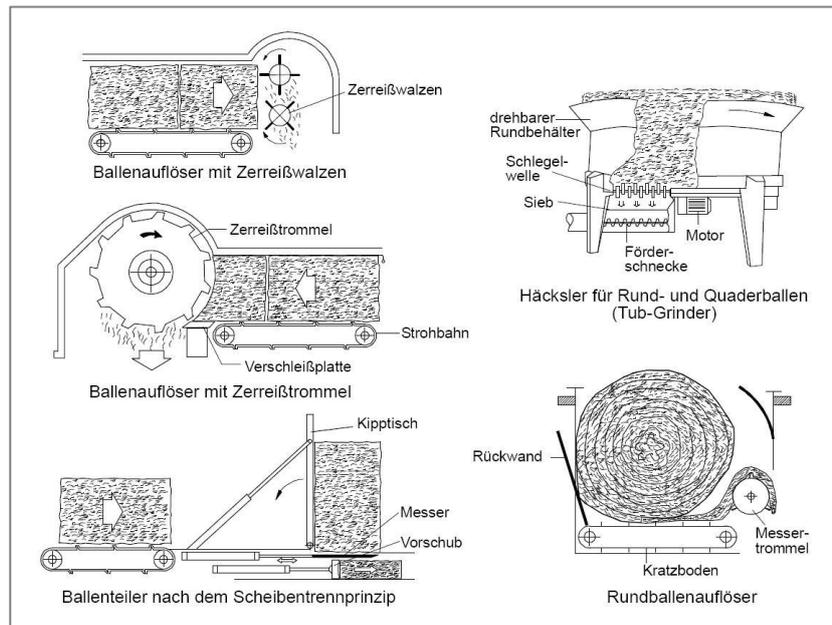


Abbildung 5-2: Wirkungsweise verschiedener Ballenauflöser (Abbildung: [75])

Im Wesentlichen haben Ballenauflöser die Aufgabe das kompaktierte Material in das lose Ausgangsmaterial mit der entsprechend geringeren Dichte zurückzuführen. Die Form der Ballen wird aufgelöst und das Material weiter zerkleinert. Als Zerkleinerungswerkzeuge werden Reißwalzen, Reißstrommeln, Messer, Schlegel oder Kratzböden verwendet. Anschließend wird das vorzerkleinerte Material pneumatisch zum nächsten Prozessschritt gefördert.

Bei der Auswahl der weiteren Zerkleinerungstechnik gilt es die folgenden Anforderungen zu erfüllen [76]:

- die Zerkleinerungstechnik muss auf die eingesetzten Rohstoffe abgestimmt sein,
- erschwerende Einflüsse, wie Feuchteschwankungen dürfen keinen großen Einfluss auf den Durchsatz haben,
- möglichst hoher Automatisierungsgrad bei großtechnischen Anlagen,
- Energie- und Wartungskosten sollten gering und die Betriebssicherheit hoch sein,

entsprechend des nachfolgenden Prozessschrittes müssen die geforderten Eigenschaften erreicht werden.

Zur Zerkleinerung von faserreichen biogenen Feststoffen haben sich vor allem Hammer- und Schneidmühlen etabliert. Bei der industriellen Holzpelletierung werden hauptsächlich Hammermühlen eingesetzt. Über verschiedene Lochweiten des Austragsiebes kann die gewünschte Korngröße eingestellt werden. Die Korngröße des Ausgangsmaterials ist von großer Bedeutung für die Eigenschaften der Pellets, da auf diese Weise die Härte und Abriebfestigkeit beeinflusst werden. Die vergrößerte Oberfläche des Rohmaterials ermöglicht eine bessere Freisetzung der im Rohmaterial enthaltenen natürlichen Presshilfsmittel, zum Beispiel Lignin, Stärke oder Proteine. Außerdem sind

Fasern der Hauptgrund für formschlüssige Bindungen, wobei zu große Partikel im Pellet die Gefahr des Auseinanderbrechens erhöhen.

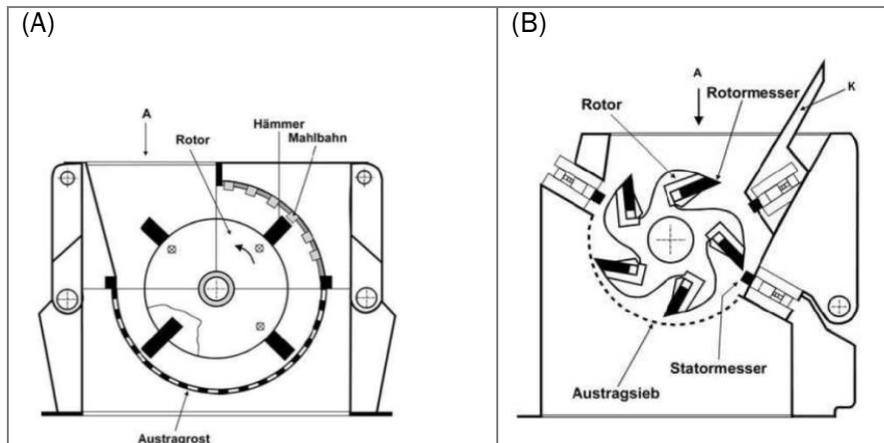


Abbildung 5-3: Schematische Darstellung von Hammermühle (A) und Schneidmühle (B) (Abbildung: [77])

Bei Hammermühlen sind an einem Rotor gelenkige Hämmer aufgehängt, die sich bei Betrieb radial nach außen einpendeln, Abbildung 5-3 (A). Diese zerschlagen das von oben eingeführte Aufgabegut. Sie eignen sich für einen relativ großen Partikelgrößenbereich von 0,2 mm bis 50 mm. Das Mahlgut kann mittelhart bis weich sein. Die Hammermühle ist eine Spezialform der Prallmühle, die sich dadurch auszeichnet, dass das Mahlgut durch Prall- und Schlagbeanspruchung zerkleinert wird. Schneidmühlen bestehen aus einem sich drehenden Rotor, an dem Messer angebracht sind (Abbildung 5-3 (B)). Im Gehäuse können sich weitere Festmesser befinden. Dadurch wird das ebenfalls von oben eingeführte Mahlgut zerkleinert. Sie besitzen einen geringeren Partikelgrößenbereich des Aufgabeguts von 0,8 mm bis 20 mm als Hammermühlen und eignen sich nicht für spröde, jedoch besonders für faserige Materialien [75], [77–79].

Konditionierung

Bei dem Prozessschritt der Konditionierung erfolgt die Zugabe von Wasser oder Dampf, um für die anschließende Kompaktierung die Bildung von Haftmechanismen durch Flüssigkeit nutzen zu können. Zur Verbesserung der Brennstoffeigenschaften besteht die Möglichkeit Binde-/Presshilfsmittel oder Additive dem Rohstoff beizumischen. Weitere wichtige Gründe für die Konditionierung des Ausgangsmaterials sind [80]:

- ausreichende Homogenisierung des Materials,
- Senkung des spezifischen Energiebedarfs der Pelletpresse,
- Durchsatzerhöhung in der Pelletpresse,
- Erhöhung der mechanischen Festigkeiten der Pellets.

Die Verwendung von Dampf dient neben der Anpassung des Wassergehalts auch der Temperaturerhöhung des Pressgutes. Abhängig vom Ausgangsmaterial verbessert sich die Ausbildung von Haft-

kräften, was zu einer höheren Festigkeit der Pellets führen kann. Zu beachten ist, dass mit der Dampfnutzung zusätzliche Bereitstellungskosten anfallen [80].

Wichtig bei der Konditionierung ist, dass der Wassergehalt nicht zu hoch angesetzt wird. Um eine hohe Lagerstabilität in Bezug auf den biologischen Abbau zu gewährleisten, sollte der Endwassergehalt der erzeugten Pellets 15 Ma.-% (gemäß DIN EN 14961-6 für halmgutartige Biomassepellets, Klasse B) nicht überschreiten. Durch die anschließenden Prozessschritte Pelletierung und Abkühlung ergibt sich durchschnittlich ein Wasserverlust von 2 – 4 Ma.-%. Wird der vorgegebene Wassergehalt überschritten, ist eine Nachtrocknung der Pellets erforderlich. Der Konditionierer ist ein Mischer, der meist als liegender Paddelmischer ausgeführt wird (Abbildung 5-4). Durch die verstellbaren Paddel wird eine gute Durchmischung und gleichmäßige Verteilung einzelner Komponenten erreicht.



Abbildung 5-4: Konditionierer im Technikum des DBFZ (Foto: DBFZ)

In Abhängigkeit der Länge des Mixers beträgt die Verweilzeit des Materials lediglich 10 – 20 Sekunden, wobei der Wassergehalt um maximal 4 Ma.-% erhöht werden kann [76]. Um den Wassergehalt weiter zu erhöhen, ist eine Langzeitkonditionierung von 10 – 30 Minuten in einem Reifebehälter notwendig.

Pelletierung

Pelletierung ist ein Agglomerationsprozess, bei dem durch Druck feinkörniges und/oder faseriges Material in ein stückiges Produkt mit gewünschtem Format und verbesserten Gebrauchseigenschaften verdichtet wird [81,82].

Wesentliche Vorteile von Pellets im Unterschied zu losem Material sind unter anderem:

- homogene Größenverteilung in der Brennstoffschüttung,
- hohe Energie- und Schüttdichte,
- gute Dosier- und Fließeigenschaften,
- hohe Lagerstabilität in Bezug auf den biologischen Abbau aufgrund des geringen Wassergehalts,
- sehr geringe Staubentwicklung bei Umlagerung,

- keine Gefahr der Entmischung und gleichbleibende Homogenität bei Pellets aus mehreren Komponenten,
- die Möglichkeit der Zumischung von Zuschlagsstoffen, welche das Abbrandverhalten beeinflussen können.

Ein wesentlicher Nachteil bei dem komplexen Produktionsprozess sind die Herstellungskosten. Diese stehen aber den hohen Transportkosten von losem Material beziehungsweise Ballen gegenüber und gestalten die Herstellung wirtschaftlicher [75].

Hauptelemente einer Pelletpresse sind die Matrize, welche mit Presskanälen versehen ist und die Koller, welche das Ausgangsmaterial durch die Presskanäle pressen. Für die Herstellung von Biomassepellets finden zumeist Kollergangpressen, ausgelegt als Ring- oder Flachmatrize, Anwendung. Sie unterscheiden sich in der Anordnung von Matrize und Koller. Tabelle 5-2 zeigt eine Gegenüberstellung beider Pressentypen.

Tabelle 5-2: Allgemeine Merkmale von Ring- und Flachmatrizenpressen

Merkmal	Ringmatrizen	Flachmatrizen
Form der Matrize	ringförmig	scheibenförmig
Form der Koller	zylindrisch	zylindrisch, konisch
Bewegung der Matrize	starr, rotierend	starr, rotierend
Anzahl der Koller	2 - 3	3 - 5
Materialzuführung	seitlich von oben	von oben

Bei einer Flachmatrizenpresse bewegen sich die Koller auf dem Materialteppich der feststehenden, horizontal angeordneten Matrize (Abbildung 5-5 (A)). Im kleintechnischen Bereich gibt es vereinzelt auch Typen mit rotierender Matrize und feststehenden Kollern. Neben zylindrischen können auch konische Koller genutzt werden. Bei zylindrischen Kollern findet der reine Abrollvorgang nur in der Mitte der Arbeitsfläche statt. In den Randzonen tritt eine Relativbewegung auf, was zu einer hohen Scherwirkung und der damit verbundenen verstärkten Zerkleinerung des Materials führt. Je nach Ausgangsmaterial ist dieser Effekt angestrebt, welcher allerdings das Material zusätzlich erwärmt. Für temperaturempfindliche Produkte werden daher konische Koller mit schräggestellten Achsen eingesetzt. Somit wird ein reines Abrollen auf der gesamten Arbeitsfläche der Matrize erzielt. Die erzeugten Pellets werden an der Unterseite der Matrize mit Hilfe eines Abschermessers auf die gewünschte Länge geschnitten. Bei Ringmatrizenpressen sind die Koller innerhalb der Matrize symmetrisch angeordnet (Abbildung 5-5 (A)). Zumeist wird die Matrize angetrieben und führt die Koller in ihrer Bewegung mit. Neben der gängigen, vertikalen Anordnung der Matrize ist auch eine horizontale Ausführung möglich. Die Zuführung des Pressmaterials erfolgt im Gegensatz zur Flachmatrizenpresse nicht im freien Fall, sondern von schräg oben.

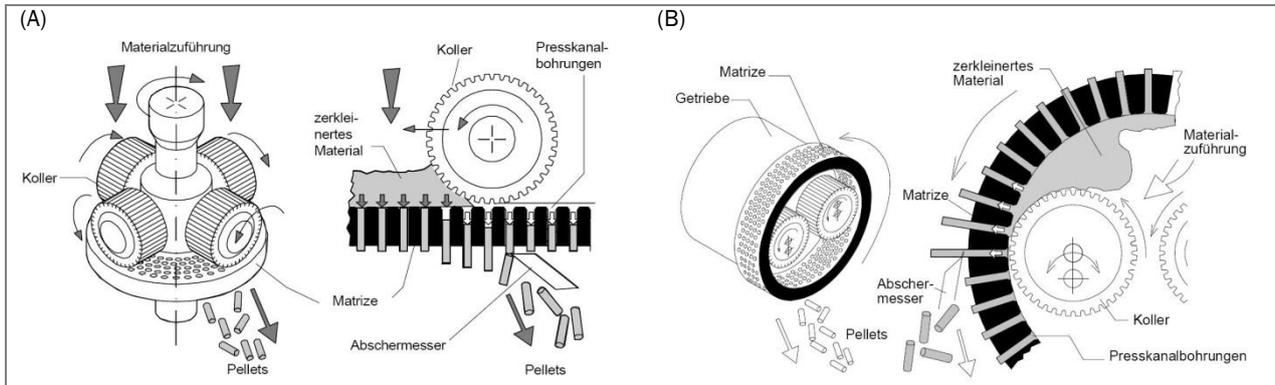


Abbildung 5-5: Arbeitsweise von Flach- (A) und Ringmatrizenpressen (B) (Abbildung: [75])

Bei schlecht fließenden Schüttgütern ist die Verwendung einer Zwangsspeisung in Form von zum Beispiel Förderschnecken notwendig. Mit Hilfe eines Abschermessers werden auch hier die Presslinge auf die gewünschte Länge gekürzt [80–82].

Kühlung

Das Kühlen der Pellets erfolgt nach der Pelletierung. Unmittelbar nach dem Pressvorgang können Presslinge Temperaturen von bis zu 130 °C aufweisen. Aufgrund des durch die Produktion erhöhten Wassergehalts und der Temperaturen sind die Pellets zu weich und feucht für Transport und Lagerung [74]. Durch Verdunstungskühlung werden die Pellets in einem Kühler mit Umgebungsluft abgekühlt. Bei einer Verringerung des Wassergehalts um 1–2 Ma.-% stellt dies auch einen positiven Nebeneffekt für die Nachrocknung dar. Zur Kühlung werden in der Praxis meist Gegenstromkühler eingesetzt, aber auch Fließbett- oder Bandkühler finden Anwendung.

Absieben

Nach der Kühlung werden die Pellets auf Schwing-, Kreis- oder Rotationssiebe gegeben um den produktionsbedingten Feinanteil, unverpresstes Material, Staub und die lose an den Pellets anhaftenden Partikel abzuscheiden. Das abgetrennte Material wird dem Produktionsprozess wieder zugeführt.

5.1.3 Stand der Wissenschaft und Praxis

Die Pelletierung ist ein intensiv erforschetes und etabliertes Verfahren aus der Futtermittelindustrie [76,80]. Diese wurde Ende des letzten Jahrhunderts zur Herstellung von Holzpellets weiterentwickelt [74,83]. Bei der Entwicklung alternativer Biomassebrennstoffe spielt der Pelletierprozess eine entscheidende Rolle. Jedoch treten große Unterschiede bei der Verarbeitung unterschiedlicher Rohstoffe und der Prozessführung auf, so dass die bisher gesammelten Erfahrungen für die Herstellung von Biomassepellets für die stoffliche und auch energetische Nutzung nicht vollständig auf jedes Material übertragbar sind.

Für eine optimale Pelletentwicklung sind zwei Parametergruppen von großer Bedeutung: zum einen die Rohstoff- und zum anderen die Prozessparameter. Beide Parametergruppen verfolgen das Ziel, Bindemechanismen im Pellet hervorzurufen, um definierte physikalisch-mechanische Eigenschaften zu erhalten. Diese Eigenschaften werden nur durch eine, auf den jeweiligen Rohstoff optimierte, Parameterkombination erreicht.

Als Rohstoffparameter sind unter anderem der Gehalt an materialeigenen Inhaltsstoffen, wie zum Beispiel Lignin- oder Stärke, welche die Funktion eines natürlichen Bindemittels besitzen relevant [84,85]. Während des Pelletierprozesses können die Temperaturen im Presskanal, in Abhängigkeit von Rohstoff und der erzeugten Reibung, Werte zwischen 90 °C und 130 °C erreichen [75,86]. Die Erweichungstemperatur von Lignin im Holz liegt zwischen 100 °C und 130 °C [87]. Eine Teilerweichung beginnt bereits ab 75 °C [88]. Die Verkleisterung der Stärke setzt bei 60 °C ein. Neben der chemischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials zählen alle Vorbehandlungsverfahren wie Zerkleinerung, Einstellung des Wassergehaltes, gegebenenfalls Vorwärmung sowie die Erzeugung einer homogenen Materialmischung zu den wichtigen Einflussgrößen. Neben gängigen Holzrohstoffen können verschiedenste biogene Materialien Basis für alternative Festbrennstoffe sein: Energiepflanzen wie Kurzumtriebsplantagenholz [89], Miscanthus [90] und Rutenhirse [89], aber auch Reststoffe wie zum Beispiel Stroh, Heu oder Rapspresskuchen [16,91–93]. Eine für die Pelletierung geeignete Korngrößenverteilung kann durch unterschiedliche Zerkleinerungsprozesse erfolgen. Hierbei kommen oft Hammer- oder Schneidmühlen zum Einsatz, die zumeist auch die energetisch günstigere Variante der Zerkleinerung sind. Aber auch Walzenstühle und Doppelschneckenextruder sind Gegenstand von Forschungsaktivitäten [93–97]. Weitere wichtige Rohstoffparameter stellen sich durch geeignete Konditionierverfahren ein, das heißt die Einstellung des optimalen Wassergehaltes durch Wasser- oder Dampfzugabe. Für jeden Rohstoff gibt es einen optimalen Wassergehalt, welcher für die Standard-Holzpelletherstellung laut verschiedener Produzenten bei etwa 12 Ma.-% liegt. Für die Pelletierung von Halmgütern wird er etwas höher angesetzt. Zum Beispiel zeigten Versuche zur Pelletierung von Luzerne mit Wassergehalten zwischen 8 – 14 Ma.-%, dass mit einem höheren Wassergehalt härtere Pellets erzeugt werden können [98,99]. Dies konnte auch bei der Pelletherstellung aus Rohrglanzgras, Heu, Stroh, Miscanthus oder Mischungen aus Stroh, Miscanthus und Kiefernholz beobachtet werden [92,100,101]. Der Wassergehalt kann auch durch Dampf in Verbindung mit einer zusätzlichen Materialvorwärmung erfolgen. Verschiedene Studien zeigen, dass durch eine Vorwärmung des Rohmaterials abriebfestere Pellets mit geringeren Feinanteilen erzeugt werden können [102]. Der Energiebedarf der reinen Pelletierung sinkt bei höheren Rohstofftemperaturen deutlich, wobei der Gesamtenergiebedarf aufgrund der energieintensiven Dampferzeugung oftmals steigt. Vergleichbare Effekte konnten auch andere Forschungsgruppen bei der Verarbeitung verschiedener Biomassen nachweisen [88,100,103,104].

Eine bessere Pelletierfähigkeit von schwer beziehungsweise kaum bindungsfähigen Materialien kann durch Zugabe von Bindemitteln erreicht werden. Ursachen für die schlechten Bindungseigenschaften sind oftmals unzureichende Haftkräfte zwischen den Partikeln oder kaum ausgeprägte Faserstrukturen, um formschlüssige Bindungen zu erzeugen. Die Zugabe von Bindemitteln wirkt dabei strukturunterstützend und bildet Festkörper- und Flüssigkeitsbrücken aus. Zusätze wie Erbsenstärke oder Lignosulfonate, Weizenmehl oder Melasse können die Abriebfestigkeit und Härte von verschiedenen Biomassepellets verbessern [92,103,105,106]. Nach Aussagen von Pelletproduzenten werden heute vorrangig handelsübliche Weizen-, Erbsen- oder Maisstärken als Binde- und gleichzeitig

als Presshilfsmittel bei der Holzpelletproduktion verwendet – neben einer gesteigerten Festigkeit ist zudem der Verschleiß der Pressorgane Koller und Matrize geringer.

Die zweite Parametergruppe sind die sogenannten Prozessparameter. Hierbei handelt es sich um technische Verfahrensgrößen, die durch die Prozessführung einer Pelletierung bestimmt werden.

Der Anpressdruck zwischen Koller und Matrize ist für die Erzeugung fester Pellets von entscheidender Bedeutung. Viele Forschungsgruppen versuchen diesen Parameter für verschiedene Biomassen mit unterschiedlichsten Rohstoffeigenschaften mit Hilfe von Einkanalstempelpressen nachzustellen [99,107–112]. Alle Untersuchungen zeigten bislang, dass sich die mechanischen Pelleteigenschaften bei steigendem Druck verbessern und es für jeden Rohstoff mit seinen spezifischen Eigenschaften einen optimalen Anpressdruck gibt. Doch stellt sich die Frage, wie übertragbar der durch Hydraulik erzeugte Druck auf das Kollergangverfahren ist. Ein weiterer Parameter ist die Geometrie der Matrize, das heißt das Verhältnis von Presskanallänge zu -durchmesser (l/d). Für die Pelletierung von halmgutartigen Biomassen werden höhere Verdichtungsverhältnisse als für holzartige Biomassen benötigt [74,103]. So werden für Luzerne mit $l/d = 7,31$ qualitativ hochwertigere Pellets erzeugt, als mit $l/d = 4,1$. Während für holzartige Biomassen l/d von 3 bis 5 am geeignetsten ist. Dies wird auch durch Pelletproduzenten bestätigt, die unterschiedliche Biomassen verarbeiten. Bei steigenden Presskanallängen steigt jedoch der Energieverbrauch der Presse an [113]. Die Pelletqualitäten, wie Festigkeit und Härte, können nur bis zu einem gewissen Punkt erhöht werden. Beim Überschreiten „fährt die Presse fest“, das heißt die Presse kann den entsprechenden Druck nicht mehr aufbringen und bleibt stehen und der Pelletierprozess wird abrupt unterbrochen. Neben der Matrizegeometrie hat ebenso der Abstand zwischen Koller und Matrize einen entscheidenden Einfluss auf den Pelletierdruck. Mit dieser Problematik befassen sich nur wenige Forschungsgruppen, da eine reproduzierbare Einstellung des Abstandes nur schwer möglich ist. Mit Hilfe sogenannter Fühllehren kann der Einfluss unterschiedlicher Stärken des Materialteppichs untersucht werden [90].

5.1.4 Pelletierversuche im Rahmen des Projekts

Die Datengrundlage zur Pelletierung von Heu zur energetischen Nutzung ist bis dato unzureichend. Um den Erfahrungsstand und eine spezifische Einordnung der im Projekt untersuchten Rohstoffe vorzunehmen, wurden im Rahmen des Projekts Pelletierversuche mit Rohmaterialien aus der Region Havelland durchgeführt.

Zielstellung und Vorgehen bei der Durchführung der Versuche

Mit dem Ziel qualitativ hochwertige Heupellets für eine energetische Nutzung zu erzeugen werden im Rahmen des Projektes fünf unterschiedliche Heuchargen aus der Region Havelland auf ihre Eignung als biogene Festbrennstoffe untersucht. Zunächst soll geklärt werden, inwieweit sich Heupellets unter Beachtung der für Halmgutpelletierung typischen Rohstoffparameter, wie Zerkleinerungsgrad und Ausgangswassergehalt, sowie den technischen Prozessparametern (Matrizegeometrie, Abstand Koller/Matrize, Pressen- und Förderleistung) herstellen lassen. Tabelle 5-3 listet die Parameter für die Heupelletierung mit Hilfe der am DBFZ vorhandenen Zerkleinerungs- und Pelletierungstechnik auf.

Tabelle 5-3: Rohstoff- und Prozessparameter der Pelletierversuche

Rohstoffparameter	
Zerkleinerung	Siebweite 4 mm Hammermühle
Variation Ausgangswassergehalt des Materials	10 – 18 Ma.-%
Prozessparameter der Ringmatrizenpressen (RMP) 250	
Matrizengeometrie (Durchmesser x Länge)	6 x 30 mm
Drehzahl Matrize	148/Minute
Abstand Koller/Matrize	0,25 mm

Nach Verifizierung der Parameter zur Eignung der Herstellung hochqualitativer Pellets wurden die in Tabelle 5-17 aufgeführten Heuchargen auf ihre Vergleichbarkeit hinsichtlich Pelletierung und den erzielten physikalisch-mechanischen Brennstoffeigenschaften untersucht.

Für den Einsatz in Kleinf Feuerungsanlagen eignen sich Pellets aufgrund ihrer höheren Schütt- und Energiedichte (Lager- und Transportkapazität) und der Möglichkeit, diese mit einem automatischen Beschickungssystem handzuhaben. Die Beanspruchung der Pellets entlang des Verwendungsweges erfordert die Einhaltung von Produkteigenschaften, um einen störungsfreien Betrieb zu gewährleisten. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurden im Rahmen des Projekts verschiedene systematische Pelletierversuche, vor allem mit Variation des Wassergehalts, durchgeführt.

Untersuchte Prozessschritte

Im Rahmen der Versuche am DBFZ wurden die folgenden Teilprozessschritte der Pelletherstellung im Technikumsmaßstab untersucht.

Zerkleinerung

Im europäischen Raum hat sich für den Einsatz in Feuerungsanlagen der Pelletdurchmesser von 6 mm etabliert. Hierzu wird, wie in Tabelle 5-3 beschrieben, eine Matrize mit 6 mm Presskanal zur Pelletierung verwendet. Nach Erfahrungswerten soll die Korngröße des zu pelletierenden Materials nicht über 4 mm liegen, daher wird zur Feinzerkleinerung ein Sieb mit 4 mm Maschenweite bei der Hammermühle eingesetzt. Das zu untersuchende Heu wurde in Quader- und Rundballen bereitgestellt, daher erfolgte zunächst eine Grobzerkleinerung mit einem Ballenauflöser. Dazu stand ein Stroh häcksler der Firma Hirlinger Landtechnik (Strohhexe) mit einem Siebeinsatz von 40 mm zur Verfügung. Anschließend erfolgte die Feinzerkleinerung mit einer Hammermühle vom Typ CHM 230/200 der Netzsch-Condux Mahltechnik GmbH. Die entsprechende Materialstruktur in Abhängigkeit der Zerkleinerungsstufe ist am Beispiel der Charge 1163 in Abbildung 5-6 dargestellt.

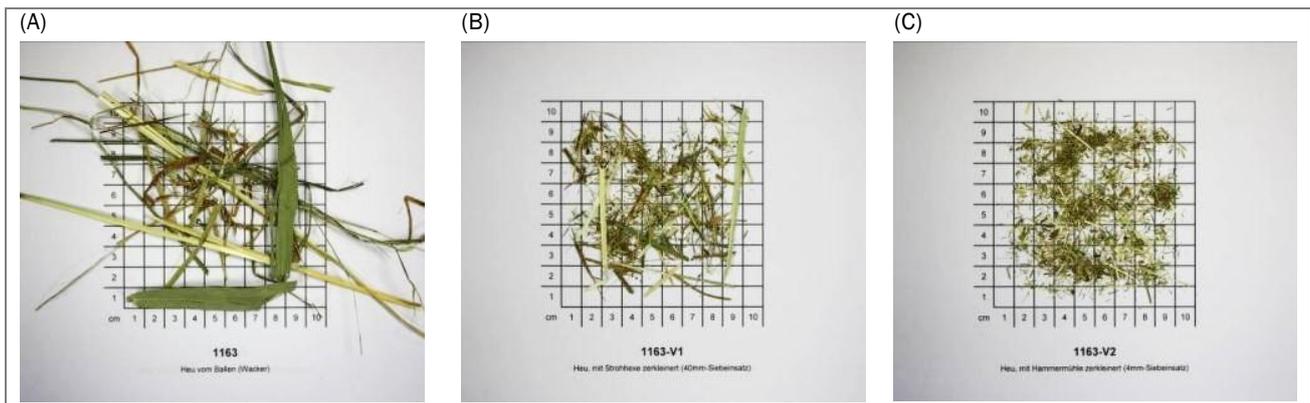


Abbildung 5-6: Zweistufige Zerkleinerung von Heu 1163; (A) Ausgangsmaterial aus Ballen, (B) nach Grobzerkleinerung, (C) nach Feinzerkleinerung (Fotos: DBFZ)

Konditionierung

Die Konditionierung des Ausgangsmaterials erfolgte mit einem Zwangsmischer. Bei einer Mischzeit von 15 Minuten und entsprechender Wasserzugabe wurden fünf verschiedene Wassergehalte zwischen 10 und 18 Ma.-% eingestellt. Ziel dieser Wassergehaltsvariation war es, bei gleichbleibenden Prozessparametern eine Abhängigkeit der physikalisch-mechanischen Brennstoffeigenschaften vom Ausgangswassergehalt aufzuzeigen. Bei der Untersuchung der additvierten Chargen wurden die Zugabestoffe in gelöster Form während der Konditionierung zugegeben. Die Einstellung des Wassergehalts erfolgte somit auf Grundlage der Menge Wasser des gelösten Additivs und der separat zuzugebenen Wassermenge während des Mischvorgangs.

Pelletierung

Die Pelletierversuche wurden mit einer Ringmatrizenpresse der Münch-Edelstahl GmbH durchgeführt. Die Maschine vom Typ RMP 250 hat eine Antriebsleistung von 15 kW. Für die Versuche wurde eine 6 mm-Matrize mit einer Presskanallänge von 30 mm eingesetzt.

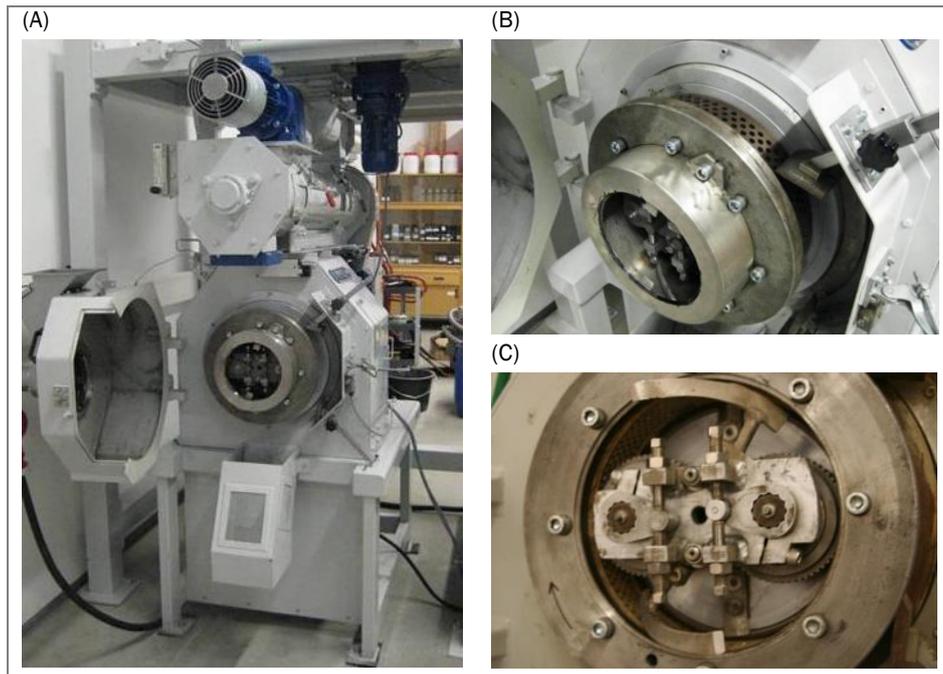


Abbildung 5-7: Pelletieranlage RMP 250 im Aufbereitungstechnik des DBFZ; (A) Gesamtanlage, (B) 6x30 mm Ringmatrize, (C) Pressraum und Koller (Fotos: DBFZ)

Zu Beginn der Versuche wurde die Maschine auf eine einheitliche Betriebstemperatur im Pressraum warm gefahren, um gleichbleibende Versuchsbedingungen zu gewährleisten. Anschließend wurden die Versuche mit den festgelegten Parametern durchgeführt. Exemplarisch ist in den folgenden Abbildungen eine Auswahl der hergestellten Pellets dargestellt.

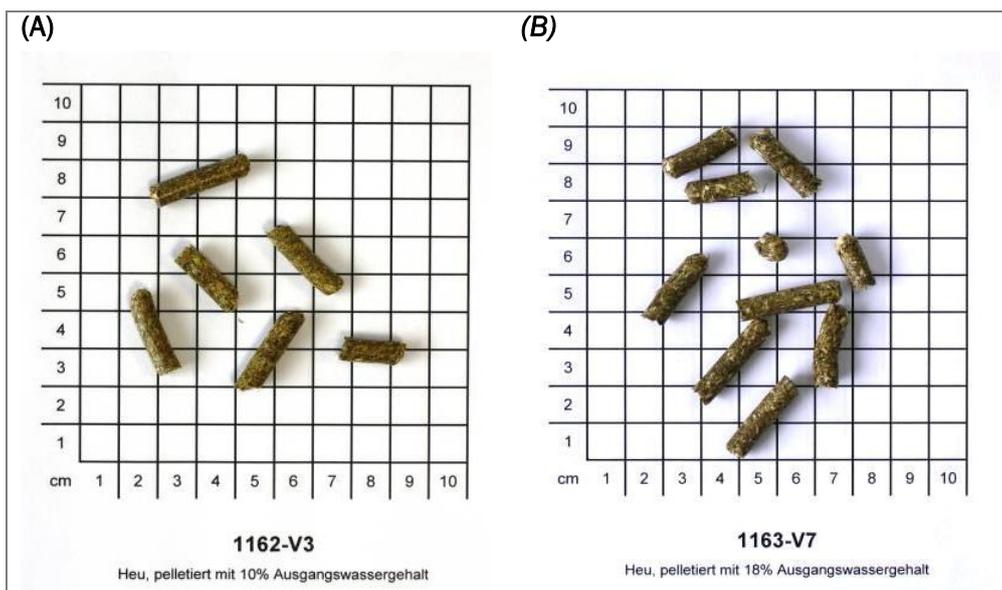


Abbildung 5-8: Pelletchargen, hergestellt mit verschiedenen Ausgangswassergehalten; (A) 10 Ma.-%, (B) 18 Ma.-% (Fotos: DBFZ)

Kühlung und Absiebung

Unmittelbar nach der Pelletierung wurden die erzeugten Pellets mit Hilfe eines Gegenstromkühlers abgekühlt. Nach einer Verweilzeit von etwa 30 min wurde der produktionsbedingte Feinanteil vor Absackung und Analyse der Pellets mit einem 3,15 mm-Sieb abgetrennt, welcher mit durchschnittlich 1 - 3 Ma.-% sehr gering war. Dieser Feinanteil würde in einem durchgängigen Produktionsprozess zurückgeführt werden.

Bewertung der durchgeführten Versuche

Pelletierung der Reinchargen

Im Folgenden werden Versuchsreihen mit den in Tabelle 5-17 dargestellten Heuchargen beschrieben, bei denen der Wassergehalt des Ausgangsmaterials als variierende Größe untersucht wurde. Im Gegensatz zu bestehenden Forschungsergebnissen (Kapitel 5.1.3) wirkten sich, im Vergleich zur Holzpelletierung erhöhte Ausgangswassergehalte nicht positiv auf die Schüttdichte und nur bei einer Charge positiv auf die mechanische Festigkeit aus. In der nachfolgenden Tabelle 5-4 sind die erzielten Ergebnisse der Untersuchungen im Technikumsmaßstab aufgeführt. Da sich die chemischen Brennstoffeigenschaften durch die im Rahmen dieses Projekts beschriebene Pelletierung nicht ändern, stehen zur Bewertung und Einordnung der Versuche die physikalisch-mechanischen Eigenschaften im Fokus. Als Ausgangswassergehalt wird in der nachfolgenden Diskussion der während der Konditionierung eingestellte Wassergehalt des Rohmaterials vor der Pelletierung verstanden. Der Verdichtungsfaktor errechnet sich aus der Schüttdichte vor der Pelletierung und der Schüttdichte der hergestellten Pellets anhand der folgenden Formel:

$$\text{Verdichtungsfaktor} = \frac{\text{Schüttdichte Pellets}}{\text{Schüttdichte Ausgangsmaterial}}$$

Je höher der Verdichtungsfaktor, desto höher ist die durch die Pelletierung erzielte Schüttdichte der Pellets. Gleichzeitig steigt die volumenbezogene Energiedichte.

Tabelle 5-4: Ergebnisse der Pelletierversuche mit Wassergehaltsvariation

Versuch	Charge	Wassergehaltsbereich Ausgangsmaterial in Ma.-%	Schüttdichte in kg/m ³	Verdichtungsfaktor	Mech. Festigkeit in Ma.-%
1.1	1162-V3	10,0	643	5,2	97,1
1.2	1162-V4	12,0	604	4,4	96,8
1.3	1162-V5	14,0	519	3,6	94,6
1.4	1162-V6	16,5	471	3,5	94,0
1.5	1162-V7	18,5	473	3,6	94,0
2.1	1163-V3	10,0	636	5,3	96,5
2.2.	1163-V4	12,0	642	4,6	98,8
2.3	1163-V5	14,0	620	4,4	98,7
2.4	1163-V6	16,5	591	4,2	98,7
2.5	1163-V7	18,5	542	4,2	96,7
3.1	1164-V3	10,0	661	5,1	98,4
3.2	1164-V4	12,0	598	4,2	96,8
3.3	1164-V5	14,0	564	4,0	96,0
3.4	1164-V6	16,5	532	4,1	95,9
3.5	1164-V7	18,5	448	3,5	91,8
4.1	1165-V3	10,0	670	4,4	97,9
4.2	1165-V4	12,0	584	3,3	96,3
4.3	1165-V5	14,0	568	3,5	96,5
4.4	1165-V6	16,5	543	3,5	96,8
4.5	1165-V7	18,5	584	3,9	95,1
5.1	1166-V3	10,0	665	5,2	98,4
5.2	1166-V4	12,0	608	4,5	97,4
5.3	1166-V5	14,0	502	3,7	94,6
5.4	1166-V6	16,5	568	4,1	96,5
5.5	1166-V7	18,5	462	3,5	94,9

Der spezifische Energiebedarf ist die massenbezogene Energie, die für die Herstellung der Pellets benötigt wurde. Die absoluten Zahlenwerte liegen über dem Niveau einer industriellen Pelletieranlage. Die Ursache dafür ist im Wesentlichen die Baugröße der Maschinen. Bedingt durch größere Durchmesser der Matrize wirken beispielsweise auch größere Rotations- und Fliehkräfte im Pressraum auf das Material.

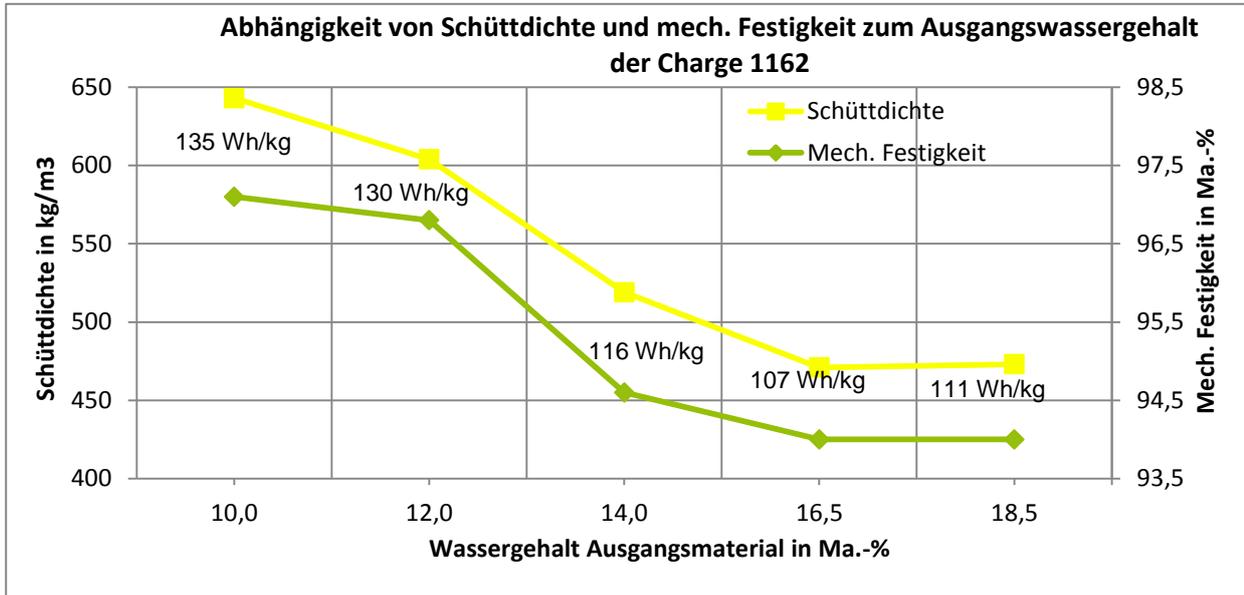


Abbildung 5-9: Einfluss des Ausgangswassergehalt auf die physikalisch-mechanischen Eigenschaften und den Energieeintrag der Charge 1162 (Abbildung: DBFZ)

Die Darstellung in Abbildung 5-9 verdeutlicht den Einfluss des Wassergehalts des Ausgangsmaterials auf die Qualität der Pellets. Für die Charge 1162 ist der geringste der verglichenen Wassergehalte zielführend, um eine möglichst hohe Schüttdichte und mechanische Festigkeit zu erlangen. Deutlich wird in der Abbildung auch, dass zur Herstellung hochqualitativer Pellets (hohe Festdichte, hohe mechanische Festigkeit, geringer Wassergehalt) entsprechend der nach Norm DIN EN 14961-6 sicherzustellenden Anforderungen auch ein hoher Energieeintrag notwendig ist.

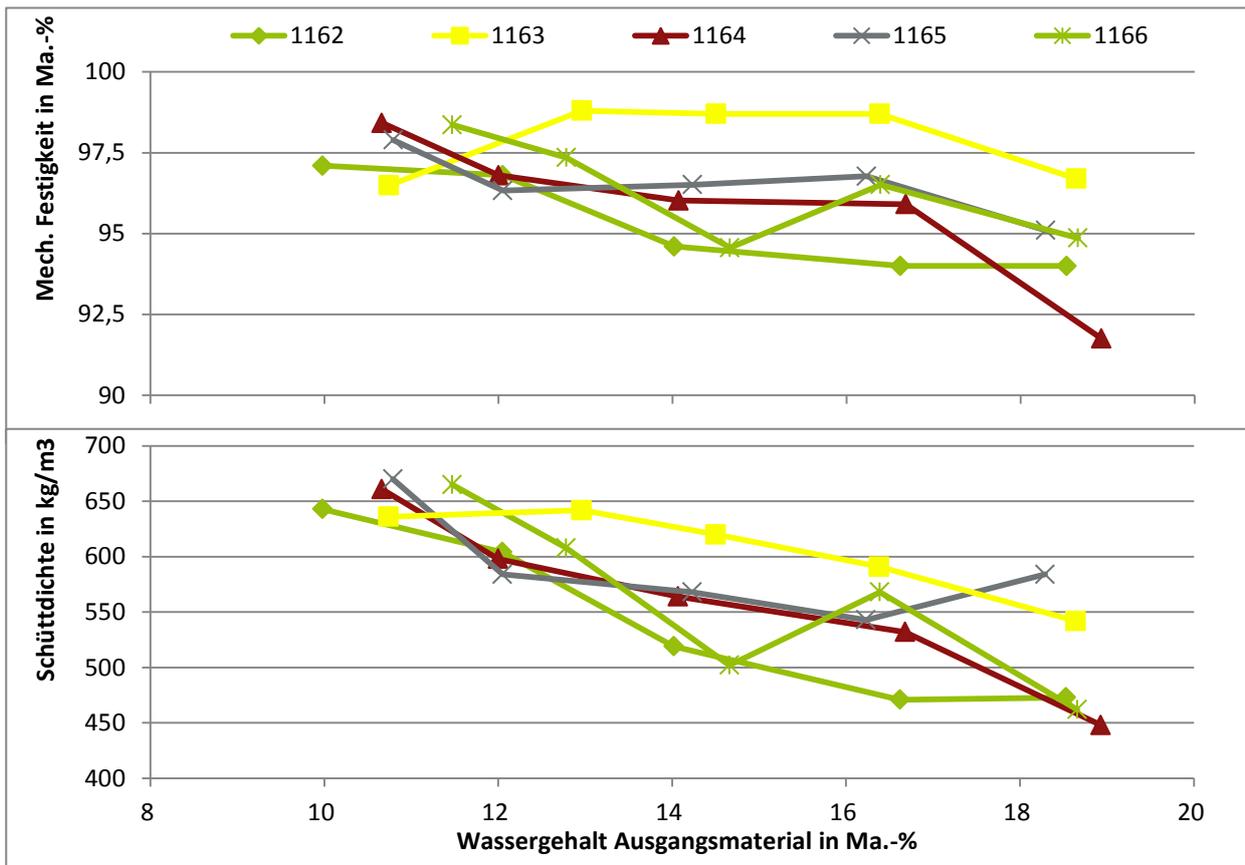


Abbildung 5-10: Mech. Festigkeit und Schüttdichte in Abhängigkeit des Ausgangswassergehalts der untersuchten Chargen (Abbildung: DBFZ)

In Abbildung 5-10 sind die mechanische Festigkeit und Schüttdichte aller hergestellten Pellets in Abhängigkeit des Ausgangswassergehaltes zusammengefasst. Bei dem geringsten untersuchten Wassergehalt im Ausgangsmaterial von 10 Ma.-% wird bei den Chargen 1164, 1165 und 1166 der nach Norm geforderte Wert für die mechanische Festigkeit und Schüttdichte erreicht. Larsson hat in seinen Untersuchungen ähnliche Effekte bei der Verringerung des Ausgangswassergehaltes bei der Pelletierung von Rohrglanzgras beobachtet [114]. Im Wesentlichen sind aufgrund der Struktur der Ausgangsmaterialien formschlüssige Verbindungen für die Festigkeit und Dichte der Pellets verantwortlich. Bedingt durch die nach der Feinzerkleinerung vorliegenden flexiblen Fasern und homogene Größenverteilung können mit einem geringeren Wassergehalt hochqualitative Pellets erzeugt werden. Bei anderen Biomassen (zum Beispiel Miscanthus, Stroh, Holz) ist ein höherer Wasseranteil zur Ausbildung von Bindungen notwendig. Mit zunehmendem Wassergehalt sinkt bei den Chargen 1164, 1165 und 1166 die mechanische Festigkeit und Schüttdichte. Der erhöhte Wassergehalt bewirkt in diesem Fall eine Absenkung der Gegenkraft im Presskanal, wirkt also ähnlich eines Schmiermittels. Durch die abgesenkte Reibung verringern sich dabei auch der spezifische Energieeintrag und damit einhergehend auch die mechanische Festigkeit. Dass der Wassergehalt rohstoffspezifisch angepasst beziehungsweise optimiert werden muss, verdeutlicht Tabelle 5-4 und die graphische Darstellung in Abbildung 5-10. Alle Chargen erreichen bei 10 - 12 Ma.-% Ausgangswassergehalt die von der Norm geforderten Schüttdichten. Dagegen konnten die geforderten mech. Festigkeiten bei den gewählten Prozessparametern nur von Charge 1164, 1165 und 1166 erreicht werden. Die Charge 1163 erreicht bei einer Erhöhung des Ausgangswassergehalts auf

12 Ma.-% die von der Norm geforderten Werte. Dagegen führt bei Charge 1162 die Erhöhung des Ausgangswassergehalts zu einer Verschlechterung von Schüttdichte und Festigkeit. Um die in der Norm aufgeführten Werte zu erreichen sind für diese Charge daher weitere Prozessoptimierungen notwendig.

Pelletierung der additivierten Chargen

Um die verbrennungstechnischen Eigenschaften der vorliegenden Brennstoffe zu optimieren, sind im Rahmen des Projekts Pelletier- und Verbrennungsversuche mit additivierten Heuchargen durchgeführt wurden. Den Hintergrund aus Sicht der Verbrennung beschreibt das Kapitel 5.2.1.

Als Voruntersuchung für die darauf aufbauenden Verbrennungsversuche wurden die folgenden Additive und deren Einfluss auf die Pelletierung betrachtet:

- Calciumhydroxid Ca(OH)_2 ,
- Calciumcarbonat CaCO_3 ,
- Kaolin (magnesiumhaltiger Kalkstein) $\text{CaMg(CaO}_3)_2$.

Für die im Folgenden aufgeführten Pelletierversuche wurde die Charge 1162 verwendet, welche auch für die Verbrennungsversuche eingesetzt wurde. Als variierende Größe dieser Versuche wurden die drei aufgeführten Additive mit 1 bis 3 Ma.-% zugegeben. Der Ausgangswassergehalt betrug in diesen Versuchen 13 Ma.-%, die Erhöhung resultiert aus der Zugabe des Additivs in gelöster Form. Die weiteren Parameter wurden für die Versuche konstant gehalten.

Tabelle 5-5: Ergebnisse der Pelletierversuche mit Additiven: Schüttdichte, Verdichtungsfaktor und mechanische Festigkeit

Charge	Additiv	Schüttdichte in kg/m ³	Verdichtungsfaktor	Mechanische Festigkeit in Ma.-%
1162-V8	1 Ma.-% Ca(OH) ₂	667	5,1	97,8
1162-V9	2 Ma.-% Ca(OH) ₂	600	4,6	98,2
1162-V10	3 Ma.-% Ca(OH) ₂	669	5,2	98,6
1162-V11	1 Ma.-% CaCO ₃	682	4,8	97,8
1162-V12	2 Ma.-% CaCO ₃	684	4,7	98,0
1162-V13	3 Ma.-% CaCO ₃	698	4,9	98,2
1162-V14	1 Ma.-% Kaolin	688	4,8	97,6
1162-V15	2 Ma.-% Kaolin	682	4,7	97,8
1162-V16	3 Ma.-% Kaolin	701	5,1	98,0

Die Additive zeigen bei keinem der Versuche einen negativen Einfluss auf Schüttdichte und mechanische Festigkeit. Im Vergleich zu den Reinchargen (vgl. Tabelle 5-4) werden diese sogar verbessert. Bedingt durch die Struktur der Additive wird die Ausbildung von Bindungen durch auskristallisierende Zuschlagstoffe und formschlüssige Bindungen begünstigt. Bei der Herstellung größerer Chargen mit mineralischen Additiven ist mit einem erhöhten Verschleiß an der Anlagentechnik zu rechnen. Dies verdeutlicht beispielsweise der Aschegehalt (Tabelle 5-20).

Aufgrund der im Vergleich zu den normativen Vorgaben positiven physikalisch-mechanischen Eigenschaften ergibt sich bezüglich dieser Eigenschaften bei der Pelletierung von additivierten Heuchargen kein Optimierungsbedarf.

5.1.5 Technische Konzepte zur Heupelletierung

Im Folgenden werden vier Varianten von Pelletierungskonzepten beschrieben und auf ihre grundsätzliche Eignung für eine Nutzung im Havelland analysiert. Neben den Investitionskosten werden dabei vor allem der Personalbedarf, der Stand der Technik sowie die Flexibilität der einzelnen Varianten betrachtet. Wie in Abbildung 5-11 dargestellt, werden für die Produktion qualitativ hochwertiger Brennstoffpellets aus Heu gemäß der neuen europäischen Produktnorm für Halmgutpellets (EN 14961, Teil 6 [115]) verschiedene aufeinander abgestimmte Komponenten benötigt.

Bei existierenden Pelletieranlagen, die für die Produktion von Futtermittelpellets konzipiert wurden, wurde zum Teil aus Kostengründen auf die Integration von Anlagen zur Kühlung verzichtet. Bei einer fehlenden Kühlung nimmt jedoch die Festigkeit der Pellets ab und der Feinanteil (Partikel < 3,15mm) zu. Da der Feinanteil beim Handel mit Futtermittelpellets keine Rolle spielt, wurde oft auch auf die

Montage einer ausreichend dimensionierten Siebanlage für dessen Abscheidung verzichtet. Bei der Beurteilung der untersuchten Varianten, wurde deswegen auf das Vorhandensein dieser Komponenten besonders Wert gelegt. In Abbildung 5-11 sind alle wesentlichen Komponenten einer Heupelletierungsanlage dargestellt. Der Einsatz eines Trockners empfiehlt sich, wenn der Wassergehalt des Rohstoffs die Lagerfähigkeit einschränkt.

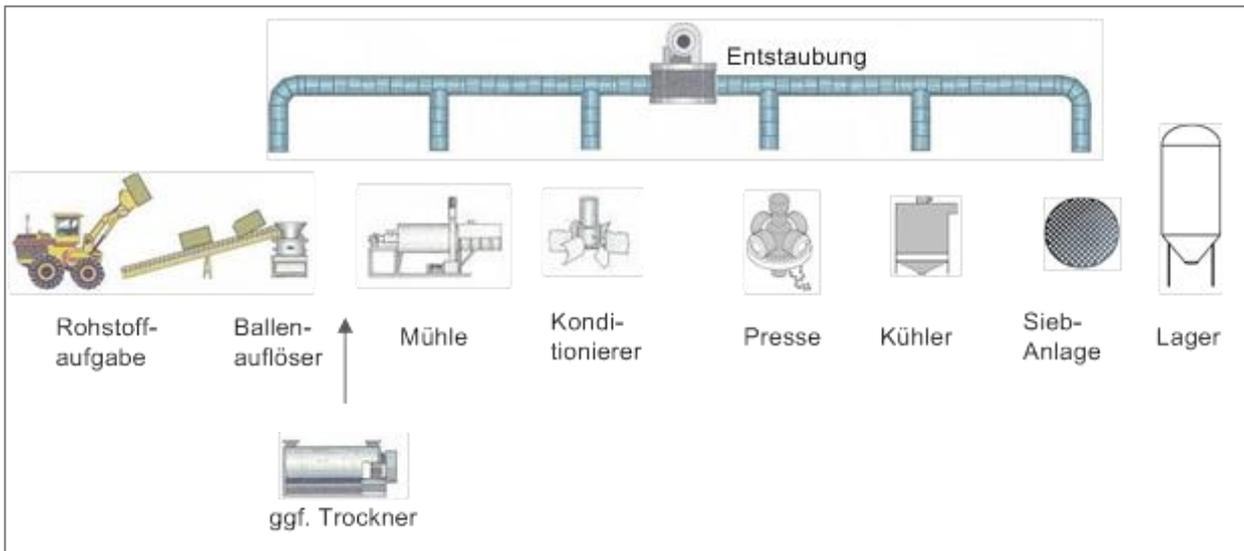


Abbildung 5-11: Schematischer Aufbau einer Anlage zur Heupelletierung (Abbildung : [116])

Für ein wirtschaftliches Gesamtsystem ist die Anpassung auf örtliche Gegebenheiten unabdingbar. Bei der Untersuchung verschiedener Konzepte für die Produktion von Heupellets müssen daher folgende Einflussgrößen berücksichtigt werden:

- Eigenschaften, zeitlicher Anfall und räumliche Verteilung des Rohstoffes
- Räumliche Verteilung der (potenziellen) Abnehmer von Heupellets
- Kooperationsbereitschaft der Akteure
- Vorhandene Infrastruktur (Lagerung, etc.) und Peripherie (Radlader, etc.)

Im Folgenden werden vier Optionen der Pelletierung (siehe Abbildung 5-12) näher untersucht und bewertet. Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob die Anlagen von Landwirten selbst betrieben werden sollen oder ob die Pelletierung durch ein Lohnunternehmen erfolgt.

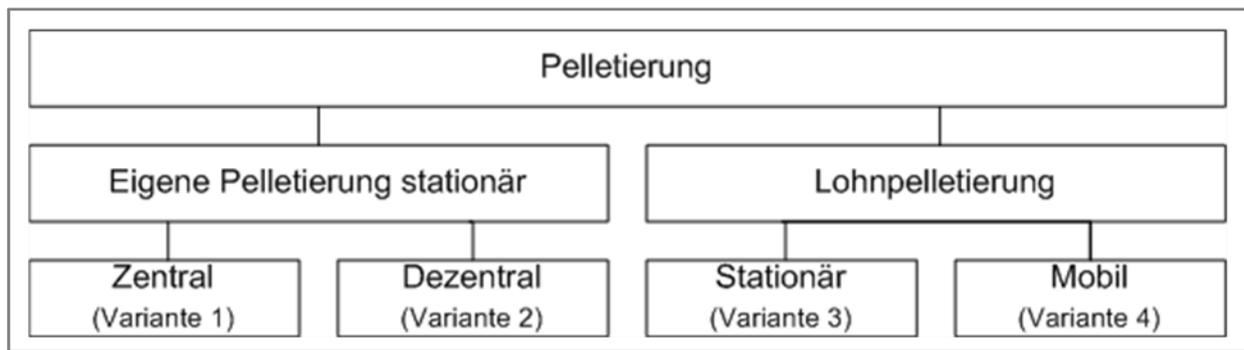


Abbildung 5-12: Untersuchte Varianten der Pelletierung (Abbildung: DBFZ)

In einen landwirtschaftlichen Betrieb könnte vor allem die Variante 2 integriert werden. Bei Variante 4 kann die Pelletierung auf der Hofstelle stattfinden, der Betreiber der Pelletierungseinheit ist in der Regel aber kein Landwirt, sondern ein Lohnunternehmer oder Maschinenring. Die Variante 1 erreicht einen vergleichsweise hohen Durchsatz und kann daher nur in den Betriebsablauf von sehr großen Grünlandbetrieben oder Betriebszusammenschlüssen integriert werden. Die stationäre Lohnpelletierung (Variante 3) findet bei großen Pelletwerken statt und ist daher extern anzusiedeln.

Eigene Pelletierung stationär, zentral (Variante 1)

Bei dieser Variante wird an einer zentralen Stelle im Projektgebiet, die gut von den Herkunftsflächen des Heus erreichbar ist und möglichst nah bei den Verbrauchern liegt, eine Pelletproduktionsanlage errichtet. Damit kann ein Großteil des zur Verfügung stehenden Heus pelletiert werden. Betreiber könnte beispielsweise ein größerer landwirtschaftlicher Betrieb oder eine Agrar-genossenschaft sein. Die Größe der zu errichtenden Anlage hängt maßgeblich von der Menge des verfügbaren Materials und der Absatzmöglichkeit der produzierten Pellets ab. Aufgrund des saisonalen Anfalls des Rohstoffes muss überlegt werden, ob eine kleinere Anlage das ganze Jahr oder eine größere Anlage, die zeitnah sämtliches geerntetes Heu verarbeitet, betrieben wird. Von Nachteil ist bei der letzten Variante die hohe finanzielle Belastung durch die Investitionskosten.

Die meisten größeren Pellet-Produktionsanlagen sind auf einem hohen technischen Stand. Es gibt mehrere namhafte Hersteller von entsprechenden Anlagenkomponenten und Ingenieurbüros, die sich auf den Bau und die Optimierung von Pellet-Produktionslinien spezialisiert haben. Zwar steht die Produktion von Energiepellets aus Heu erst am Anfang, es kann jedoch auf Erfahrungen sowohl aus der Produktion von Holzpellets als auch aus der Herstellung von Futtermittelpellets zurückgegriffen werden.

Hersteller von kompletten Produktionslinien zur Herstellung von Brennstoffpellets aus verschiedenen Rohstoffen sind zum Beispiel (Auswahl):

- Salmatec GmbH⁴ (Ringmatrizenpressen, Leistungsbereich: 0,5 - 4 t/Std)
- Amandus Kahl GmbH & Co⁵ (Flachmatrizenpressen, Leistungsbereich: ab 1 t/Std)
- Münch Edelstahl GmbH⁶ (Ringmatrizenpressen, Leistungsbereich: 0,2 - 10 t/Std)
- Firma Bühler AG⁷ (Ringmatrizenpressen, Leistungsbereich: 3 - 6 t/Std)

Trotz der positiven Ausgangslage muss betont werden, dass die Herstellung von qualitativ hochwertigen Energiepellets ein technisch sehr anspruchsvoller Prozess ist. Bei der Inbetriebnahme von neu errichteten Produktionsanlagen muss mit längeren Anpassungsphasen gerechnet werden, bis Durchsatz und Qualität optimiert sind. Dies zeigen auch die im Abschnitt 5.1.4 beschriebenen Versuchsreihen.



Abbildung 5-13: Anlage zur Pelletierung von Halmgut bei der Firma Agrarhandel Müller GbR in Dietingen-Böhringen (Foto: [117])

Abbildung 5-13 zeigt die Anlage der Firma Agrarhandel Müller GbR in Dietingen-Böhringen, mit der seit dem Jahr 2008 aus verregnetem, zur Fütterung nicht mehr geeignetem Heu Brennstoffpellets hergestellt werden. Die Anlage hat eine Jahreskapazität von 3.000 t [118].

Um die Anlagen besser auszulasten, ist es lohnenswert, über mögliche Alternativprodukte nachzudenken. Dafür kommen neben Holzpellets für die energetische Verwertung vor allem Futterpellets für die Tierhaltung in Betracht. Mögliche Produkte sind in Tabelle 5-5 aufgeführt. Ein mögliches Alternativprodukt wären Rohfaserpellets für die Verfütterung an Pferde, die aus hochwertigem Heu hergestellt werden können. Als Abnehmer kämen die mehr als 30 Reiterhöfe mit insgesamt ungefähr 4.000 Tieren in der Region in Betracht.

⁴ Salzhausener Maschinenbautechnik GmbH (www.salmatec.de)

⁵ Amandus Kahl GmbH & Co (www.amandus-kahl-group.de)

⁶ Münch Edelstahl GmbH (www.muench-gmbh.net)

⁷ Bühler AG; Feed & Oil Milling (www.buhlergroup.com)

Tabelle 5-6: Mögliche Alternativprodukte zur Erhöhung der Auslastung einer zentralen Pelletieranlage

Alternativprodukte	Potentielle Rohstofflieferanten	Potentielle Verbraucher	Einschätzung
Futtermittelpellets aus Heu oder Luzerne	Landwirte aus der Region	Landwirte, Reiterhöfe, Futtermittelhersteller	Keine oder nur geringe Umrüstung notwendig
Holzpellets (energetische oder stoffliche Nutzung)	Sägewerke, andere holzverarbeitende Betriebe, Forstbetriebe (Waldrestholz)	Pellethändler, Endverbraucher (Energiepellets), Reiterhöfe (Einstreu), Landwirtschaftliche Betriebe (Einstreu)	Umrüstung aufwändig

Die Abschätzung der Kosten für eine entsprechende zentrale Pelletproduktion gestaltet sich schwierig, da es bisher in Deutschland kaum Anlagen zur Herstellung hochwertiger Heupellets gibt.

Die Kalkulation beruht auf Zahlen der ABW UG Apoldaer Biomassewerk aus dem Jahr 2009 [93], die aktualisiert und den Gegebenheiten des Projekts angepasst wurden. Es wurde eine Produktionsmenge von 5.000 t/a und die Beschäftigung eines Mitarbeiters angenommen. Zudem wurde davon ausgegangen, dass das Heu so angeliefert wird, dass keine technische Trocknung vor der Pelletierung nötig ist. Die Kosten für Gebäude und Lager sind im Kostenpunkt „Sonstiges“ enthalten (siehe Abbildung 5-14).

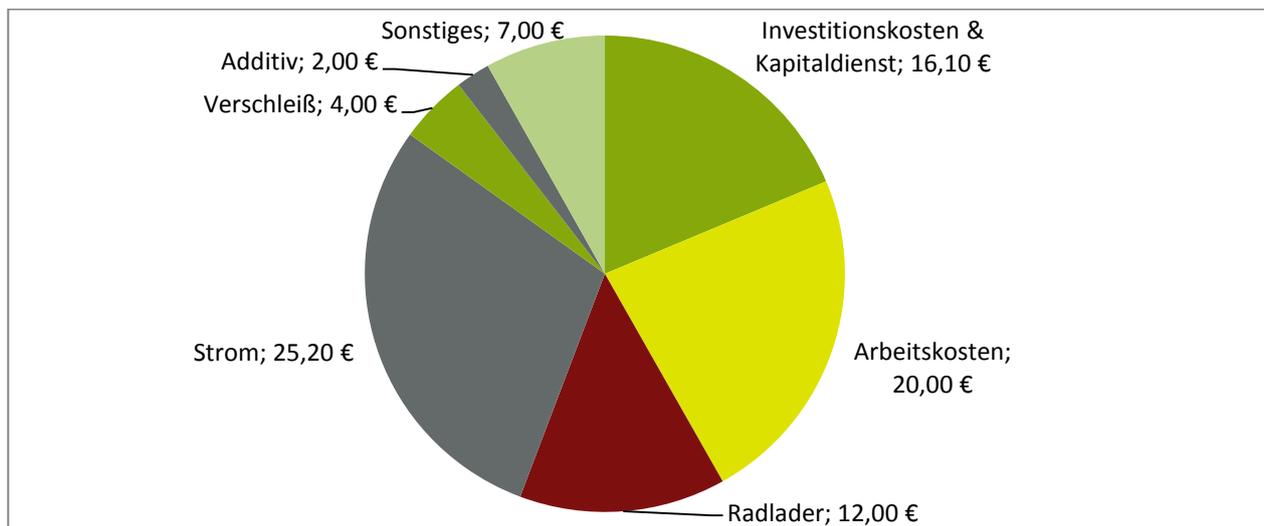


Abbildung 5-14: Zusammensetzung der Kosten (Annuität) für die Produktion von einer Tonne Pellets in einem eigenen, stationären Pelletwerk (insgesamt: 86,30 €/tPellets) (Abbildung: DBFZ)

Insgesamt wurden Herstellungskosten von 86,30 €/t Pellets ermittelt, wobei Strom- und Arbeitskosten die bedeutendsten Kostenfaktoren sind. Im Vergleich dazu veranschlagte RÖSCH et al. [119] für die Pelletierung des Heus 70 €/t. Es fällt auf, dass realisierte und in Planung befindliche Projekte zur

Heupelletierung häufig mit Fördermitteln aufgebaut wurden. So wurde die oben beschriebene Anlage der Firma Agrarhandel Müller im Rahmen des Bioenergie-Wettbewerbs der Landesregierung Baden-Württemberg mit fast 80.000 € gefördert. Die Planer einer Heupelletierungsanlage am Westrand der Schwäbischen Alb („Blumenwiesen-Alb“-Projekt) [120] gehen davon aus, dass sie einen Zuschuss vom Bundesamt für Naturschutz erhalten. Folglich können sich die hier dargestellten Investitionskosten in Verbindung mit Fördermittel reduzieren.

Zusammenfassend wird das eigene, stationäre Pelletwerk in folgender Tabelle 5-7 bewertet.

Tabelle 5-7: Bewertung von Variante 1: Aufbau eines eigenen stationären Pelletwerkes

Kriterium	Bewertung
Investitionskosten	Sehr hoch, für einen wirtschaftlichen Betrieb ist eine gute Auslastung nötig
Arbeitskraftbedarf	Mittel, mindestens eine Person muss den Anlagenbetrieb durchführen und überwachen, dafür sind Fachkenntnissen nötig.
Verfügbarkeit/ Entwicklungsstand	Hoher technologischer Entwicklungsstand, entsprechende Betriebe mit grundsätzlicher Bereitschaft sind in der Region vorhanden
Flexibilität	Gering, da hohe Investitionskosten bestehen. Allerdings flexibel in der Art des pelletierten Produkts: Alternativ können auch Futtermittelpellets produziert werden.

Eigene Pelletierungen stationär, dezentral (Variante 2)

Bei dieser Variante werden mehrere kleine Pelletieranlagen bei verschiedenen Landwirten im Projektgebiet aufgestellt. Die Pressen sollten primär für die Produktion des Eigenbedarfs eingesetzt werden.



Abbildung 5-15: Beispiel für eine Anlage ohne Peripherie-Geräte: Easypell 100 der Firma Michael Schmitt - Nutzung erneuerbarer Energiequellen aus Saarlouis, Leistung: 100 bis 150 kg/h (Foto: [121])

Für die kommerzielle Produktion sind sie aufgrund der niedrigeren Pelletqualität, des geringen Durchsatzes sowie des niedrigen Automatisierungsgrades nur bedingt geeignet. An dieser Stelle werden nur Anlagen ohne Peripherie-Geräte (wie beispielsweise Halmgutzerkleinerung und Pelletkühlung) betrachtet. Der Betrieb dieser vergleichsweise sehr günstigen Kleinanlagen mit einer Produktionskapazität von maximal 0,25 t/h ist zum Teil aufgrund des geringen Automatisierungsgrades sehr arbeitsintensiv. Bei den meisten angebotenen Anlagen erfolgt die Zuführung des Ausgangsmaterials manuell. Die vorliegenden Heuballen müssen manuell aufgelöst und einer Mühle zugeführt werden, in der die Halme zerkleinert werden. Die definierte Zugabe von Additiven, durch die die Verbrennungseigenschaften verbessert werden können, ist meist nicht möglich. Technische Einrichtungen zur gezielten Steuerung des Prozesses sowie Kontrollmechanismen werden nicht serienmäßig angeboten, sondern sind Einzelstücke oder werden vom Betreiber selbst angefertigt. Des Weiteren verfügen diese Anlagen weder über eine für die Aushärtung der produzierten Pellets notwendigen Kühleinrichtungen noch über integrierte Komponenten zur Abscheidung von Feinanteil, der zu Störungen bei der Zuführung und der Verbrennung im Kessel führen kann.

Da, wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt, für die Produktion qualitativ hochwertiger Pellets eine integrierte, optimal aufeinander abgestimmte Produktionslinie unabdingbar ist, wird der Einsatz einer Presse ohne die anderen beschriebenen Komponenten (Zerkleinerung, automatische Zuführung, Kühlung, Absiebung des Feinanteils) als sehr kritisch bewertet.

In den letzten Jahren werden in Deutschland vermehrt günstige Anlagen aus Fernost, insbesondere aus China, angeboten. Es hat sich gezeigt, dass manche dieser Anlagen nicht über die notwendigen Sicherheitseinrichtungen, wie beispielsweise Not-Stopp-Schalter, verfügen. Des Weiteren zeichnen sie sich zum Teil durch Produktionsmängel, wie beispielsweise falsche Verkabelung aus, die eine gründliche Überarbeitung vor der Inbetriebnahme notwendig machen.

Aufgrund der geringen zu erwartenden Pelletqualitäten und dem hohen spezifischen Arbeitsbedarf eignet sich diese Variante unter derzeitigen Bedingungen nicht für die Herstellung von Brennstoffpellets. Daher wurde für diese Anlage auch keine weitergehende Wirtschaftlichkeitsbewertung durchgeführt. In folgender Tabelle 5-7 werden die wichtigsten Eigenschaften dieser Variante nochmals zusammengefasst.

Tabelle 5-8: Bewertung von Variante 2: Betrieb kleiner dezentraler Einheiten

Kriterium	Bewertung
Investitionskosten	Gering, allerdings müssen für einen problemlosen Dauerbetrieb zahlreiche zusätzliche Anlagenkomponenten angepasst werden.
Arbeitskraftbedarf	Im Verhältnis zu der Produktionsleistung in der Regel sehr hoch, da die Anlagen für die manuelle Beschickung ausgelegt sind.
Verfügbarkeit/ Entwicklungsstand	Gering, es gibt mehrere Anbieter auf dem Markt, mit z. T. auch guten Anlagen, allerdings verfügen diese häufig über keine gute Regelung, die verhindert, dass sich die Maschine fest fährt oder heiß läuft. Die Pelletqualität zur Nutzung als Brennstoff ist häufig nicht ausreichend.
Flexibilität	In jeder Hinsicht sehr hoch: Durch die geringen Produktionskosten kaum Kapitalbindung: Die Maschine ist einfach zu transportieren. Der Wechsel der Matrize für die Pelletierung anderer Rohstoffe ist in der Regel einfach durchzuführen.

Lohnpelletierung stationär (Variante 3)

Im Sinne einer flexiblen Pelletierung ist vor allem die stationäre Lohnpelletierung attraktiv. Aufgrund des Wegfalls von Investitionskosten und der Reduktion von Personalkosten ist dies eine sehr interessante Alternative zum Betrieb einer eigenen Anlage. Darüber hinaus kann von den praktischen Erfahrungen des Lohnunternehmers profitiert werden, wodurch die bei Pelletwerken übliche Einarbeitungszeit bis zum Erreichen zufriedenstellender Ergebnisse reduziert werden kann. Für eine zentrale Lohnpelletierung kommen entweder Holzpelletwerke oder Futtermittelwerke in Frage. Da derzeit im Projektgebiet kein Holzpelletwerk in Betrieb ist, wird hier nur die Energiepelletproduktion in einem Futtermittelwerk betrachtet.

Seit Jahrzehnten werden Futtermittel pelletiert um deren Lagervolumen zu reduzieren, die Lagerstabilität zu erhöhen und bei Mischfutter eine Entmischung zu verhindern. Typische Rohstoffe für die Futtermittelpelletherstellung sind zum Beispiel Heu und Luzerne. Um auch frisches Ausgangsmaterial mit einem erhöhten Wassergehalt verarbeiten zu können, ist der Pelletierung zumeist eine Trocknungseinheit vorgeschaltet, oft in Form eines direkt befeuerten Trommeltrockners. Anschließend wird das getrocknete Material pelletiert. In einer derart ausgestatteten Futtermittelproduktion können normgerechte Pellets voraussichtlich ohne größere Umrüstung der Maschinen hergestellt werden. Allerdings muss beachtet werden, dass die Qualitätsansprüche (zum Beispiel bezüglich der mechanischen Festigkeit) an Pellets für die energetische Nutzung höher sind als bei Futtermittelpellets. Die FMS Futtermittel GmbH⁸ stellt in Selbelang, im Landkreis Havelland, vor allem Futtermittelpellets aus Luzerne und landwirtschaftlichen Reststoffen her. Darüber hinaus bestehen

⁸ FMS Futtermittel GmbH, An der B5, 14641 Selbelang, www.trockenwerk.de

Erfahrungen in der Produktion von Pellets aus Landschaftspflegegrün, die als Raufutter für Pferde oder als Einstreu im Stall genutzt werden. Neben einer Flachmatrizen- und einer Ringmatrizenpresse verfügt FMS auch über eine Trocknungsanlage, in der das Ausgangsmaterial bis auf den für die Pelletierung maximal zulässigen Wassergehalt von 12 Ma.-% getrocknet werden kann. Aktuell ist an den Pressen keine Dosiereinheit für die Zugabe von Additiven zur Beeinflussung der Brennstoffeigenschaften installiert, eine Nachrüstung ist jedoch möglich. Ein Ballenauflöser für die angelieferten Heuballen müsste ebenfalls montiert werden. Mit der Produktion von Pellets für die energetische Verwertung und den damit verbundenen Qualitätsansprüchen bestehen noch keine Erfahrungen, dies wird vom Unternehmen jedoch nicht als Problem angesehen.

Nach den mündlichen Angaben eines deutschen Futtermittelpelletherstellers liegen die Kosten für die Herstellung von Heupellets bei ungefähr 30 €/t. Wenn das Heu vor der weiteren Verarbeitung getrocknet werden muss, erhöhen sich die Produktionskosten auf ca. 80 €/t. Der Anteil der Kosten für die Trocknung an den Gesamtkosten (ohne Rohstoffkosten) entspricht auch der in [122] für Holzpellets genannten Angabe von 60 %.

Für die Lagerung der produzierten Pellets wird davon ausgegangen, dass drei Viertel der jährlichen Produktionsmenge (3.750 von 5.000 t) zwischengelagert werden müssen, weil die Lagerkapazitäten an den Verbrennungsanlagen für einen Jahresvorrat nicht ausreichen. Zudem muss bedacht werden, dass die Grünlandflächen bei ungünstiger Witterung möglicherweise nur an wenigen Terminen im Jahr beerntet werden können. Aufgrund der guten Vergleichbarkeit bei den Lagerungseigenschaften von Pellets und Getreide, wurden für die Pelletlagerung die gleichen Kosten wie für die Getreidelagerung unterstellt. Die Annuitäten der Kosten einer Getreidelagerhalle liegen bei üblichem Zinsniveau und Abschreibedauer bei 5,77 €/t*a⁻¹ [9].

Da davon ausgegangen wird, dass das Heu trocken angeliefert wird, wird von Gesamtkosten von 35,77 €/t bei dieser Variante ausgegangen. Dieser Wert wird allerdings als absolute Untergrenze angesehen – es ist möglich, dass technische Anpassungen vorgenommen werden müssen um dauerhaft hochwertige Pellets herstellen zu können. Auch darf die Zeitdauer für die notwendigen Modifikationen nicht unterschätzt werden.

Die zusammenfassende Bewertung der zentralen Lohnpelletierung wird in folgender Tabelle 5-9 dargestellt.

Tabelle 5-9: Bewertung von Variante 3: Lohnpelletierung in einem bestehenden stationären Pelletwerk

Kriterium	Bewertung
Investitionskosten	Gering, es fallen Investitionskosten für ein Lager in der Anlagenumgebung an
Arbeitskraftbedarf	Sehr gering für den Auftraggeber
Verfügbarkeit/ Entwicklungsstand	Hoch, technischer Entwicklungsstand, gute Pelletqualitäten können erwartet werden. Entsprechende Betriebe mit grundsätzlicher Bereitschaft sind in der Region vorhanden.
Flexibilität	Hoch, da nur geringe Bindung von Investitionskapital (Lagerhalle). Bei der Umstellung von Holz auf Halmgut als Ausgangsmaterial sind Modifikationen an mehreren Komponenten notwendig. In der Region befinden sich zwei entsprechende Anbieter.

Lohnpelletierung mobil (Variante 4)

Als vierte Variante wird die mobile Lohnpelletierung betrachtet. Bei den entsprechenden Anlagen sind die wesentlichen Aggregate auf ein Trägerfahrzeug montiert. Der Vorteil liegt in der Produktion der Pellets direkt an der Heizanlage oder nahe der Rohstoffquelle. Somit kann ein Transportvorgang eingespart werden. Außerdem kann diese Variante eingesetzt werden, wenn eine stationäre Lohnpelletierung im Projektgebiet nicht möglich ist. Derzeit sind in Deutschland zwei entsprechende Konzepte auf dem Markt. Bei deren Beurteilung muss primär darauf geachtet werden, inwieweit die in Kapitel 5.1.5 und Abbildung 5-11 beschriebenen Komponenten vorhanden sind.

Zu beachten ist auch, dass es aufgrund von Lärm- und Staubentwicklung (vor allem in Wohn- und Mischgebieten) zu Akzeptanzproblemen kommen kann.

Die mobile Pelletiereinheit wird von der Firma BauerPower⁹ produziert. Neben BauerPower wird die Einheit seit August 2010 auch vom Landwirtschaftlichen Lohnunternehmen Seipp¹⁰ zur Lohnpelletierung genutzt.

Sämtliche Komponenten sind in einem 40-Fuss-Seecontainer untergebracht, der auf einen dreiachsigen Anhänger-Fahrgestell montiert ist. Quader-, Rund- oder Hochdruckballen werden mittels eines Ballenauflösers zerkleinert, anschließend wird das Halmgut vermahlen. Da keine Trocknung vorhanden ist, sollte das Eingangsmaterial nach Herstellerangaben eine maximale Feuchte von 17 Ma.-% (Wassergehalt: 14,5 Ma.-%) aufweisen. Außerdem sollte der Wassergehalt im Ballen für einen störungsfreien Betrieb homogen verteilt sein. Nach der Konditionierung mit Wasser oder Zuschlagsstoffen wie zum Beispiel Kalk oder Melasse wird das Material in einer Flachmatritzenpresse

⁹ BauerPower, Brunnenstr. 13, 65428 Rüsselsheim, Tel:06142-975533, E-Mail: kraft@energievomland.de

¹⁰ Landwirtschaftliches Lohnunternehmen Harald Seipp, Brunnenstr. 18, 35516 Ober-Hörgern, Tel: 06004-2066, E-Mail: lu-seipp@t-online.de

zu Pellets mit einem Durchmesser von 8 bis 9 mm gepresst. Nach Verlassen der Presse werden die Pellets über ein Vibrationsband entstaubt, der Feinanteil wird in den Produktionsprozess zurückgeführt. Bei der aktuell verbauten Bandlänge von drei Metern wird dabei ein Feinanteil von 1,6 bis 2,2 Ma.-% im Endprodukt erreicht. Anschließend werden die Pellets in ein BigBag (große Plastiksäcke, siehe Abbildung 5-16) gefördert, in dem sie abtransportiert werden können. Um die Bildung von Kondenswasser zu vermeiden, wird über eine Lanze kalte Luft eingblasen, um die warme, feuchte Abluft abzuführen, die bei der Abkühlung der noch heißen Pellets entsteht. Die Anlage verfügt über eine automatische Waage für das Output-Material. Die Energie für alle Prozesse wird durch ein integriertes Diesellager mit Generator zur Verfügung gestellt.



Abbildung 5-16: Mobile Pelletiereinheit der Firma BauerPower (Foto: [122])

Je nach Qualität des zugeführten Rohmaterials liegt die Leistung der mobilen Pelletiereinheit bei 0,8 bis 1 t/h. Das Lohnunternehmen gibt für die Pelletierung einen Preis von 35 €/h an, exklusive Anfahrt, Additive und Kraftstoff (ca. 35 l/h) [9]. Die Kraftstoffpreise wurden aktuell mit rund 1,20 €/l Agrardiesel und eine Anfahrts-/ Umsetzdistanz von 25 km und einer Geschwindigkeit von 50 km/h.

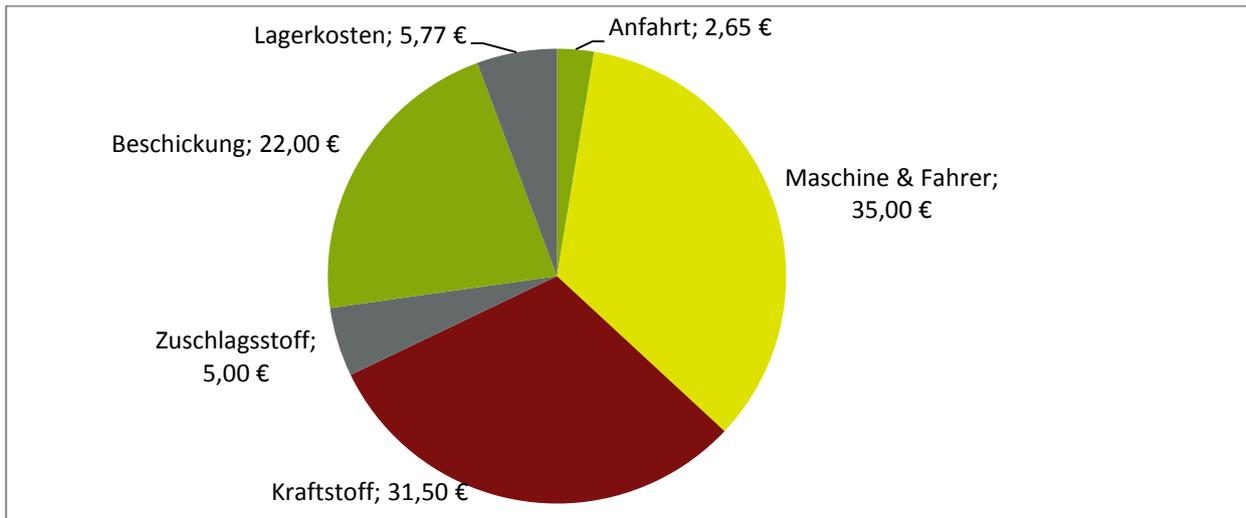


Abbildung 5-17: Zusammensetzung der Kosten für die Produktion von einer Tonne Pellets durch einen mobilen Lohnpelletierer (Insgesamt: 101,90 €/tPellets) (Abbildung: DBFZ)

Die kontinuierliche Zuführung der Heuballen mit einem Radlader oder ähnlichem Gerät muss der Auftraggeber durchführen. Die Kosten hierfür wurden in die Kalkulation (Abbildung 5-17, Maschine und Fahrer) aufgenommen. Auf Grundlage dieser Angaben wurden für die Pelletproduktion Gesamtkosten von rund 96,20 €/t Pellets errechnet. Außer den Kosten für die Pelletierung müssen auch die Kosten für die Lagerung des produzierten Brennstoffs berücksichtigt werden. Diese belaufen sich auf 5,77 €/t Pellets in einem dafür gebauten Hallenlager. Damit erhöhen sich die Gesamtkosten für diese Variante auf 101,90 €/t.

Zusammenfassend lässt sich die mobile Lohnpelletierung entsprechend Tabelle 5-10 bewerten.

Tabelle 5-10: Bewertung von Variante 4: Mobile Lohnpelletierung

Kriterium	Bewertung
Investitionskosten	Gering, es fallen Investitionskosten für ein Lager in der Anlagenumgebung an
Arbeitskraftbedarf	Mittel, meist wird die Beschickung des Kratzkettenförderers vom Auftraggeber übernommen
Verfügbarkeit/ Entwicklungsstand	Mittel, die mobile Pelletiereinheit von BauerPower ist seit August 2011 beim Lohnunternehmen Seipp im Einsatz, es wurden damit bereits praktische Erfahrungen mit Halmgutpellets gesammelt. Es ist eine gute Pelletqualität zu erwarten.
Flexibilität	Hoch, da die Anlage mobil ist und verschiedener Matrizen für verschiedene Rohstoffe eingesetzt werden können. Allerdings ist derzeit kein entsprechender Lohnunternehmer in der Region ansässig, insgesamt gibt es nur sehr wenige Anbieter.

Bewertung der technischen Konzepte

In Tabelle 5-11 werden die Varianten vergleichend nebeneinander gestellt und hinsichtlich der Kriterien Gesamtkosten, Investitionskosten, Arbeitskraftbedarf, Umrüstbarkeit, Verfügbarkeit und Flexibilität miteinander verglichen.

Auf die Kalkulation der Pelletierungskosten von Variante 2 (eigene, dezentrale Pelletierung) wurde verzichtet, da sich diese nicht für die Herstellung von hochwertigen Pellets eignet. Beim Vergleich der drei weiteren Pelletierungsvarianten weist Variante 3 die mit Abstand geringsten Produktionskosten auf. Hierfür ist jedoch eine Mindestmenge zur Pelletierung erforderlich. Denkbar ist es daher, dass bei geringeren Mengen die Variante 4 und bei deutlich höheren Mengen als der hier veranschlagten 5.000 t Pellets die Variante 1 vorteilhafter wird.

Tabelle 5-11: Zusammenfassende Bewertung der Pelletierungsvarianten 1 bis 4

Beurteilungskriterium	Variante 1 Eigene Pelletierung zentral	Variante 2 Eigene Pelletierung dezentral	Variante 3 Lohnpelletierung stationär	Variante 4 Lohnpelletierung mobil
Kosten pro Tonne Pellets	86,30 €	k. A.	35,77 €	101,90 €
Investitionskosten	hoch	gering	gering	gering
Arbeitskraftbedarf	mittel	hoch	gering	mittel
Verfügbarkeit/ Entwicklungsstand	hoch	gering	hoch	mittel
Flexibilität	gering	hoch	hoch	hoch

Bei den beiden Lohnpelletierungsvarianten fallen nur geringe **Investitionskosten** an. Einzig für die Lagerung der Pellets entstehen Kosten. Dadurch besteht ein geringeres Finanzierungsrisiko, weshalb diese Varianten positiv bewertet werden. Zu berücksichtigen ist dabei auch, dass dadurch auch eine Abhängigkeit von den jeweiligen Lohnpelletierbetrieben in der Region besteht. Die Investitionskosten für kleine, dezentral betriebene Anlagen ohne Peripheriegeräte sind verglichen mit einer großen Anlage zur industriellen Produktion sehr gering.

Beim Betrieb dezentraler eigener Pelletieranlagen ist der **Arbeitskraftbedarf** aufgrund fehlender Automatisierung des Produktionsprozesses besonders hoch. Bei einer industriellen Anlage ist der Arbeitskraftbedarf wesentlich geringer, allerdings muss der Angestellte über Fachkenntnisse und Erfahrung auf dem Gebiet der Pelletproduktion verfügen, um hochwertige Pellets herstellen zu können. Bei der Lohnpelletierung durch einen mobilen Dienstleister wird meist die Beschickung der Anlage mit einem Radlader durch den Auftraggeber übernommen.

Der **Entwicklungsstand** der Technologie kann in Hinsicht auf industrielle Anlagen als hoch angesehen werden. Zwar werden derzeit kaum hochwertige Brennstoffpellets aus Heu angeboten, die Produktion von Holzpellets und die Herstellung von Futtermittelpellets aus Heu sind jedoch beherrschbar. Die Entwicklung mobiler Pelletiereinheiten ist noch nicht so weit voran geschritten, allerdings erscheint vor allem das Anlagenkonzept des Pelletiermobils 500 der Firma AgroBioTech und das Konzept der Firma PCM Green Energy GmbH & Co. KG erfolgsversprechend. Vom Betrieb kleiner Anlagen ohne Peripheriegeräte (Variante 2) wird aus technischen Gründen abgeraten.

Bei der Bewertung der **Flexibilität** der vier Varianten muss unterschieden werden zwischen der Flexibilität hinsichtlich:

- des Rohstoffeinsatzes – Wie schnell kann eine Umstellung der Produktion auf beispielsweise Holz oder Stroh realisiert werden?
- Wechsel des Anbieters – Wie flexibel ist der Auftraggeber bei der Wahl eines Lohnpelletierers?
- Wechsel der Produktionsvariante: Bewertung aus ökonomischer Sicht

In der folgenden Tabelle 5-12 sind die Ergebnisse der Flexibilitätsbewertung aufgeführt.

Tabelle 5-12: Bewertung der Flexibilität der Pelletierungsvarianten 1 bis 4

Beurteilungskriterium	Variante 1 Eigene Pelletierung zentral	Variante 2 Eigene Pelletierung dezentral	Variante 3 Lohnpelletierung stationär	Variante 4 Lohnpelletierung mobil
Rohstoffeinsatz	Hoch, wenn ein Rohstoffwechsel schon bei der Konzeption eingeplant wurde	Hoch, mit den genannten Qualitätsproblemen	Hoch im Futtermittelpelletwerk, gering im Holzpelletwerk	Hoch, vor allem bei anderen Halmgütern, Erfahrung mit der Pelletierung von Holz sind allerdings nicht vorhanden
Wechsel des Anbieters	-	-	Gering, da nur 2 Anbieter in der Region	Keine, in der Region ist derzeit kein Anbieter am Markt
Wechsel der Produktionsvariante	Gering, wegen der hohen Investitionskosten und des Bedarfs an einer Fachkraft	Hoch, wegen der geringen Investitionskosten	Sehr hoch, wegen der sehr geringen Investitionskosten	Sehr hoch, wegen der sehr geringen Investitionskosten

Die mit Abstand höchste Flexibilität weist Variante 2 (eigene Pelletierung dezentral) auf. Bei der Beurteilung der Flexibilität der Varianten 3 (Lohnpelletierung stationär) muss beachtet werden, dass beim einzigen in Frage kommenden Futtermittelpelletwerk in der Region technische Anpassungen vorgenommen werden müssten, um hochwertige Energiepellets herstellen zu können. Der Betreiber

der Anlage wird die Lohnpelletierung voraussichtlich nur übernehmen, wenn sichergestellt ist, dass sich die zusätzlichen Investitionen lohnen. Hier ist also von einer entsprechenden Vertragsbindung auszugehen. Bei der Beurteilung von Variante 4 (Lohnpelletierung mobil) muss beachtet werden, dass derzeit kein entsprechender Unternehmer in der Region ansässig ist.

5.2 Verbrennung

5.2.1 Theoretischer Hintergrund

Aufgrund der Herausforderungen bei der Nutzung von Gras und Schilf im Verbrennungsprozess und den genehmigungsrechtlichen Anforderungen, ist das Aufkommen von Halmgutverbrennungsanlagen in Deutschland momentan sehr gering [123], [119]. In diesem Zusammenhang weist Heu vergleichbare Brennstoffeigenschaften wie Stroh auf, wodurch es bei entsprechender Aufbereitung mit ähnlicher Feuerungsanlagentechnik eingesetzt werden kann. Der im Vergleich zu Holz bisher nahezu vernachlässigbare Einsatz von Stroh und anderen Halmgütern bei der Energiebedarfsdeckung in Deutschland liegt u. a. begründet in [124]:

- den vergleichsweise problematischen brennstofftechnischen Eigenschaften,
- einer nur eingeschränkt verfügbaren Feuerungs- beziehungsweise Gesamtanlagentechnik, mit der die gesetzlichen Umweltschutzaufgaben sicher eingehalten werden können sowie
- der derzeit stark schwankenden Preissituation.

Hauptproblemfelder bei der Verbrennung von Heu

Die vorrangigen Ziele beim Einsatz von Heu in Verbrennungsanlagen lassen sich, wie bei allen thermochemischen Konversionsprozessen, die der Energiegewinnung dienen, wie folgt charakterisieren:

- hoher Anlagenwirkungsgrad,
- emissionsarme Verbrennung,
- hohe Verfügbarkeit, geringerer Wartungsaufwand und langlebiger Betrieb der Anlagen.

Die Schwierigkeit bei der Realisierung eines hohen Anlagenwirkungsgrades, einer emissionsarmen Verbrennung sowie einer hohen Anlagenverfügbarkeit ist besonders auf die teilweise problematische Zusammensetzung von Stroh und Heu und den damit einhergehenden Auswirkungen bei der Verbrennung zurückzuführen [125].

Tabelle 5-13: Brennstoffdaten des Heus und Vergleich mit verschiedenen Strohsorten und Fichtenholz [73,75]

Brennstoffparameter	Einheit	Heu ¹⁾			Weizenstroh ²⁾	Roggenstroh ²⁾	Fichtenholz mit Rinde ³⁾
		Mittel	Max.	Min.			
Heizwert	MJ/kg (wf)	17,33	17,63	16,49	17,2	17,4	18,8
Aschegehalt	Ma.-% (wf)	5,70	7,97	4,80	5,7	4,8	0,6
C	% der TM	45,98	46,81	44,46	45,6	46,6	49,8
H	% der TM	5,93	6,03	5,83	5,8	6,0	6,3
O	% der TM	42,78	43,51	42,21	42,4	42,1	43,2
N	% der TM	1,48	1,83	1,21	0,48	0,55	0,13
S	% der TM	0,19	0,24	0,10	0,082	0,085	0,015
Cl	% der TM	0,53	0,86	0,20	0,190	0,400	0,005
K	% der TM	1,25	2,44	0,38	1,010	1,680	0,130
Ascheerweichungstemperatur	°C	-	-	-	998	1002	1426

¹⁾ Analysedaten der im Projekt zur Verfügung gestellten Heuchargen; ²⁾ aus [73]; ³⁾ aus [75]

Exemplarisch wird aus Tabelle 5-13 ersichtlich, dass die Brennstoffeigenschaften des im Projekt analysierten Heus kritischer zu bewerten sind, als diejenigen der unterschiedlichen Strohsorten oder Holz. Dies gilt besonders für die Parameter Stickstoff, Chlor und Kalium, welche aufgrund ihres potentiell korrosiven beziehungsweise emissionsrelevanten Charakters von Bedeutung sind. Die Konzentrationen dieser Elemente sind gegenüber Holz und Stroh deutlich erhöht (Faktor 10 bis 100) und dementsprechend ist auch mit einem verstärkten Auftreten dieser Probleme zu rechnen. Die thermische Verwertung von Heu ist ein komplexer Vorgang, bei dem sich die Teilprozesse der Umwandlung sowie die Reaktionsbedingungen zum Teil gegenseitig beeinflussen. Hierbei sind, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung, im Vergleich zur Verbrennung von Holz, folgende Problemfelder von besonderer Relevanz:

Partikelemissionen (Gesamtstaub)

Der Begriff Feinstaub beziehungsweise Feinstpartikel (PM für den englischen Terminus: particulate matter) beschreibt eine komplexe Mischung aus festen und/oder flüssigen, in die Luft ausgestoßenen, organischen und anorganischen Schadstoffen. Sie variieren nach Größe, Zusammensetzung und Herkunft und werden anhand der Partikelgröße beziehungsweise des aerodynamischen Durchmessers beschrieben. Die Hauptbestandteile von Feinstäuben aus der Biomasseverbrennung können in Abhängigkeit vom Brennstoff und der Qualität der Verbrennung variieren und lassen sich unterteilen in [126]:

- schwerflüchtige, mineralische Aschebestandteile (zum Beispiel CaO, Al₂O₃, SiO₂),
- Ascheverbindungen, die durch Verdampfung und Kondensation oder Neubildung in der Feuerung entstehen (zum Beispiel KCl, K₂SO₄, Nitrate) sowie

- Aerosole aus der unvollständigen Verbrennung, wobei zwischen den kohlenstoffhaltigen festen oder flüssigen Zersetzungsprodukten und den kohlenstoffhaltigen kondensierten Syntheseprodukten unterschieden wird.

Als primäre Maßnahmen zur Minderung der kritischen Elemente im Brennstoff sind insbesondere pflanzenbauliche Maßnahmen durch entsprechende Züchtungen und reduzierten Düngeinsatz sowie Auswaschungseffekte durch eine verlängerte Schwadliegezeit zu nennen. Zusätzlich kann der Einsatz von Additiven eine Reduktion der Partikelemissionen bewirken. Die Minderung der Staubemissionen durch die Verbrennungsführung ist bedingt möglich, erfordert aber zum Teil erhebliche Anpassungen bestehender Feuerungen (zum Beispiel Holzfeuerungen) an den Brennstoff Heu. Gegebenenfalls sind spezielle Entwicklungen für eine Minimierung der Emissionen notwendig. So sind sekundäre Maßnahmen wie der Einsatz von Elektro- oder Gewebefiltern häufig erforderlich [75], [127]. Die vergleichsweise hohen Kosten für Anschaffung und Betrieb stellen dabei noch immer das größte Hindernis für den Einsatz von Heu im kleinen und mittleren Anlagenbereich dar.

Stickstoffoxidemissionen (NO_x)

Die wichtigsten Parameter für die Stickoxidbildung sind der Stickstoffgehalt des Brennstoffes, der Sauerstoffgehalt im Feuerraum und die Ausbrandqualität der Asche sowie die Homogenisierung des Brennstoffbettes. Je nach Verbrennungsführung kann im Glutbett ein Großteil des im Brennstoff gebundenen Stickstoffs unter reduzierenden Bedingungen zu N₂ umgesetzt werden. Dies kann durch eine Abgasrezirkulation, eine Luft- oder eine Brennstoffstufung erreicht werden. Als Luftstufung wird die Zufuhr von Verbrennungsluft in mindestens zwei Zonen bezeichnet, wobei der Abbau von Brennstoffstickstoff zu molekularem Stickstoff (N₂) durch Einhalten unterstöchiometrischer Bedingungen ($\lambda < 1$) vor der Zugabe von Ausbrandluft unterstützt wird. Zur Gewährleistung reduzierender Bedingungen in einer definierten Zone der Feuerung kann neben der Luftstufung auch die Brennstoffstufung eingesetzt werden. Dabei wird der Hauptbrennstoff in einer ersten Stufe mit Luftüberschuss ($\lambda > 1$) verbrannt und anschließend ein Zweitbrennstoff, der auch als Stufen- oder Reduktionsbrennstoff bezeichnet wird, in das Abgas eingemischt [128]. Diese Methode hat sich bei der Strohverbrennung, nach Messungen von Zhou et al., als sehr wirksam erwiesen [129]. Für Heu aus Landschaftspflegegräsern ist ein ähnlicher Effekt zu erwarten.

Chlorwasserstoffemissionen (HCl)

Die HCl-Emissionen bei Stroh- und Heufeuerungen sind auf den vergleichsweise hohen Chlorgehalt des Strohs beziehungsweise Heus zurückzuführen (vgl. Tabelle 5-13). Der hohe Chlorgehalt im Abgas bewirkt maßgeblich die verstärkten Korrosionsprobleme in der Verbrennungsanlage bei der Nutzung von Halmgut, weshalb die Chlorwasserstoffemissionen bei Stroh- und Heufeuerungen von hoher Relevanz sind. Dabei werden etwa 60 % des im Brennstoff gebundenen Chlors bei Anlagen kleiner Leistung freigesetzt, während der verbleibende Teil in die Asche eingebunden wird [75]. Das freigesetzte Chlor wird anschließend in Verbindung mit Wasserstoff als HCl oder in Verbindung mit Alkalien, zum Beispiel als KCl in der Gasphase emittiert. Zur Reduzierung der HCl-Emissionen sind unterschiedliche Maßnahmen möglich, zum Beispiel durch die Zugabe mineralischer Additive [126]. Ein Anteil kann zudem in Form von polychlorierte Dibenzodioxinen- und furane (PCDD/F) freigesetzt werden. Sowohl die Anwesenheit von Kupfer und Eisen als Katalysator für die Freisetzung von Chlorradikalen (Cl₂) aus dem gebildeten HCl, als auch ein Überangebot von Sauerstoff im Abgas

fördern die PCDD/F Bildung [124]. Dabei ist die Anwesenheit der Bausteine der PCDD/F als sogenannte Vorläufersubstanzen (Precursoren) zum Beispiel in Form von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) oder polychlorierten Biphenylen (PCP) eine wichtige Voraussetzung. Weiterhin sind Zonen mit einer Temperatur von 200 bis 400 °C notwendig, um über einen zweiten Bildungsweg, die sogenannte „De-Novo-Synthese“ PCDD/F aus den elementaren Bestandteilen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zu bilden. Bezüglich der PCDD/F-Bildung hat sich gezeigt, dass nur ein schwacher Zusammenhang zwischen dem Chlorgehalt im Brennstoff und den gebildeten PCDD/F-Emissionen besteht. Die wichtigsten Voraussetzungen für eine PCDD/F-arme Verbrennung sind eine gute Verbrennungsführung und ein vollständiger Gasausbrand um Vorläufersubstanzen zu oxidieren [73].

Verschlackungen der Feuerraumasche

Die vergleichsweise niedrige Ascheerweichungstemperatur bei einem relativ hohen Aschegehalt von halmgutartigen Brennstoffen (vgl. Tabelle 5-13) kann bei nicht angepassten Feuerungen häufig zu starken Verschlackungen führen. Diese entstehen durch das Schmelzen und anschließende Verfestigen der Asche. Dabei hängen das Ascheschmelzverhalten und die damit verbundene Verschlackungsneigung von der Zusammensetzung des Brennstoffes ab. Besonders hohe Anteile an den Alkalimetallen Kalium und Natrium führen in Verbindung mit hohen Chlorgehalten oder anderen Salzbildnern, zum Beispiel Sulfaten, aufgrund der Bildung von Salzschnmelzen, sowie beim Vorhandensein so genannter Netzwerkbildner wie Silizium und Aluminium zu niedrigen Ascheschmelztemperaturen [130]. Zur Vermeidung von Anbackungen und Verschlackungen ist eine Kühlung des Glutbettes möglich. Durch wassergekühlte Roste, luft- oder wassergekühlte Feuerraumwände oder eine Abgasrezirkulation wird die Temperaturentwicklung im Glutbett begrenzt und Verschlackungen entgegengewirkt. Zum anderen ist es möglich, Additive (zum Beispiel Kaolin oder Dolomite) zuzugeben beziehungsweise dem Brennstoff beizumischen, wodurch die ascheerweichenden Elemente (zum Beispiel Kalium) eingebunden werden und eine Erhöhung des Ascheerweichungspunktes erreicht wird. Dabei sind jedoch neben dem erhöhten Ascheanfall auch der Mehraufwand für die Einbringung des Additivs sowie die Kosten des Additivs zu berücksichtigen [131].

5.2.2 Administrative Rahmenbedingungen

Der Einsatz biogener Festbrennstoffe wird durch das Bundesimmissionsschutzgesetz und die darin enthaltenen Verordnungen – der 1. BImSchV für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen, und der 4. BImSchV für genehmigungsbedürftige Anlagen sowie der TA Luft als Verwaltungsvorschrift für zuletzt genannte Anlagen – geregelt. Die in der jeweiligen Verordnung festgelegten Emissionsgrenzwerte können aus Tabelle 5-14 entnommen werden.

Tabelle 5-14: Emissionsgrenzwerte für die Verbrennung von Stroh beziehungsweise Heu als strohähnlicher Regelbrennstoff [132,133]

Parameter	Einheit	1. BImSchV für Brennstoffe nach § 3, Abs.1, Nr. 8		TA Luft (Nr. 5.4.1.3)	
		bis 31.12.2014	nach 31.12.2014		
Wirkungsbereich		≥ 4 - < 100 kW _{NWL}		0,1 - < 50 MW _{FWL}	
Bezugssauerstoff	Vol.-%	13		11	
Staub	g/m ³	0,10	0,02	< 1 MW _{FWL}	50
				≥ 1 MW _{FWL}	20
Kohlenstoffmonoxid	g/m ³	1,0 (0,25*)	0,4 (0,25*)	250	
Organische Stoffe (Gesamt-C)	mg/m ³	-	-	50	
Stickstoffoxide	g/m ³	0,6*	0,5*	< 1 MW _{FWL}	0,5
				≥ 1 MW _{FWL}	0,4
Schwefeloxide	g/m ³	-	-	0,35	
Chlorwasserstoff	mg/m ³	-	-	30	
Dioxine/Furane	ng/m ³	0,1*		0,1 (Minimierungsgebot)	

*Anforderungen bei der Typprüfung von Feuerungsanlagen; FWL: Feuerungswärmeleistung; NWL: Nennwärmeleistung, alle Angaben bezogen auf Normbedingungen

In Tabelle 5-14 ist eine deutliche Verschärfung der Emissionsgrenzwerte für Kleinf Feuerungsanlagen, die nach dem 31.12.2014 errichtet werden, zu erkennen. Zudem werden in der aktuellen Fassung der 1. BImSchV für alle Feuerungen, die mit Regelbrennstoffen nach § 3, Absatz 1, Nummer 8 befeuert werden – in diese Gruppe lässt sich das Heu einordnen – eine Typprüfung nach EN 303-5, einschließlich Dioxin- und Furanmessungen, gefordert. Aufgrund der hohen Kosten dieser Messung und der Vielzahl möglicher Einzelprüfungen gibt es derzeit keine für die Heuverbrennung zugelassene Feuerung im Leistungsbereich < 100 kW. Nicht nur bezüglich der bei der Verbrennung auftretenden Emissionen bestehen rechtliche Vorgaben, auch an den verwendeten Brennstoff werden Anforderungen formuliert. Im Teilabschnitt DIN EN 14961-6 [65] der europäischen Norm Feste Biobrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und –klassen werden normative Anforderungen an nicht-holzartige Pellets für die nichtindustrielle Verwendung getroffen. Damit besteht eine verbindliche Vorgabe hinsichtlich der wichtigsten physikalisch-mechanisch, als auch chemischen Eigenschaften der Pellets. In Tabelle 5-15 werden die bestehenden normativen Vorgaben zusammengefasst.

Tabelle 5-15: Normative Anforderungen an nicht-holzartige Pellets entsprechend der DIN EN 14961-6

Eigenschaften	Einheit	Halmgutartige Biomasse, Biomasse von Früchten, definierte und undefinierte Mischungen	
		Klasse A	Klasse B
Durchmesser	mm	6 (± 1) bis 25 (± 1)	6 (± 1) bis 25 (± 1)
Länge	mm	3,15 bis 50	3,15 bis 50
Schüttdichte	kg/m ³	≥ 600	≥ 600
Festigkeit	Ma. -%	$\geq 97,5$	$\geq 96,0$
Feinanteil < 3,15 mm	Ma. -%	≤ 2	≤ 3
Wassergehalt	Ma. -%	≤ 12	≤ 15
Aschegehalt	Ma. -% (wf)	≤ 5	≤ 10
Heizwert	MJ/kg (wf)	$\geq 14,1$	$\geq 13,2$
Ascheerweichungs-temperatur	°C	sollte angegeben werden	sollte angegeben werden
Schwefelgehalt	Ma. -% (wf)	$\leq 0,2$	$\leq 0,2$
Stickstoffgehalt	Ma. -% (wf)	$\leq 1,5$	$\leq 2,0$
Chlorgehalt	Ma. -% (wf)	$\leq 0,2$	$\leq 0,3$

5.2.3 Stand der Technik

Grundsätzlich kann Heu wie auch Stroh als Ballen, Häckselgut oder Pellets in Verbrennungsanlagen eingesetzt werden. Hierbei sind für den Einsatz als Häckselgut oder Pellets verschiedene Aufbereitungsschritte des Brennstoffs notwendig, die in der Vergangenheit besonders für Stroh wissenschaftlich untersucht wurden. Aufgrund ihrer vorteilhaften Eigenschaften - höhere Energiedichte und gutes Fließ- und Dosierverhalten - werden Pellets trotz höherer Herstellungskosten besonders im Kleinanlagenbereich stark nachgefragt [134]. Die möglichen Verbrennungstechnologien lassen sich entsprechend der verschiedenen Aufbereitungsformen des Halmguts charakterisieren. Dabei finden neben Kesselanlagen zur Verbrennung von Ballen und Häcksel ebenfalls Feuerungen für Pellets Anwendung.

In Deutschland wird Stroh als Brennstoff seit Ende der 1970er Jahre im geringen Umfang eingesetzt. Zu Beginn musste der Brennstoff den bestehenden Technologien zur Festbrennstoffverbrennung angepasst werden. Somit wurde das in Ballen gelagerte Stroh nach Dekompaktierung und Häckseln zu Briquets gepresst. Diese wurden in Kleinfeuerungsanlagen (bis ca. 55 kW) der Mitglieder der Brikettier-

gemeinschaften eingesetzt. Eine Vermarktung außerhalb dieser Nutzungskreise fand nicht statt und in den folgenden Jahren ging diese Nutzung sukzessive zurück [135]. Im Zuge der technischen Entwicklung wurden Anlagen zur energetischen Verwertung von Strohballen entwickelt. Dadurch wurde der Einsatz im Leistungsbereich über 100 kW interessant. Seit Anfang der 1990er Jahre werden Kessel zur Ganzballenvergasung oder -verbrennung auf dem Markt angeboten, wobei in Deutschland bisher nur einige Anlagen errichtet wurden. Der regionale Schwerpunkt liegt hierbei in Schleswig-Holstein mit bisher acht Anlagen. Die Verbreitung von Anlagen zur Strohverwertung ist jedoch bis heute sehr gering, was auf die gesetzlichen Anforderungen zur Begrenzung der Schadstoffemission zurückgeführt werden kann. Grundsätzlich sind die installierten Anlagen auch zur Verbrennung von Heu geeignet. Aufgrund der höheren Variabilität der Brennstoffeigenschaften des Heus im Vergleich zu Stroh und der häufig höheren Bergungskosten werden derzeit in Deutschland nur vereinzelt Anlagen zu Versuchszwecken betrieben.

Die brennstofftechnischen Eigenschaften von Halmgütern führen immer wieder zu Betriebsproblemen der Anlagen. Hervorzuheben sind dabei vor allem die schwierigen Brennstoffeigenschaften wie stark erhöhter Aschegehalt und das ungünstige Ascheerweichungsverhalten. Folgen dieser Eigenschaften sind zum Beispiel Verschlackung im Feuerraum, Korrosion der Wärmeüberträger und erhöhte Emissionen an Luftschadstoffen. Auch hier konzentrieren sich bisherige Untersuchungen (zum Beispiel [136], [137]) hauptsächlich auf den Einsatz von Stroh und Getreide. Aus den umfangreichen Untersuchungen zum Emissions- und Abbrandverhalten insbesondere von Weizenstrohpellets zeigten sich in Abhängigkeit von der eingesetzten Kesselanlage deutliche Überschreitungen der Grenzwerte besonders bei den Staub- und Stickoxidemissionen, woraus sich neben Entwicklungspotenzialen hinsichtlich der Feuerungstechnik auch Optimierungspotenziale für die Brennstoffentwicklung in Abstimmung auf die Feuerungstechnik ergeben. Ähnliche Ergebnisse zeigen auch die Arbeiten von Kiesewalter ([138], [139]) zur Verbrennung von Heupellets in Kleinf Feuerungsanlagen. Wie bei Hering et al. wurde der Staubgrenzwert der 1. BImSchV mit den untersuchten Kleinf Feuerungsanlagen nicht eingehalten, wobei zwischen den unterschiedlichen Pelletarten kaum Unterschiede festgestellt wurden und aufgrund des relativ geringen Versuchsumfangs auch keine Aussagen zu Zusammenhängen zwischen Brennstoffzusammensetzung und Abbrandverhalten getroffen werden konnten. Weiterhin wurden in der Studie von Kiesewalter et al. zwei Verbrennungsversuche mit Ganzballen in einem Strohballenvergaser HSV 145 durchgeführt. Hierbei wurden im ersten Versuch die nach 1. BImSchV geltenden Grenzwerte sowie der NO_x-Grenzwert der TA Luft eingehalten, jedoch im zweiten Versuch überschritten. Aufgrund des geringen Versuchsumfangs ist eine abschließende Beurteilung nicht möglich. Die Verbrennung von Heu aus der Landschaftspflege als Häckselgut wurde an der Universität Hohenheim für Heu in den Jahren 2005/2006 an einer Kesselanlage untersucht [140]. Hierbei kam es zeitweise zu Problemen bei der Zerkleinerung der Ballen und beim Ascheaustag. Bei einem guten Funktionieren der Verbrennung liegen die Emissionen für CO und NO_x im Bereich der Grenzwerte der TA Luft. Allerdings werden die Grenzwerte für Feinstaub ohne den Einsatz eines Filters hinsichtlich der Grenzwerte nicht eingehalten. Mit Schilfhäckseln wurden im oben erwähnten Projekt ENIM der Universität Greifswald [141] erste Verbrennungsversuche durchgeführt. Aufgrund der Verbrennung in einer für den Brennstoff nicht geeigneten Kleinf Feuerungsanlage, konnten die Häcksel jedoch nur zu maximal 20 Ma.-% in Mischung mit Holzhackschnitzeln eingesetzt werden. Die Ergebnisse lassen daher keine Schlussfolgerung auf die Eignung des Brennstoffes in anderen Kesselanlagen zu.

Die bisherigen Forschungsergebnisse zeigen somit einen deutlichen Optimierungsbedarf beim Einsatz von Grünlandschnitt in Verbrennungsanlagen auf, wobei neben der anlagentechnischen Optimierung besonders die Optimierung der brennstofftechnischen Eigenschaften von großer Bedeutung ist. Wichtig ist dabei eine Abstimmung der Aufbereitungsform des Brennstoffes auf die Verbrennungsanlage, die zur Ableitung von technisch funktionierenden regionalen Konzepten befähigt. Hierbei zeigt sich im Allgemeinen, dass ein chargenweiser Betrieb (zum Beispiel bei der Ganzballenverbrennung) bisher nicht zufriedenstellend umgesetzt wurde (zum Beispiel Versuchsanlage in Rostock). Die negativen Erfahrungen mit der Ballenverbrennung haben dazu geführt, dass die Ballen vor der Feuerung meist wieder aufgelöst, das Stroh gehäckselt und danach mechanisch oder pneumatisch dem Brennraum zugeführt wird.

Nachfolgend werden bisher erprobte und eingesetzte Anlagen zur Verbrennung von Halmgut kurz beschrieben. Ergänzend dazu sind im Anhang A 6 für ausgewählte Häckselgutfeuerungen die technischen Details in Form eines Datenblattes zusammengefasst sowie im Anhang A 8 Übersichten zum Emissionsverhalten zu finden. Ergänzend zu den hier beschriebenen Anlagen findet sich in Anhang A 9 die Beschreibung diskontinuierlicher Strohkessel, die in Dänemark weit verbreitet Anwendung finden. Aufgrund unterschiedlicher technischer und emissionsseitiger Anforderungen können diese Anlagen jedoch nicht vorbehaltlos in Deutschland eingesetzt werden.

Pelletfeuerungen

Neben der Verbrennung in Ballenform oder als Häckselgut, können halmgutartige Rohmaterialien auch in pelletierter Form insbesondere in Feuerungsanlagen kleiner Leistung verbrannt werden. Aufgrund ihrer vorteilhaften Eigenschaften - höhere Energiedichte sowie bessere Fließ- und Dosiereigenschaften - werden Pellets trotz höherer Herstellungskosten besonders im Kleinanlagenbereich stark nachgefragt. Dies ist insbesondere auf die vorteilhaften Eigenschaften von pelletiertem Material zurückzuführen:

- hohe Energiedichte im Vergleich zu losem Material, daraus resultieren unter anderem logistische Vorteile
- geringer und konstanter Wassergehalt (< 10 %), daraus resultieren unter anderem hohe Lagerstabilität und saubere Verbrennung
- konstante Brennstoffeigenschaften, insbesondere in Bezug auf Schüttdichte und Korngröße
- gute Transporteigenschaften aufgrund des einfachen Handlings (riesel- und blasfähig für pneumatische Förderung, gute Dosierbarkeit)
- gute Verbrennungseigenschaften und geringe Emissionen insbesondere beim Einsatz in kleinen Feuerungsanlagen

Basierend auf einer Marktanalyse können geeignete und marktverfügbare Kesselanlagen zur Verbrennung nicht holzartiger Brennstoffe anhand von Steckbriefen aus Anhang A 9 entnommen werden. Die Recherche stellt aus Gründen der Übersichtlichkeit nur einen Ausschnitt der am Markt verfügbaren Kesselanlagen dar, um die grundlegenden Ausführungsformen widerzuspiegeln und erhebt daher nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Die bei der Recherche verfügbare Datenbasis war teilweise gering. Zum einen sind einige Kesselanlagen erst seit kurzem am Markt verfügbar und zum anderen stellte sich die Beurteilung bisheriger Emissionsmessungen und Erfahrungen bei der Verbrennung

nicht-holzartiger Brennstoffe durch unzureichende Darstellungen und die Anonymisierung der Kesselanlagen als problematisch dar. Im Ergebnis zeigte die Recherche, dass drei Arten von Kesselanlagen für die Verbrennung nicht-holzartiger Brennstoffe am deutschen Markt verfügbar sind:

- Kesselanlagen, die laut Herstellerangaben für die Verbrennung nicht-holzartiger Brennstoffe (zum Beispiel Energiekörner, Miscanthus, Strohpellets) und Holzpellets geeignet sind
- Kesselanlagen, die zur Verbrennung von Hackschnitzeln zugelassen sind und sich beim Einsatz verschiedener nicht-holzartiger Brennstoffe bewährt haben
- Kesselanlagen, die zur Verbrennung von DINplus Holzpellets zugelassen sind und sich beim Einsatz verschiedener nicht-holzartiger Brennstoffe bewährt haben

Entsprechend weisen die Kessel unterschiedliche anlagen- und regelungstechnische Konzepte auf. Besonders im Leistungsbereich unter 100 kW sind Maßnahmen zur Reduzierung von Schadstoffemissionen - insbesondere der Gesamtstaubemissionen - unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten oft schwer zu realisieren. Die Reduzierung von Staubemissionen wird insbesondere durch konstruktive Maßnahmen und dem Einsatz sekundärer Abscheider erzielt. Sekundäre Abscheider sind derzeit Bestandteil verschiedener Forschungsvorhaben, wobei bisher nur wenige anlagentechnische Lösungen im Leistungssegment < 100 kW am Markt verfügbar sind, die auch für hohe Staubfrachten mit anorganischen Partikeln geeignet sind. Aufgrund niedrigerer spezifischer Investitionen kommen in einem Leistungsbereich > 100 kW Staubabscheider zum Einsatz, wobei die Abscheideleistung insbesondere von der Partikelgrößenverteilung und von der eingesetzten Abscheidetechnik abhängt. Hierbei kommen vor allem Gewebe-, Metall- und Elektrofilter sowie Zyklonabscheider und Abgaskondensationsanlagen zum Einsatz. Die Minderung von Korrosionsschäden an den rauchgasseitigen Wärmeüberträgerflächen kann im Wesentlichen durch eine geeignete Wahl von Werkstoffen (zum Beispiel hochwertiger Edelstahl oder starkwandig ausgeführter unlegierter Stahl), regelmäßigen automatisierten Reinigungsintervallen und der Vorgabe von Mindestrücklauftemperaturen von mindestens 55 bis 60 °C realisiert werden. Zudem sind Brennkammern, die als vertikal aufgestellte Reaktionsrohre ausgeführt sind, im Falle von Korrosionsschäden leichter austauschbar. Verschlackungserscheinungen der Feuerraumasche während der Verbrennung können zu erheblichen Störungen beim Anlagenbetrieb führen. Um einerseits die Verschlackung der Asche zu vermeiden und andererseits einen möglichst störungsfreien Betrieb der Anlagen mit entstandenen Ascheagglomeraten zu gewährleisten, können verschiedene Maßnahmen zur Temperaturkontrolle beziehungsweise -begrenzung des Feuerraumes und Glutbettes realisiert werden. Hierzu zählen luft- oder wassergekühlte Rost- und Retortensysteme sowie die Überwachung sowie Regelung der Feuerraumtemperatur (zum Beispiel durch Abgasrezirkulation). Ein niedriges Temperaturniveau wirkt der Verschlackung entgegen. Um den Ascheschmelzpunkt der Brennstoffe zu erhöhen, werden vereinzelt Systeme zur automatischen Zudosierung von Additiven in den Feuerraum (zum Beispiel Branntkalk) eingesetzt. Außerdem besteht die Möglichkeit Additive noch vor der Pelletierung dem Brennstoff beizumischen. Anfallende Ascheagglomerate im Bereich des Glutbettes werden durch mechanische Einrichtungen in Bewegung gehalten und in den Aschebehälter abtransportiert. Beispiele hierfür sind Ascheschieber in Muldenfeuerungen, bewegte Rostelemente bei Rostfeuerungen oder Rührelemente bei Unterschubfeuerungen. Dennoch können diese Einrichtungen im Falle eines hohen Verschlackungsgrades der Feuerraumasche einen störungsfreien Anlagenbetrieb nicht immer sicher gewährleisten.

Ganzballenfeuerungen

Versuchsanlage der Universität Rostock

Die von der Universität Rostock (Abbildung 5-18) entwickelte diskontinuierliche Versuchsanlage zur Ganzballenvergasung von Stroh wurde als Forschungsvorhaben über drei Jahre von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe gefördert. Während des ersten Verfahrensschrittes, der Vergasung, steht der Strohballen senkrecht auf einem Stelzenrost und wird von unten mit Primärluft durchströmt ($\lambda \approx 0,8$). Hierbei entstehen Temperaturen von 800 – 850 °C. Reaktionsprodukte sind Asche und ein Prozessgas, welches in einem zweiten Schritt in der Brennkammer unter Zugabe von Sekundärluft ($\lambda = 1,2...1,4$) verbrannt wird.

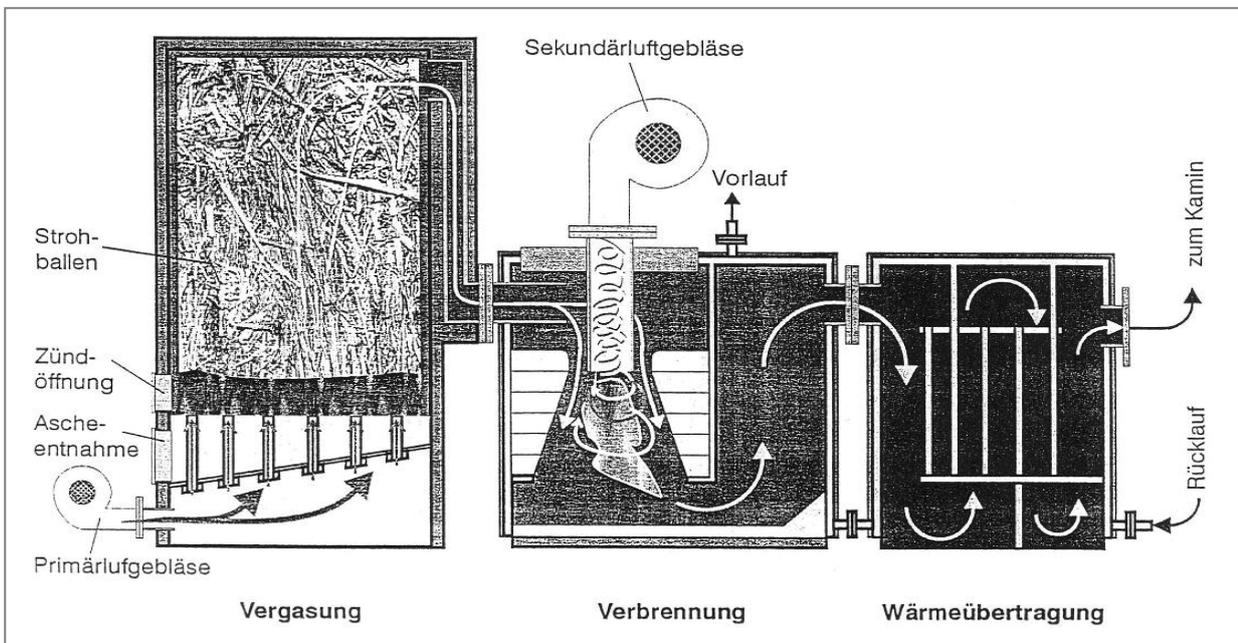


Abbildung 5-18: Versuchsanlage der Universität Rostock (Abbildung: [142])

Durch die hohen Temperaturen von 1200 °C sollen bereits gebildete Dioxine wieder zerstört werden. Die Wärmeauskopplung erfolgt über einen Abgaswärmeüberträger. Nach Abschluss der Ballenvergasung wird der verbleibende Restkohlenstoff verbrannt und anschließend ein neuer Ballen manuell in die noch heiße Anlage eingesetzt [142].

Vergaserheizkessel der Firma Hertz

Das Prinzip dieses Vergaserheizkessels (Abbildung 5-19) ist dem der Versuchsanlage der Universität Rostock sehr ähnlich. Die Anlage besteht im Wesentlichen aus einem thermisch isolierten, keramisch ausgekleideten und wassergekühlten Vergaserraum, der Nachbrennkammer, dem Wärmeübertrager mit Zyklonwirkung sowie der Steuer- und Regeleinrichtung.

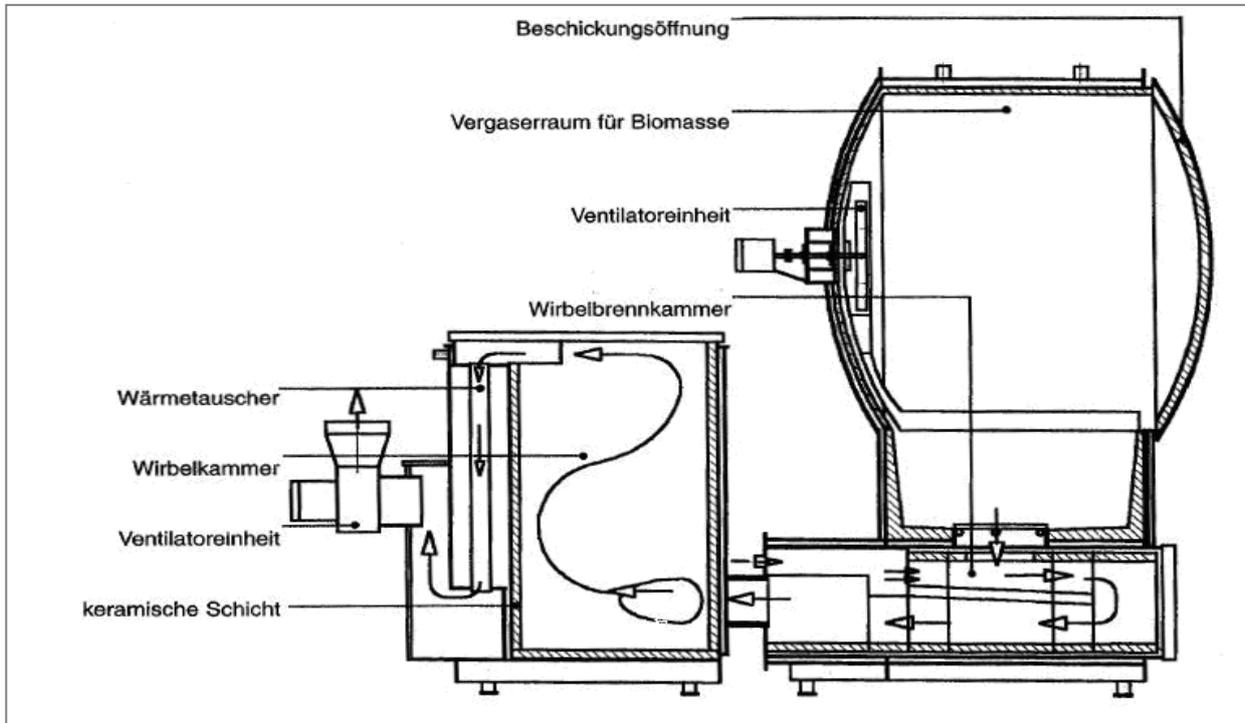


Abbildung 5-19: Prinzipskizze des Vergaserheizkessels der Fa. Herlt (Abbildung : [143])

Nach dem Anheizen des Kessels werden die Strohballen diskontinuierlich in den Vergaserraum eingebracht. Dort läuft die Strohvergasung mittels Primärluftzugabe bei einer Temperatur von 600-800 °C ab. Die entstehenden Prozessgase gelangen mittels Unterdruck in die darunter liegende Brennkammer und werden dort mit Sekundärluft bei einer Temperatur von 900-1000 °C verbrannt. Während ein Teil der Abgase in den Vergaser zurück geleitet wird, gelangt der andere Teil in den Wärmeübertrager. Dieser ist als Rohrbündelwärmeübertrager mit vorgeschalteter Wirbelkammer zur Staubabscheidung ausgebildet. Das Abgas verlässt den Kessel mit einer Temperatur von 140-160 °C. [143], [144], [145]. In einem Pilotprojekt, gefördert durch das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, erfolgten umfangreiche Untersuchungen sowie technische Modifikationen zur emissions- und baurechtlichen Genehmigung des Strohballenvergaser der Fa. HERLT in Wiesenburg bei Zwickau. Nach 10-monatiger Testphase wurde der Kessel im Oktober 2003 von der Wiesenburger Land e. G. offiziell in Betrieb genommen. Die Zulassung des Kessels erfolgte für die Brennstoffe Holz (zum Anfeuern) und Getreidestroh. Auf Grund der enormen Potenziale an Heu und der häufigen Nachfrage der Landwirte nach einer sinnvollen Verwertung wurden Untersuchungen zum Abbrand- und Emissionsverhalten im Ganzballenvergaser HSV 145 durchgeführt. Die Ergebnisse können Tabelle 5-16 entnommen werden.

Tabelle 5-16: Emissionen (Halbstundenmittelwerte) beim Abbrand von Heuballen im HERLT-Ganzballenvergaser HSV 145 der Wiesenburger Land e. G. im Jahr 2003 im Vergleich zu den Grenzwerten der TA Luft, alle Angaben auf 11 Vol.-% Sauerstoff im Abgas bezogen [16,133]

Ballen	Brennraumtemperatur (°C)	CO in mg/m ³ N	NO _x in mg/m ³ N	Gesamt-C in mg/m ³ N	Staub in mg/m ³ N
1 (4 Messungen)	648 - 710	45 - 76	406 - 444	6 - 12	63 - 121
2 (1 Messung)	702	5	780	10	n. b.
Mittelwert	688	50	494	9	92
Grenzwert	-	250	500	50	50

n. b. – nicht bestimmt

Als unproblematisch erwiesen sich die Kohlenstoffmonoxid- und Gesamt-Kohlenstoff-Emissionen, während die Konzentration der Stickstoffoxide (NO_x) teilweise oberhalb des Grenzwertes lag. Deutlich überschritten wurde der Grenzwert für Staub. Dies hat dazu geführt, dass die Heuverbrennung des Herstellers der Wiesenburger Anlage heute mit Staubabscheidesystemen (zum Beispiel Zyklonen, Gewebe- oder Elektrofiltern) angeboten wird. Seitens der Emissionsmessungen beim Abbrand von Heuballen kann gesagt werden, dass die Einhaltung der Grenzwerte der TA-Luft als durchaus machbar eingeschätzt werden kann. Um diesen Reststoff in der Strohvergasungsanlage nutzen zu können, müssen jedoch technische Maßnahmen zur Reduzierung insbesondere der Feinstaubemissionen getroffen werden [16].

Strohheizwerk Schkölen

Das Strohheizwerk Schkölen (Abbildung 5-20) wurde 1992 in Betrieb genommen und im Jahr 2005 nach Betreiberangaben aufgrund von Unwirtschaftlichkeit auf den Brennstoff Holzhackschnitzel umgestellt. Bei der Anlagenbeschreibung wird entsprechend der Aufgabenstellung die Verbrennung von Stroh betrachtet. Das Strohheizwerk umfasst die Anlagenteile Strohlager, Strohkesselanlage, Abluftreinigung, Heizölkesselanlage zur Deckung der Spitzenlast und die Fernheizanlage. Die Strohballen werden mit einer Beschickungseinrichtung über ein lastabhängiges Vorschubsystem zum Brenner gefördert. Dieser ist als Zigarrenbrenner speziell für Stroh und strohähnliche Stoffe ausgelegt. Die Luftzufuhr erfolgt über Primär- und Sekundärluftklappen mit einem regelbaren Luftgebläse, wobei die Sekundärluft als Rostluft über fünf Klappen manuell einstellbar ist. Eine Automatik überwacht die Position der Flammenfront, in dem sie das Vorschubsystem reguliert. Der Verbrennungsrost wird zur Kühlung kontinuierlich mit Wasser durchströmt, wodurch Anbackungen und Schlackebildungen verhindert werden. Die Asche wird vom Rost mit Hilfe eines Schabers in einen Asche- und Schlackecontainer transportiert. Die Wärmeübertragung wird im Kessel in einem Strahlungs- und einem Konvektionsteil realisiert. Den Strahlungsteil bilden dabei der Verbrennungsraum und der Übergang zum Konvektionsteil. Der Konvektionsteil selbst besteht aus fünf senkrechten Rohrsektionen. Zur Abgasreinigung sind dem Kessel ein Zyklon sowie ein Gewebefilter nachgeschaltet [146], [147], [134].

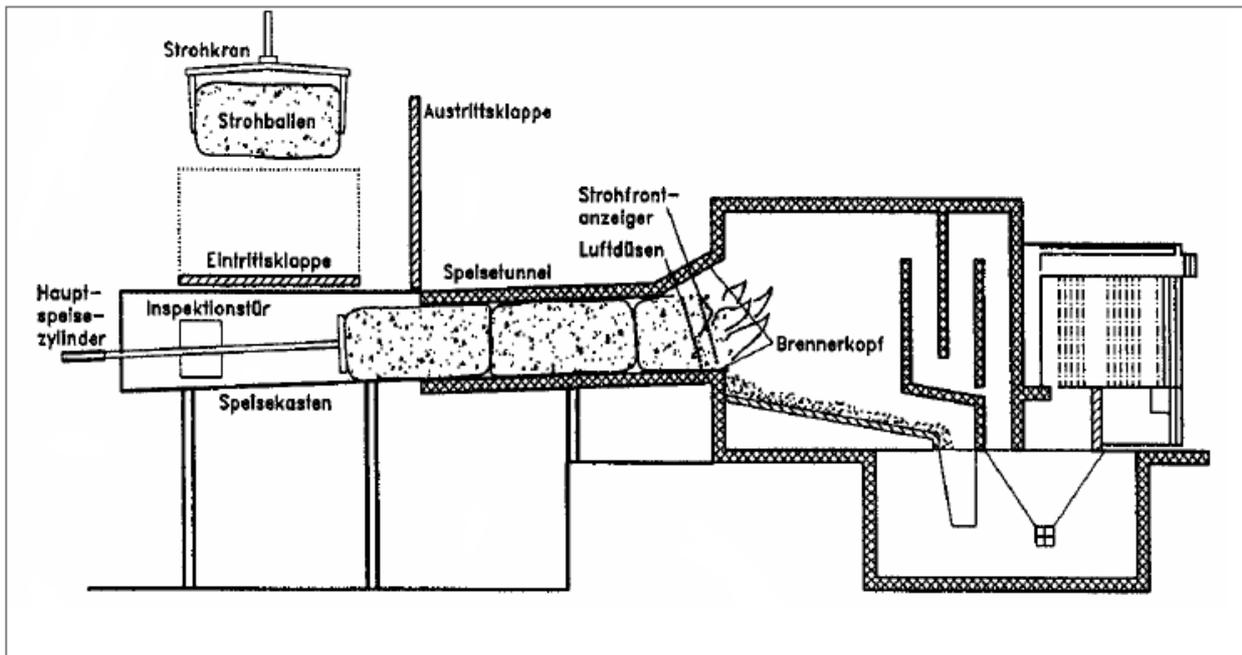


Abbildung 5-20: Prinzipskizze des Strohheizwerks in Schkölen (Abbildung : [146])

Bioheizwerk Jena

Beim Bioheizwerk Jena (Abbildung 5-21) handelt es sich um eine Anlage der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), die als Strohballenfeuerung mit Scheibenteiler ausgeführt ist. Mit einer installierten Kesselleistung von 1,7 MW deckt das Heizwerk den Wärmebedarf mehrerer Institutsgebäude. Als Brennstoffe sind sowohl Stroh als auch Ganzpflanzenmaterial in Großballenform einsetzbar. Die Ballen werden auf ein Transportband aufgelegt und einem Ballenteiler mit Kipptisch zugeführt. Nach dem Aufrichten des Ballens schneidet ein Messer eine ca. 30 cm hohe Scheibe vom Ballen ab, die anschließend nach einem konfigurierbaren Puls/Pause-Rhythmus hydraulisch in den Kessel eingebracht wird. Der verwendete Kessel der Firma LINKA arbeitet nach dem Prinzip der Rostfeuerung mit Vorvergasung. Die Reinigung der Rauchgase erfolgt über einen Zyklon und einen Tuchfilter. Der Aschetransport wird über Austragungsschnecken realisiert. Zum Heizwerk gehört ein Wärmespeicher mit einem Fassungsvermögen von 55 m³. Der Betrieb des Kessels erfolgt stets bei Nennlast. Ist der Speicher vollständig aufgeheizt, wird die Brennstoffzufuhr gestoppt. Das im Kessel verbleibende Glutbett ist nach Angaben des Bedienpersonals für eine erneute Zündung auch nach mehreren Stunden ausreichend [148].

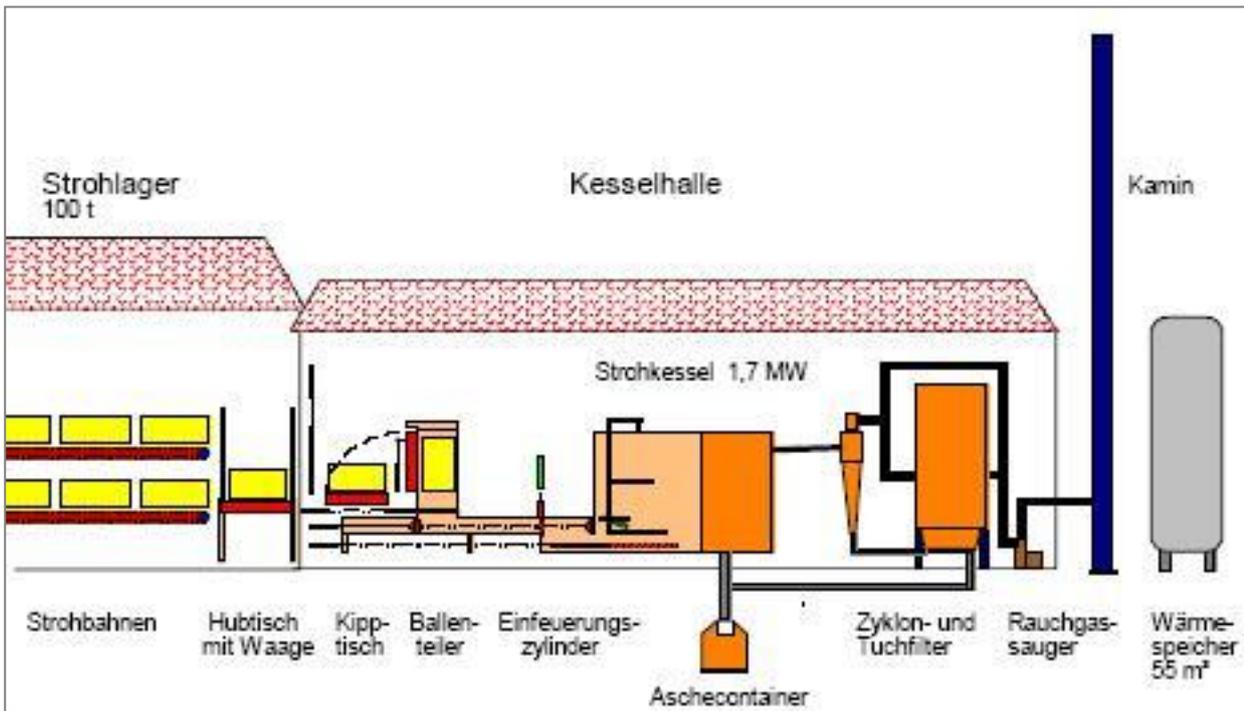


Abbildung 5-21: Prinzipskizze des Bioheizwerks Jena (Abbildung : [148])

Häckselgutfeuerungen

Strohheizkessel der Firma Passat Energi A/S (Dänemark)

Der im Gutsbetrieb Denbina in Dennin installierte Strohheizkessel der Firma Passat Energi A/S mit einer Leistung von 663 kW (Abbildung 5-22) wurde im Jahr 1994/95 zur Deckung des Eigenwärmebedarfs in Betrieb genommen. Die Anlage besteht im Wesentlichen aus einem Ballenauflöser, der dreizügigen Kesselanlage, einer Abgasreinigung in Form eines Zyklons, eines Gewebefilters sowie aus einem Pufferspeicher. Die Anlage arbeitet nach dem Ballenauflöserprinzip. Dabei wird das Stroh nur unwesentlich zerkleinert und kann noch eine Länge von maximal 10 cm besitzen. Der Transport der Strohhalme erfolgt pneumatisch in einem Vorratsbehälter in Zyklonform. Die zu feinen Teile werden über das Dach mit der Luft ausgetragen. Bei einer Brückenbildung im Zyklon wird durch einen Sensor der Alarm aktiviert, woraufhin diese manuell beseitigt werden muss. Der Transport des Strohs aus dem Vorratsbehälter in den Kessel erfolgt über eine Zellradschleuse und eine anschließende Schnecke. Die Brennkammer ist nach Herstellerangaben als Verbrennungsretorte ausgeführt. Dabei erfolgt die Luftzufuhr und somit eine Verwirbelung des Brennstoffes von den Seiten über die gesamte Brennkammerlänge. Am Ende der Brennkammer wird das Brenngas umgelenkt und strömt an der Oberseite der Brennkammer entlang, bevor es in den Wärmeübertrager eintritt. Die Asche wird an der Brennkammerunterseite durch einen Ascheschieber in den vorderen Bereich transportiert und dort ausgetragen. Die Abgase werden abschließend mit einem Zyklon und einem Gewebefilter vom Hauptteil der Staubfracht gereinigt [149].

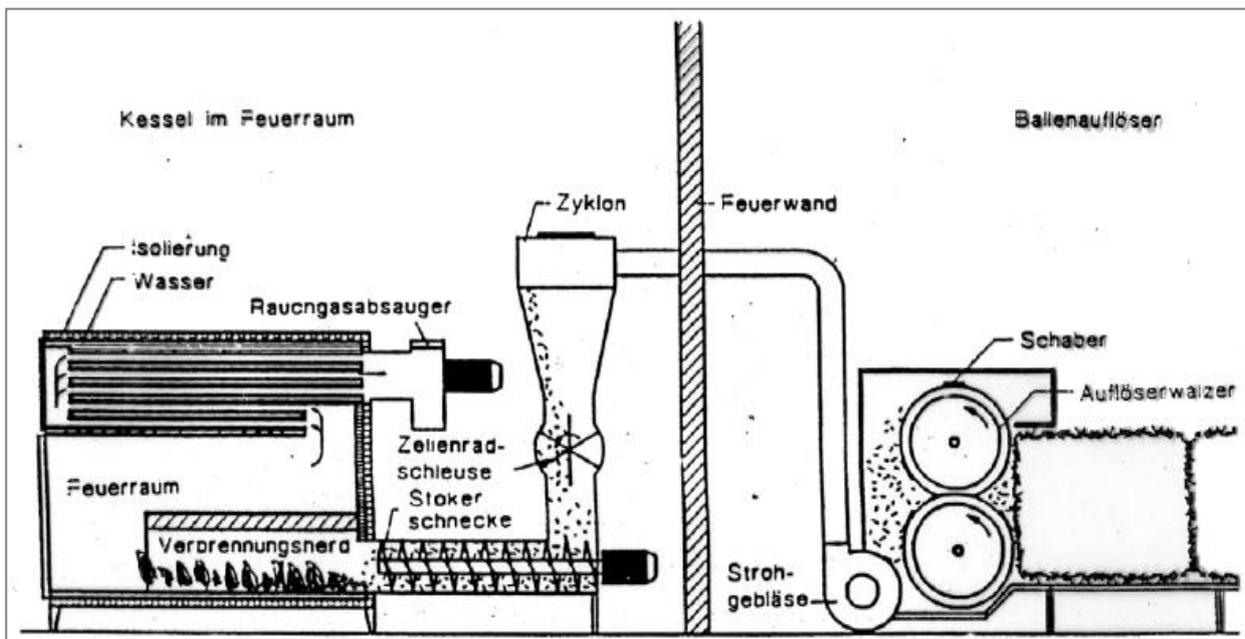


Abbildung 5-22: Prinzipskizze des Strohheizkessels der Firma Passat Energi A/S (Abbildung : [149])

Strohheizwerk Dobersberg (Österreich)

Der Strohkessel des Heizwerkes dient mit einer Leistung von 2,5 MW der Deckung des Wärmebedarfs in den Wintermonaten und wird durch einen Hackschnitzelkessel für geringe Leistungsabnahmen im Sommer sowie durch einen Heizölkessel für Spitzenlastbetrieb ergänzt. Die Brennstoffzufuhr für die Anlage erfolgt über die automatische senkrechte Einbringung der Strohballen in einen Fallschacht und der anschließenden Einbringung des Stroh in die Brennkammer über einen Doppelschereinschub. Dieser Einschub gewährleistet eine variable Strohdosierung sowie eine Rückbrandsicherung. Der Feuerraum besteht aus mit Schamotte ausgekleidetem und nach außen isoliertem Stahl. Über den Drei-Zonen-Vorschubrost wird der Brennstoff vom Einschub nach unten bewegt. Die Luftzufuhr erfolgt in drei verschiedenen Zonen, wobei die Primärluft unterhalb des Rostes, die Sekundärluft über dem Glutbett und die Tertiärluft an den oberen Kesselseiten zugeführt wird. Somit erfolgt eine zonengetrennte Verbrennung, die aufgrund der mehrfachen Umlenkung der Gase und den somit längeren Verweilzeiten einen optimalen Ausbrand ermöglicht. Um eine stationäre und gleichmäßige Verbrennung zu gewährleisten, sollte außerdem eine gleichmäßige Rostbedeckung verwirklicht werden, die mit Hilfe eines Infrarot-Sensors überwacht wird [150], [143]. Um eine Kontrolle der Feuerraumtemperatur zu ermöglichen, ist außerdem eine Rauchgasrezirkulation vorgesehen. Überschreitet die Feuerraumtemperatur 1000 °C, wird diese zugeschaltet und gegebenenfalls die Brennstoffzufuhr gedrosselt. Der Brennkammer nachgeschaltet ist ein dreizügiger, stehender Wärmeübertrager, dessen Reinigung manuell erfolgt. Um eine Unterschreitung der Mindestabgastemperatur zu vermeiden, kann ein Zug des Wärmeübertragers im Teillastbetrieb abgeschaltet werden. Die aus dem Wärmeübertrager austretenden Rauchgase werden über ein Saugzuggebläse dem zweifeldrigen Elektroabscheider zugeführt und gelangen anschließend in den Abgaskanal [150], [143].

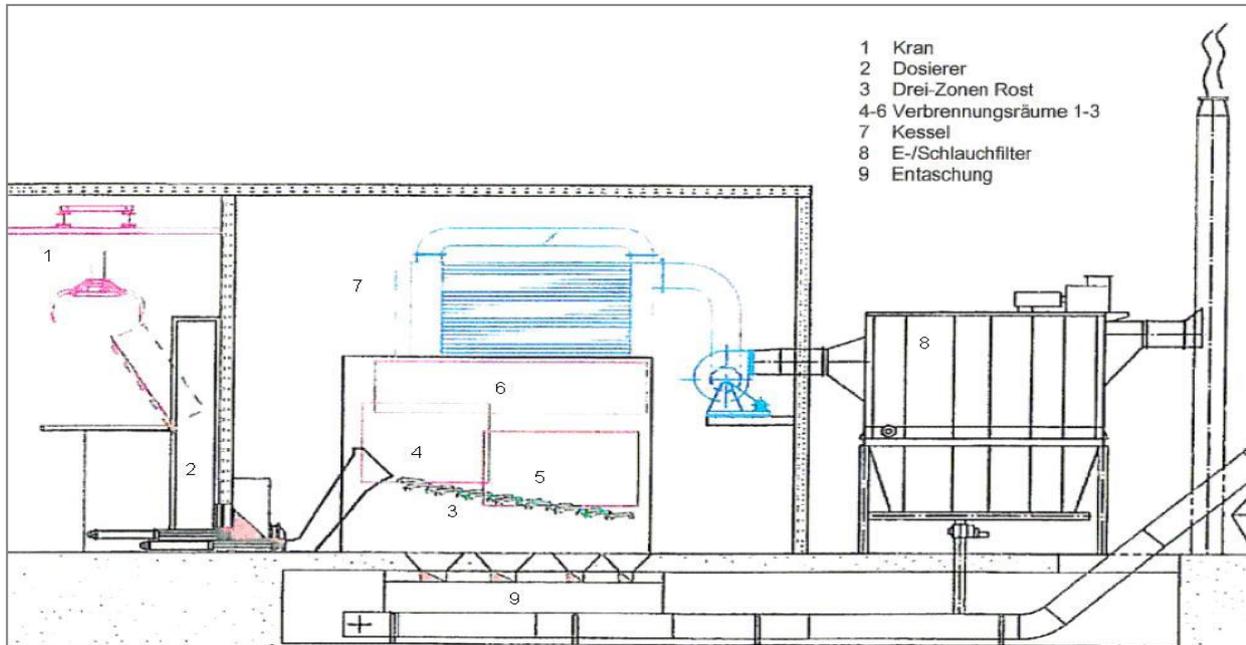


Abbildung 5-23: Prinzipskizze der Strohverbrennungsanlage der Gemeinde Dobersberg (Abbildung: [150])

Miscanthusheizwerke BioEnergie Hoffenheim GmbH, Kloster Himmerod und Pichl (Österreich)

Die BioEnergie Hoffenheim GmbH betreibt seit Oktober 2010 derzeit Deutschlands größtes Heizwerk, das mit Miscanthushäckseln ca. 70 gewerbliche, kommunale und private Kunden versorgt. Hierbei kommen zwei Kesselanlagen der Firma Ökotherm, Typ C6 (FWL: 700 kW) und C3 (FWL: 240 kW) zum Einsatz. Die Anlage ist nach der 4. BImSchV (TA-Luft) genehmigt und entsprechend mit einer zweistufigen Filteranlage je Kessel bestehend aus Hochleistungs-Multizyklon und innovativem Rauchgasgewebefilter ausgerüstet. Die Kesselanlagen sind prinzipiell auch zur Verbrennung von alternativen Biomassepellets geeignet [151]. Eine baugleiche Anlage, bestehend aus zwei Heizkesseln mit einer Nennwärmeleistung von 395 kW wird seit 2008 auf Contracting-Basis betrieben. Das Heizwerk nutzt als Brennstoff Miscanthus [151]. Darüber hinaus wird seit 2002 in Pichl/Österreich ein Miscanthus/Stroh-Heizwerk mit einer Nennwärmeleistung von 750 kW betrieben. Hier kommt eine Kesselanlage der Firma Reka zum Einsatz, die mit einem Ballenauflöser und einer Rauchgasreinigung mit Gewebefilter ausgestattet wurde. Über ein Nahwärmenetz werden verschiedene öffentliche Einrichtungen und private Haushalte mit Wärme versorgt. Die Kesselanlage ist prinzipiell auch zur Verbrennung von alternativen Biomassepellets geeignet. Eine ähnliche Ausführung für den Einsatz im kleinen Leistungsbereich kann aus dem Anlagensteckbrief im Anhang A 6 entnommen werden.

BEKW Bioenergiekraftwerk Emsland (im Bau)

Die Bioenergiekraftwerk Emsland GmbH & Co. KG plant in Emlichheim (Niedersachsen) die Errichtung eines strohbefeuerten Heizkraftwerks. Die Verbrennungsanlage ist für 10,2 MW Bruttostromleistung

und 49,8 MW Feuerungswärmeleistung konzipiert. Eine Nettostromleistung von 9 MW wird in das öffentliche Netz eingespeist. An die benachbarte Stärkefabrik der Emsland Group werden Prozesswärme und -dampf geliefert. Für den Betrieb des Kraftwerks werden jährlich etwa 75.000 t Stroh benötigt. Dieser Rohstoff stammt aus dem regionalen Getreideanbau im Umkreis von durchschnittlich 60 km. Die Kesselanlage der Firma Burmeister & Wain Energy AS (DK) zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung basiert auf dem klassischen Rankine-Prinzip, welches durch die Erzeugung von Dampf in einer Kesselanlage und dessen Entspannung in einer Turbine gekennzeichnet ist. Somit ist der in Abbildung 5-24 dargestellte Aufbau weitgehend mit dem eines konventionellen Kraftwerkes identisch. Die Strohballen werden über eine Brennstoffbrücke vom Strohlager (1) zum Kesselhaus geführt. Am Ende der Förderbänder befinden sich neuentwickelte Ballenauflöser (2), die durch langsame Rotation von stirnseitig angeordneten Schaufeln die Ballen aufreißen. Nach der Einbringung des losen Strohs in den Feuerraum (3) verbrennt dieses auf einem speziellen wassergekühlten Vibrationsrost (4). Die anfallende Asche wird über eine Nassentaschung (5) aus dem Kessel geführt. Die Rauchgase werden zur Minimierung von Emissionen gereinigt (9, 11). Die bei der Verbrennung entstehende Wärme wird im ersten Schritt über die Kesselwandungen (3) zum Verdampfen des Wassers genutzt. Eine Trennung von Speisewasser und Dampf erfolgt in der Dampftrommel, die sich oberhalb des Kessels befindet. In den nachgeschalteten Überhitzern (6) erfolgt eine weitere Überhitzung des Dampfes auf die Endtemperatur von 522 °C. Dieser Dampf wird anschließend zur Dampfturbine (13) geführt, über einen angekoppelten Generator (14) wird elektrische Energie erzeugt. Zum Zwecke der Kraft-Wärme-Kopplung ist die Dampfturbine mit einer geregelten Entnahme für Prozessdampf (14 bar) ausgerüstet [152].

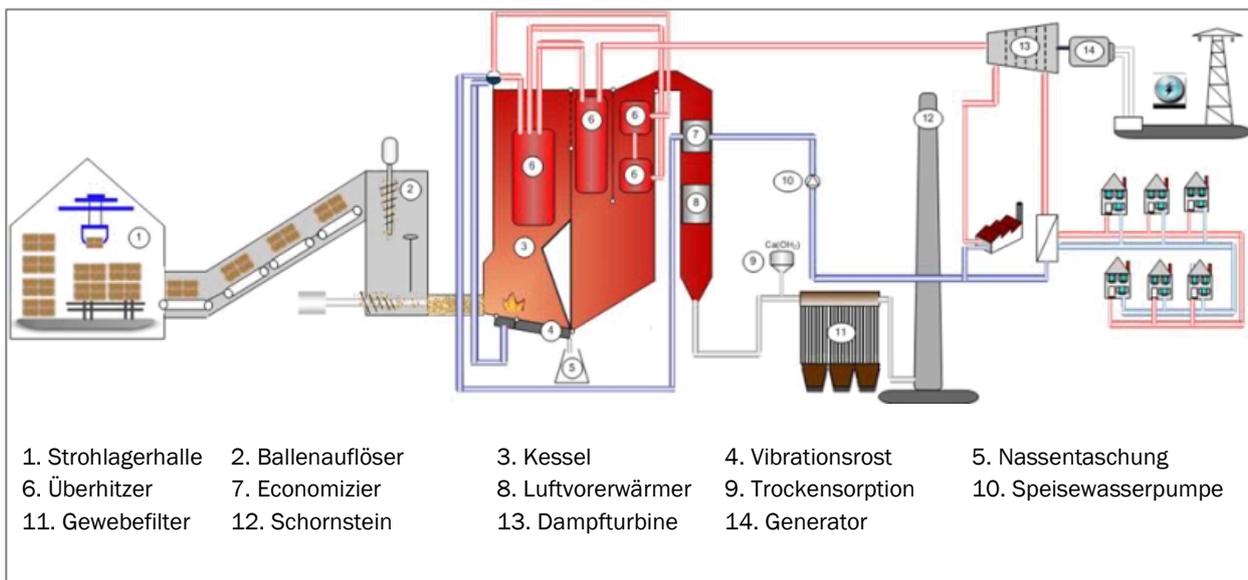


Abbildung 5-24: Schema des geplanten Stroh-Heizkraftwerkes in Emlichheim (Abbildung: [152])

Versuchsanlage in Sonnenbühl

In Sonnenbühl (Baden-Württemberg) wird seit 2005 eine modifizierte Feuerungsanlage des dänischen Herstellers REKA A/S, Typ HKRST FSK mit einer Nennwärmeleistung von 30 kW auf Heubasis

betrieben. Die Kesselanlage ist prinzipiell auch zur Verbrennung von alternativen Biomassepellets geeignet. Eine ähnliche Ausführung für den Einsatz im kleinen Leistungsbereich kann aus dem Anlagensteckbrief in Anhang A 9 entnommen werden. Die Anlage wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes der Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen der Universität Stuttgart-Hohenheim in den Jahren 2004 und 2005 wissenschaftlich begleitet. Die Anlage ist mit einem Ballenauflöser ausgerüstet, der auf ein Zuführband aufgelegte Heuballen nach Anforderung des Heizkessels einzieht, auflöst und das Heu zerkleinert. Das zerkleinerte Heu kann dann über Zuführschnecken in den Brennraum gefördert und verbrannt werden. Heizkessel und Ballenauflöser sind in einem Container montiert. Der Heizcontainer ist über einen Fallschacht mit einer Scheune verbunden, von der aus die Beschickung der Anlage mit Heuballen erfolgt. Während der Versuchsreihen wurde ein Edelstahl-Gewebefilter bestehend aus zwei Filterpatronen eingesetzt, wobei die Filterpatronen mit einer innen liegenden elektrischen Beheizung ausgestattet waren. Die hier als Versuchs- und Demonstrationsanlage eingesetzte Verbrennungsanlage für Heu war bewusst in einer kleinen Größe gewählt, um das Risiko und auch den Versorgungsaufwand für eine erste derartige Anlage möglichst gering zu halten. Aus den Versuchsergebnissen zeigte sich, dass eine zusätzliche Staubfilterung des Abgases erforderlich ist, um die Grenzwerte der 1. BImSchV einzuhalten. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigte, dass beim Einsatz von Häckselgut bei größeren Verbrennungsanlagen deutliche Vorteile im Betrieb gegeben sind [140].

5.2.4 Stand der Wissenschaft und Praxis

In der Praxis hat die Verbrennung von Heu bisher kaum Relevanz, da die energetische Nutzung, ähnlich wie bei Stroh, verbrennungstechnische Probleme mit sich bringt, die bisher, vor allem auch unter ökonomischen Gesichtspunkten nur schwer beherrschbar sind. Der aktuell im Vergleich zu Holz nahezu vernachlässigbare Einsatz von Stroh und anderen Halmgütern bei der Deckung des Energiebedarfs in Deutschland liegt unter anderem in der nur eingeschränkt verfügbaren Feuerungsbeziehungsweise Gesamtanlagentechnik, mit der die gesetzlichen Auflagen sicher eingehalten werden können sowie stark schwankenden Preisen fossiler Brennstoffe und bisher häufig nur geringen Brennstoffpreisvorteilen gegenüber Holz begründet. Bisherige Forschungsergebnisse zeigen somit einen deutlichen Optimierungsbedarf beim Einsatz von Heu in Verbrennungsanlagen auf, wobei neben der anlagenseitigen Optimierung besonders die Optimierung der brennstofftechnischen Eigenschaften von großer Bedeutung ist. Wichtig ist dabei eine Abstimmung der Aufbereitungsform des Brennstoffes auf die Verbrennungsanlage, die zur Ableitung von technisch funktionierenden regionalen Konzepten befähigt. Daher wird in dem vorliegenden Projekt auch zunächst eine Pelletierung des Heus vorgenommen, um über diesen Weg der Qualitätsverbesserung des Brennstoffs den deutlich problematischen Verbrennungseigenschaften des Brennstoffs Heu insbesondere beim Einsatz in Kleinf Feuerungsanlagen zu begegnen.

Grundsätzlich sind bestehende Kesselanlagen bei entsprechender Modifizierung auch zur Verbrennung von Heu geeignet. Dabei ist jedoch zu betonen, dass derartige Anlagen bisher individuelle Lösungen darstellen, die aufgrund der beschriebenen technischen Herausforderungen eine intensive Betreuung erfordern. Vor allem fehlen Langzeiterfahrungen bezüglich des Wartungsaufwandes und der Behebung möglicher Korrosionsschäden bei der energetischen Verwertung von Heu. Weiterhin ist entsprechend der 1. BImSchV für alle Feuerungen, die mit Regelbrennstoffen nach § 3, Absatz 1, Nummer 8 befeuert werden sollen, eine Typprüfung einschließlich einer Dioxin- und

Furanmessung erforderlich. Aufgrund der aktuell auf dem deutschen Markt noch bestehenden rechtlichen Unklarheiten der Ausgestaltung der Typprüfung (Stand 31.12.2012) sowie den hohen Kosten dieser Messung und der Vielzahl der notwendigen Einzelprüfungen gibt es derzeit keine für die Heuverbrennung zugelassene Feuerung im Leistungsbereich < 100 kW. Zudem ist zur Einhaltung des Staubgrenzwertes der 1. BImSchV der Einsatz von Staubabscheidern notwendig. Abscheider sind, als Sekundärmaßnahmen der Staubreduktion, derzeit Bestandteil verschiedener Forschungsvorhaben, wobei bisher nur wenige anlagentechnische und ökonomische Lösungen im Leistungssegment < 100 kW am Markt verfügbar sind. Für die Weiterentwicklung und Optimierung geeigneter Feuerungs- und Staubabscheideanlagen sowie zur Heuaufbereitung sind weitere systematische Forschungsarbeiten erforderlich. Eine umweltverträgliche Heuverbrennung sollte möglich sein.

5.2.5 Verbrennungsversuche im Rahmen des Projekts

Ziel der Verbrennungsversuche im Rahmen dieses Projekts war es, für das anfallende Heu aus der Havellandregion ein optimales Verbrennungskonzept zu entwickeln. Nachfolgend werden die zugrunde liegende Methodik dargestellt und die Ergebnisse diskutiert.

Methodik

Auswahl der Brennstoffe

Die Auswahl der Brennstoffe erfolgte anhand deren Elementarzusammensetzung, welche in Tabelle 5-17 dargestellt ist. Besonderes Augenmerk lag auf den hinsichtlich der Verschlackungsneigung und Freisetzung von Emissionen als kritisch einzuschätzende Elemente Stickstoff, Schwefel, Chlor und Kalium.

Tabelle 5-17 Übersicht der Analysen der zur Verfügung gestellten Heuchargen im Vergleich mit Literaturwerten von Fichtenholz [75]

Herkunft/Beschreibung		Charge	Wasser- gehalt	Asche- gehalt	Hu	C	H	N	S	Cl	K
			Ma.- %FM	Ma.- %TM	MJ/kg TM	Ma.- %TM	Ma.- %TM	Ma.- %TM	Ma.- %TM	Ma.- %TM	Ma.- %TM
Havellandhof Ribbeck GbR	Niedermoor, Gülle- düngung	A	9,6	5,1	17,41	46,1	5,85	1,30	0,10	0,24	1,84
Märkischer Hof Selbelang	Niedermoor, extensive Bewirt- schaftung, keine Düngung	B	10,4	5,0	17,63	46,8	5,97	1,20	0,24	0,66	0,48
Havelluch Agrar GmbH Pessin	Niedermoor, extensive Bewirt- schaftung, Mineral- düngung ohne N	C	9,2	4,8	17,63	46,8	6,03	1,83	0,24	0,71	0,38
Ackerbau und Landschafts- schutz GmbH Stechow	Niedermoor, keine Düngung	D	9,7	8,0	16,49	44,5	5,83	1,50	0,13	0,20	2,44
Grünland- verband Berlin	mineralische Böden, trockner Standort, ohne Düngung	E	8,8	5,7	17,52	45,7	5,99	1,61	0,23	0,86	1,12
Fichte mit Rinde	Mittewert mehrerer Analysen	-	-	0,6	18,8	49,8	6,3	0,13	0,015	0,005	0,13

Wie zu erkennen ist, unterscheidet sich das angelieferte Heu neben dem Herkunftsort insbesondere in der Art der Bewirtschaftung der fünf Standorte. So wurde Grünschnitt von Standorten mit extensiver beziehungsweise intensiver Bewirtschaftung analysiert. Der Wassergehalt der gelieferten Heuchargen war mit durchschnittlich 9,5 Ma.-% sehr konstant. Auch der Aschegehalt und der Heizwert waren mit Werten um ca. 5 Ma.-% beziehungsweise 17,3 MJ/kg sehr ähnlich. Lediglich die Charge D zeigt abweichende Werte, wobei hier aufgrund des hohen Aschegehaltes von 8 Ma.-% der Heizwert um etwa 1 MJ/kg niedriger ausfällt. Dieses Verhalten lässt sich auch an der Konzentration von Kohlenstoff und Wasserstoff erkennen. Die Konzentrationen der übrigen Elemente weisen starke Schwankungen je nach Herkunft auf, so dass Konzentrationsunterschiede vom 1,5-fachen bei Stickstoff bis zum 6,5-fachen bei Kalium zu verzeichnen waren. Um das gesamte Spektrum der Eigenschaften des Heus und das daraus resultierenden Verbrennungs- und Emissionsverhalten abbilden zu können, wurden die Chargen A und B für die Verbrennungsversuche ausgewählt. Diese unterschieden sich deutlich hinsichtlich der Konzentration der verbrennungs- und emissionsrelevanten Elemente Kalium, Schwefel

und Chlor. Die Charge A weist sehr geringe Gehalte an Schwefel und Chlor auf, der Kaliumgehalt ist gegenüber der Charge B jedoch deutlich größer. Der Stickstoffgehalt ist ähnlich hoch. Demzufolge werden auch die Schadstoffemissionen bei der Verbrennung der beiden Chargen unterschiedlich hoch ausfallen, wodurch eine Abschätzung der Bandbreite der Emissionen resultierend aus den verschiedenen Standortbedingungen (zum Beispiel Düngungsregime) möglich ist.

Brennstoffe und optimierte Varianten

Das Versetzen des Brennstoffs mit einem oder mehreren Additiven ist eine gängige Methode um die Abbrand- und Emissionseigenschaften von halmgutartigen Brennstoffen zu verbessern. Insbesondere die Verschlackungsneigung und die Feinstaubemissionen lassen sich im Vergleich zu den nicht additivierten Ausgangsbrennstoffen optimieren.

Die relativ niedrigen Ascheschmelztemperaturen von Halmgütern resultieren zum großen Teil aus den hohen Konzentrationen an Kalium, welches den Ascheschmelzpunkt in niedrigere Temperaturbereiche verschiebt. Weiterhin können auch Chloride und niedrigschmelzende Alkalisilikate dazu beitragen. Dagegen bewirken vor allem Calcium und Magnesium eine Erhöhung der Ascheschmelztemperatur [126]. Daher ist es möglich, durch Zugabe von calciumhaltigen Additiven wie beispielsweise Calciumcarbonat (CaCO_3) oder Alkalien bindenden Zuschlagstoffen, wie beispielsweise Kaolin - ein Alumosilikat, die Ascheschmelztemperatur zu erhöhen und so die Verschlackungen zu reduzieren [131]. Ein weiterer Effekt besteht in der Verminderung der Feinstaubemission wenn Additive wie Kaolin oder Dolomit (magnesiumhaltiger Kalkstein, $\text{CaMg}(\text{CaO}_3)_2$) zugesetzt werden, wobei es jedoch zu einem Anstieg der SO_2 - und HCl-Emissionen kommen kann [153].

Vor diesem Hintergrund wurden den beiden ausgewählten Heuchargen A und B einerseits Kalk (CaCO_3) und andererseits Kaolin in unterschiedlichen Anteilen zugegeben um das Ausmaß der Emissionsminderungen in Abhängigkeit vom verwendeten Additiv und dessen Anteil beurteilen zu können. So standen letztlich neun Brennstoffchargen zur Verfügung (Tabelle 5-18). Bezüglich Charge A war aufgrund geringer Brennstoffmenge die Variante mit einem Anteil von 3 Ma.-% Kaolin nicht verfügbar.

Tabelle 5-18: Übersicht der hergestellten Pelletchargen mit jeweiligem Additiv

Charge	Erläuterung	Kürzel
Charge A	Heupellets ohne Additiv	ohne Additiv
	Heupellets mit 1 Ma.-% CaCO ₃	1 % CaCO ₃
	Heupellets mit 3 Ma.-% CaCO ₃	3 % CaCO ₃
	Heupellets mit 1 Ma.-% Kaolin	1 % Kaolin
Charge B	Heupellets ohne Additiv	ohne Additiv
	Heupellets mit 1 Ma.-% CaCO ₃	1 % CaCO ₃
	Heupellets mit 3 Ma.-% CaCO ₃	3 % CaCO ₃
	Heupellets mit 1 Ma.-% Kaolin	1 % Kaolin
	Heupellets mit 3 Ma.-% Kaolin	3 % Kaolin

Kesselanlagen

Im Rahmen des Projekts wurden von den für die Verbrennung von Halmgütern und anderen schwierigen biogene Festbrennstoffe geeigneten Heizkesseln (vgl. Anhang A 9) zwei ausgewählt und für Verbrennungsversuche im Technikum des DBFZ bereitgestellt.

Der Heizkessel der Firma Ökotherm, Typ Compact CO - im Folgenden einfach „Kessel 1“ genannt, ist für den Einsatz von Holzhackschnitzeln und Holzpellets zugelassen und hat sich im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte auch beim Einsatz von nicht-holzartiger Biomasse bewährt. Insbesondere die Ausstattung mit einer wassergekühlten Brennmulde und die Verbrennungsluftführung sind hinsichtlich der Verbrennung problematischer Brennstoffe als vorteilhaft anzusehen. Weiterhin verfügt der Kessel über einen automatischen Ascheschieber, der leichte Ascheanbackungen und Verschlackungen lösen und in den Aschekasten transportieren kann.

Da der zweite Kessel eine Leihgabe des Herstellers ist, und mit diesem eine Geheimhaltungsvereinbarung besteht, erfolgt lediglich eine technische Beschreibung. Die nachfolgend „Kessel 2“ genannte Heizkesselanlage ist speziell für den Betrieb mit Getreide und Holzpellets geeignet und stellt den Stand der Technik dar. Aufgrund der anlagentechnischen Ausführung, mit einer speziellen Brennkammer mit einem vertikal ausgeführten Edelstahl-Rohrbündelwärmeübertragers und mit einem automatischem Reinigungssystem, einem Schubrost sowie den regelungstechnischen Einrichtungen erscheint der Kessel auch für den Einsatz von halmgutartigen und anderen biogenen Brennstoffen in pelletierter Form geeignet. Weiterhin verfügt der Kessel über einen automatischen Vorschubrost und eine in Primär- und Sekundärluft gestufte Luftführung. Die Primärluft wird über Öffnungen im Rost zugespeist, während die Sekundärluft in der Ausbrandzone tangential zugeführt wird, um einen optimalen Gasausbrand in der Sekundärzone zu erreichen. Durch die Luftstufung kann eine, im

Vergleich zu anderen Kesselanlagen, niedrige Glutbetttemperatur erreicht und so das Auftreten von Verschlackungen minimiert werden.

Versuchsaufbau. Die beiden Kessel wurden zur Durchführung der Verbrennungsversuche auf einen Prüfstand im Technikum des DBFZ installiert. Der Versuchsaufbau umfasst dabei den Kessel (gegebenenfalls einen Brennstoffbehälter) an den zur Wärmeabnahme ein Rückkühlwerk angeschlossen ist. Durch die Rücklaufanhebung kann eine Mindestrücklauftemperatur von 60 °C sichergestellt werden. Zur Kontrolle des Vollastbetriebs der Kessel wird die abgegebene Nutzwärme von einem Wärmemengenzähler erfasst. Die Abgasanalyse und Feinstaubmessung erfolgt in einem isolierten, vertikale Abschnitt des Abgaskanals, in dem entsprechende Messstellen integriert sind, der sogenannten Abgasmessstrecke. Es wurden folgende Abgasbestandteile und Betriebsparameter erfasst.

Abgasbestandteile:

- Kohlenstoffmonoxid (CO)
- Stickstoffoxide (NO_x)
- Chlorwasserstoff (HCl)
- Schwefeldioxid (SO₂)
- gasförmige Kohlenwasserstoffe (Org.-C)
- Gesamtfeinstaub
- Wasserdampf (H₂O_g)
- Sauerstoff (O₂)

Betriebsparameter:

- Wärmeleistung
- Brennstoffmassenstrom (Brennstoffverbrauch)
- Temperaturen in verschiedenen Verbrennungszonen
- Kessel-, Rücklauf- und Abgastemperaturen
- Staudruck und Differenzdruck im Abgaskanal

Die meisten der gemessenen Betriebsparameter wurden lediglich als Hilfsgrößen für Umrechnungen oder zur Feststellung des jeweiligen Betriebszustandes genutzt. Sie werden in der nachfolgenden Auswertung nicht weiter betrachtet.

Gasförmige Emissionen. Zur Analyse der kontinuierlich erfassten Abgasbestandteile wurde ein Messsystem der Firma Ansyco GmbH verwendet, welches einen Gasanalysator Gasmeter CX 4000, einen Sauerstoffanalysator vom Typ PMA 100-L der Firma M&C TechGroup Germany GmbH, ein beheiztes Probenahmesystem und einen PC zur Steuerung und Datenaufzeichnung beinhaltet. Der Multikomponenten-Gasanalysator Gasmeter CX 4000 arbeitet nach dem Prinzip eines FTIR-Spektrometers, wodurch es möglich ist, die geforderten anorganischen Gase gleichzeitig zu erfassen (Tabelle 5-19).

Tabelle 5-19: Messgrößen, Messbereiche und Messfehler des verwendeten FTIR Gasmet CX 4000

Messgröße	Nachweisgrenze	Messbereich	Max. Messfehler
H ₂ O	0,2 Vol.-%	0 - 30 Vol.-%	± 0,5 Vol.-% bzw. 4 % FS
CO ₂	0,2 Vol.-%	0 - 25 Vol.-%	± 0,5 Vol.-% bzw. 4 % FS
CO	2 ppm	0 - 15.000 ppm	± 15 ppm bzw. 4 % FS
NO	3 ppm	0 - 2000 ppm	± 10 ppm bzw. 4 % FS
NO ₂	4 ppm	0 - 1500 ppm	± 5 ppm bzw. 4 % FS
SO ₂	3 ppm	0 - 2000 ppm	± 5 ppm bzw. 4 % FS
HCl	1 ppm	0 - 1000 ppm	± 2 ppm bzw. 4 % FS

* FS – Full Scale (Messbereichsendwert)

Die Konzentration der Kohlenwasserstoffe (Org.-C) wurde spezifisch anhand von hinterlegten Referenzspektren der Hauptkomponenten Methan, Ethen, Alkane, Aldehyde, Ketone und Carbonsäuren gemessen. Zusätzlich wurde ein Flammenionisationsdetektor installiert, um die gemäß TA Luft vorgeschriebene summarische Messung der Kohlenwasserstoffe zu gewährleisten. Die Funktionsweise des integrierten Sauerstoffanalysators PMA 100-L beruht auf dem physikalischen Messprinzip des Paramagnetismus. Der Messbereich ist von 0 bis 1 und 0 bis 100 Vol.-% O₂ frei parametrierbar.

Die Probeentnahme aus dem Abgas erfolgte mit Hilfe einer beheizten Entnahmesonde (Modell PSP 4000-H der Fa. M&C TechGroup). Es wurden alle gasbenetzten Teile der Emissionsanlage, das heißt der gesamte Bereich von der Entnahmesonde bis zur Messzelle beheizt (180 °C). Die Entnahmesonde ist weiterhin mit einem Filter zur Partikelabscheidung ausgerüstet, der vor jedem Versuch ausgewechselt wurde. Die Messung der Rohdaten erfolgte in Intervallen von 10 s im feuchten Abgas. Die Messwerte wurden mit einer entsprechenden Software aufgezeichnet. Um einen Vergleich der Messungen zu ermöglichen, wurden die Messwerte auf Normbedingungen (273,15 K, 101,325 Pa), trockenes Abgas und in einen einheitlichen Bezugssauerstoffwert von 13 Vol.-% umgerechnet. Aus den aufgezeichneten Daten wurden Viertelstundenmittelwerte gebildet. Für die weitere Auswertung wurden Mittelwerte der Viertelstundenmittelwerte während des stationären Betriebszustandes der Kessel berechnet.

Feinstaubemissionen. Die Bestimmung der emittierten Feinstaubmenge erfolgte diskontinuierlich entsprechend der VDI Richtlinie 2066, Blatt 1 [154] im Out-Stack-Verfahren. Für die geforderte isokinetische Absaugung eines Teilabgasstroms und dessen Volumenstromermittlung wurde die automatische Isokinetikregelung ITES der Fa. Paul Gothe GmbH eingesetzt. Der abgezweigte Teilstrom durchströmt die Entnahmesonde aus Titan und wird über den Quarzfilter (Fa. Munktell, Typ MK 360, Durchmesser 45 mm) geleitet, auf dem die Partikel abgeschieden werden. Während der Probenahme wurde die Entnahmesonde auf 160 °C thermostatiert, um ein Auskondensieren von Abgasbestandteilen zu vermeiden. Die in der VDI Richtlinie 2066 vorgeschriebene Probenahmedauer von 30 min musste auf 15 min verkürzt werden, da hohe Staubfrachten zu einem Zusetzen des Filters führten und daher eine isokinetische Probenahme nur für einen kürzeren Zeitraum

gewährleistet werden konnte. Für die weitere Behandlung der Filter wurden diese entsprechend den Standardarbeitsanweisungen des DBFZ zunächst eine Stunde bei 160 °C getrocknet, anschließend in einem Exsikkator äquilibriert und ausgewogen. Ebenso wie bei den gasförmigen Emissionen werden die Messwerte der Feinstaubmessungen auf Normbedingungen und einen Bezugssauerstoffwert von 13 Vol.-% umgerechnet. Pro Messversuch wurden mindestens drei Feinstaubmessungen durchgeführt.

Ergebnisse

Brennstoffanalysen

Wie aus den analysierten Brennstoffdaten ersichtlich ist (Tabelle 5-20), werden die Anforderungen der DIN EN 14961-6 an die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der neun Brennstoffe weitestgehend eingehalten. Bis auf eine Ausnahme (die Schüttdichte der Charge B, 3 % Kaolin) weisen alle Varianten die benötigte mechanische Festigkeit, den geringen Feinanteil und die Schüttdichte auf, um aus dieser Sicht in die qualitativ hochwertigere Klasse A der DIN EN 14961-6 eingeordnet werden zu können.

Die energieträgerspezifischen Eigenschaften – Wasser- und Aschegehalt sowie der untere Heizwert – erfüllen ebenfalls die Vorgaben der DIN EN 14961-6. Hier werden die Anforderungen teilweise deutlich unterschritten, wie beim Wassergehalt zu sehen ist oder überschritten, wie der verhältnismäßig hohe Heizwert der Pellets zeigt. Bezüglich dieser beiden Eigenschaften ist eine Einordnung in die Klasse A möglich, während der Aschegehalt meist nur eine Einordnung in die Klasse B zulässt. Die Charge A weist durchschnittlich einen höheren Aschegehalt als die Charge B auf und es ist erkennbar, dass durch die Nutzung eines Additivs (CaCO_3 beziehungsweise Kaolin) der Aschegehalt ansteigt. Aufgrund des höheren Aschegehalts der Charge A fällt auch deren Heizwert im Vergleich zu Charge B etwas geringer aus.

Hinsichtlich der normativen Elemente Stickstoff, Chlor und Schwefel erweisen sich Stickstoff und Schwefel als unkritisch, das heißt die Anforderungen der DIN EN 14961-6 können eingehalten werden. Es sind jedoch deutliche Unterschiede zwischen den Chargen A und B zu erkennen. So ist die Stickstoffkonzentration in der Charge B um das 1,1 bis 1,8-fache und die Schwefelkonzentration sogar um das 1,6 bis 2,0-fache höher als in der Charge A. Auch die Konzentration an Chlor zeigt dieses Verhalten. Hier ist die Konzentration in Charge B bis zu 3,1-fachen höher als in Charge A. Allerdings werden die in der DIN EN 14961-6 aufgeführten zulässigen Gehalte von $\leq 0,20$ Ma.-% mit Werten von 0,28 bis 0,53 Ma.-% deutlich überschritten. Einzige Ausnahme, mit einer Chlorkonzentration von 0,17 Ma.-%, ist die 1 % CaCO_3 -Variante der Charge A, wobei dieser Wert auffallend niedrig und dementsprechend kritisch zu beurteilen ist. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Ursache dieser Abweichung in der Inhomogenität des Ausgangsmaterials und der schwierigen Probenahme inhomogenen Materials zu begründen ist. Davon abgesehen ist von einer verstärkten Emission von chlorhaltigen Verbindungen (HCl, PCDD/F, Chloridsalze) auszugehen.

Tabelle 5-20: Brennstoffzusammensetzung der verschiedenen Chargen

Eigenschaft	Einheit	Charge A				Charge B					DIN EN 14961-6	
		ohne Additiv	1 % CaCO ₃	3 % CaCO ₃	1 Kaolin	ohne Additiv	1 % CaCO ₃	3 % CaCO ₃	1 % Kaolin	3 % Kaolin	Klasse A	Klasse B
Schütt-dichte	kg/m ³ FM	723	671	661	678	681	657	671	655	628	≥ 600	≥ 600
mech. Festigkeit	Ma.-% FM	98,6	98,3	97,8	97,7	97,9	98,4	98,9	98,3	97,1	≥ 97,5	≥ 96,5
Feinanteil	Ma.-% FM	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	≤ 2	≤ 3
Wasser-gehalt	Ma.-%	5,5	7,0	7,5	6,6	7,4	7,9	7,1	7,8	8,6	≤ 12	≤ 15
Asche-gehalt *	Ma.-% TM	7	7	9	8	4	5	6	6	7	≤ 5	≤ 10
unterer Heizwert	MJ/kg TM	17,2	17,1	16,8	17,0	17,9	17,6	17,3	17,5	17,2		
unterer Heizwert	kWh/ kg TM	4,8	4,7	4,7	4,7	5,0	4,9	4,8	4,9	4,8		
unterer Heizwert	MJ/kg FM	16,2	15,9	15,5	15,8	16,6	16,2	16,1	16,1	15,7	≥ 14,1	≥ 13,2
unterer Heizwert	kWh/ kg FM	4,5	4,4	4,3	4,4	4,6	4,5	4,5	4,5	4,7	≥ 3,9	≥ 3,7
Stickstoff	Ma.-% wf	0,7	0,8	0,8	0,8	1,3	1,1	0,9	1,1	1,1	≤ 1,5	≤ 2,0
Chlor	Ma.-% wf	0,33	0,17	0,28	0,34	0,49	0,53	0,33	0,34	0,48	≤ 0,20	≤ 0,30
Schwefel	Ma.-% wf	0,10	0,11	0,09	0,09	0,17	0,19	0,16	0,18	0,20	≤ 0,20	≤ 0,20

* bestimmt bei 550 °C

Aus den einzelnen Werten der Elementaranalyse ist es möglich, Aussagen über das Emissionsverhalten der Brennstoffe abzuleiten. Die Summe der Gehalte der für die Aerosolbildung wichtigen Elemente Schwefel, Chlor, Kalium, Natrium, Zink und Blei im Brennstoff kann als Indikator für die zu erwartende Höhe der Feinstaubemissionen herangezogen werden [155]. Je höher der Summenwert ist, umso höher ist die zu erwartende Feinstaubemission. Aufgrund der vielfältigen Einflüsse auf die Feinstaubbildung und das Verbrennungsverhalten generell können die aus der Elementaranalyse gebildeten Brennstoffindizes jedoch nur einen Anhaltspunkt bilden.

Tabelle 5-21: Chemische Zusammensetzung der Brennstoffpellets

	Einheit	Charge A				Charge B				
		ohne Additive	1 % CaCO ₃	3 % CaCO ₃	1 % Kaolin	ohne Additive	1 % CaCO ₃	3 % CaCO ₃	1 % Kaolin	3 % Kaolin
Kohlenstoff	Ma.-% wf	44,4	44,1	43,4	44,2	46,1	45,7	45,1	45,3	44,9
Wasserstoff	Ma.-% wf	5,15	5,08	5,10	5,01	5,21	5,13	5,05	5,11	5,02
Stickstoff	Ma.-% wf	0,73	0,8	0,82	0,77	1,29	1,08	0,89	1,11	1,07
Sauerstoff	Ma.-% wf	42,2	42,3	41,4	41,8	42,3	42,1	42,6	42,1	41,1
Aluminium	Ma.-% wf	0,097	0,119	0,054	0,170	0,033	0,019	0,023	0,203	0,465
Calcium	Ma.-% wf	0,675	1,020	1,760	0,859	0,642	1,020	1,410	0,846	0,680
Chlor	Ma.-% wf	0,331	0,173	0,282	0,339	0,485	0,533	0,333	0,342	0,476
Eisen	Ma.-% wf	0,018	0,024	0,026	0,021	0,031	0,019	0,020	0,023	0,028
Kalium	Ma.-% wf	2,130	1,810	1,940	1,880	0,899	0,439	0,527	0,654	0,602
Magnesium	Ma.-% wf	0,129	0,143	0,140	0,115	0,253	0,288	0,256	0,303	0,269
Mangan	Ma.-% wf	0,014	0,012	0,011	0,014	0,011	0,009	0,010	0,010	0,009
Natrium	Ma.-% wf	0,014	0,031	0,017	0,014	0,089	0,148	0,129	0,128	0,200
Phosphor	Ma.-% wf	0,237	0,216	0,228	0,207	0,215	0,182	0,157	0,168	0,185
Schwefel	Ma.-% wf	0,103	0,111	0,091	0,091	0,169	0,189	0,164	0,178	0,196
Silizium	Ma.-% wf	0,882	1,030	1,190	0,994	0,562	0,577	0,644	1,070	1,180
Titan	Ma.-% wf	0,003	0,004	0,003	0,005	0,005	0,002	0,002	0,005	0,011
Zink	Ma.-% wf	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,004	0,003	0,003	0,004
(Si+P+K)/ (Ca+Mg)*	mol/mol	1,10	0,89	0,63	1,02	0,63	0,44	0,39	0,93	1,24
Summe Aerosol- bildner**	Ma.-% wf	2,58	2,13	2,33	2,33	1,65	1,31	1,16	1,31	1,48

* das Verhältnis dient als Indikator für problematisches Ascheschmelzverhalten, ** K, Na, Zn, Pb, S, Cl

Bezüglich der Hauptbestandteile Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zeigt sich, dass keine nennenswerten Unterschiede auszumachen und diese als sehr konstant anzusehen sind (Tabelle 5-21).

Vor diesem Hintergrund lassen die summierten Gehalte an Aerosolbildnern vermuten, dass die additvierten Pellets geringere Feinstaubemissionen verursachen als die Rohchargen. Außerdem ist ersichtlich, dass bei der Verbrennung von Charge A wahrscheinlich mit deutlich höheren Feinstaubemissionen zu rechnen ist als bei Charge B. Weiterhin ist aus dem molaren Verhältnis $(Si+P+K)/(Ca+Mg)$ – als ein Maß für die Ascheerweichungstemperatur und zu erwartende Probleme durch Bildung von Anbackungen und Verschlackungen – erkennbar, dass durch die Zugabe von $CaCO_3$ und Kaolin wahrscheinlich weniger Probleme zu erwarten sind als bei den Rohchargen. Niedrige Werte weisen auf hohe Ascheerweichungstemperaturen hin und dementsprechend hohe Werte auf niedrige Ascheerweichungstemperaturen. Diesbezüglich kann bei der Charge B eine geringere Verschlackungsneigung erwartet werden als bei Charge A.

Ergebnisse der Verbrennungsversuche

Das Abbrandverhalten der einzelnen Chargen wurde visuell erfasst, wobei insbesondere auf die Ausbildung der Flamme und die Bildung von Verschlackungen geachtet wurde.

Abbrandverhalten - Kessel 1. Aufgrund des stark verzögerten Zündverhaltens der Pellets wurde in diesem Kessel zunächst eine Handvoll Holzpellets in den Brennraum gegeben, um den Zündvorgang zu beschleunigen. Ein Einfluss auf den weiteren Versuchsablauf konnte ausgeschlossen werden. Prinzipiell wiesen sämtliche Pelletchargen einen relativ konstanten Verbrennungsverlauf auf und im Kessel war die technisch vorgesehene Drallbewegung der Flamme zu erkennen. Lediglich bei der Reincharge A ohne Additiv war die Ausbildung der Flamme eher ungleichmäßig, was auf zunehmende Verschlackung zurückzuführen war. Wie es für Heu zu erwarten war, kam es häufig zum Aufschmelzen der Aschen und in Folge dessen zur Bildung von Schlackeagglomeraten. Die Verschlackungsneigung war insbesondere bei den Rohchargen verhältnismäßig stark ausgeprägt, wobei die Charge A verbrennungstechnisch insgesamt problematischer war. In allen Fällen war das Ascheaustragssystem jedoch leistungsfähig genug, um die Verschlackungen aufzubrechen und auszutragen, so dass Störungen vermieden werden konnten.

Abbrandverhalten - Kessel 2. Bei der Verbrennung der Heuchargen in Kessel 2 verlief der Zündvorgang ohne Probleme, so dass diesbezüglich der Unterschied im Zündverhalten zu Kessel 1 auch bauartbedingt begründet ist und nicht vollständig den Brennstoffen zugeordnet werden kann. Die stark ausgeprägte Flammenbildung verdeutlichte einen guten Ausbrand der entstandenen Verbrennungsgase. Auch bei diesem Kessel kam es im Bereich des Feuerraums zu Verschlackungen und Anbackungen, deren Ausprägung aufgrund des bewegten Rostes jedoch geringer als bei Kessel 1 war. Die gebildeten Agglomerate waren porös und zerfielen meist im Aschekasten. Die Verschlackungsneigung der Charge A war auch hier deutlich ausgeprägter als bei Charge B. Generell wurde der Verbrennungsablauf jedoch nicht gestört.

Gasförmige Emissionen - Kessel 1 und Kessel 2

Nachfolgend werden die gemessenen gasförmigen Emissionen der verschiedenen Heuchargen an den beiden Kesseln präsentiert. Neben einem Vergleich der unterschiedlichen Heuchargen A und B sowie dem Einfluss der Additive soll auch die Auswirkung des verwendeten Kessels auf die Höhe der Emissionen beurteilt werden. Die ermittelten Messwerte spiegeln das Emissionsverhalten während

des stationären Betriebszustandes des Kessels wieder. Zusätzlich sind die Schwankungsbreiten (maximaler und minimaler Messwert) in Form von Fehlerbalken abgebildet.

Kohlenstoffmonoxid (CO). Im Fall eines unvollständigen Ausbrandes kann das entstandene CO nicht weiter zu CO₂ oxidiert werden und ist folglich in erhöhter Konzentration im Abgas zu finden. Die Höhe der CO-Emission hängt u.a. von der Sauerstoffkonzentration, der Durchmischung, der Temperatur im Feuerraum sowie der Verweilzeit in der heißen Zone ab. In Zuge der Verbrennungsversuche war es teilweise nötig, die Luftzufuhr an die Verbrennungsbedingungen anzupassen, wodurch ein direkter Vergleich der Brennstoffe untereinander nur eingeschränkt möglich ist. Tendenzen hinsichtlich der Vollständigkeit der Verbrennung und ein Vergleich der Chargen A und B sind jedoch ableitbar. Wie aus Abbildung 5-25 zu entnehmen ist, sind die CO-Emissionen der Charge A um ein vielfaches höher als die der Charge B. Insbesondere im Kessel 1 ist dieser Unterschied stark ausgeprägt. Weiterhin zeigt ein Vergleich der beiden Kessel, dass die Charge A in Kessel 1 doppelt so hohe CO-Emissionen verursacht wie in Kessel 2. Auf einem deutlich niedrigeren Niveau gilt dies auch für die Heucharge B.

Üblicherweise sind Verschlackungen und das Zusammenfallen des Glutbetts Ursache für CO-Spitzen. Somit gehen die höheren CO-Emissionen der Brennstoffe der Heucharge A zum einen auf diese klassischen Probleme zurück, zum anderen musste bedingt durch die höhere Verschlackungsneigung der Ascheschieber das Kessels verhältnismäßig oft arbeiten, wodurch ausgeprägt CO-Spitzen im Verlauf der Verbrennung auftraten.

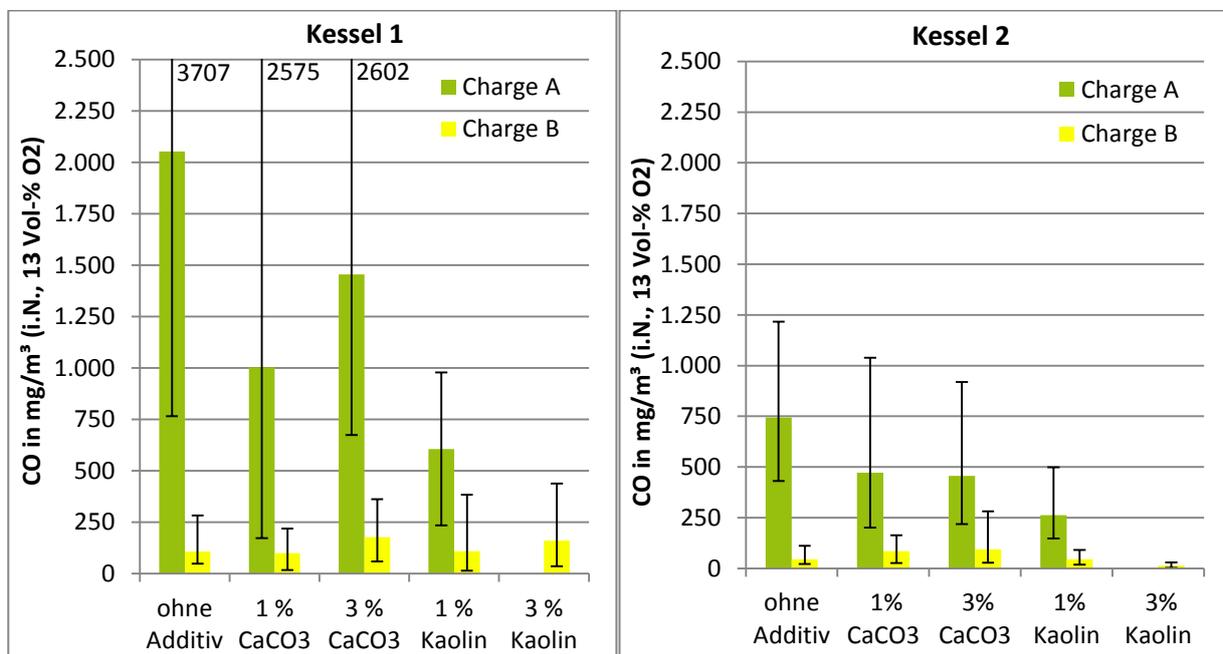


Abbildung 5-25: CO-Emissionen der Versuchsbrennstoffe in zwei Kesselanlagen (Abbildung: DBFZ)

Die Zugabe der Additive in unterschiedlichen Mengen lassen die CO-Emission der Charge A in Kessel 1 und Kessel 2 im Vergleich zur Ausgangscharge deutlich sinken. Eine Erhöhung des Additivanteils führt dabei nicht zwangsläufig zu einer verstärkten Absenkung der CO-Emission. Bezüglich Charge B kam

es, in sehr geringem Ausmaß, zu einem Ansteigen der CO-Emissionen, wenn additivierte Pellets verbrannt wurden.

Der bei einer Typprüfung einzuhaltende CO-Grenzwert der 1. BImSchV liegt bei 250 mg/m^3 . Dieser wird bei der Verbrennung von allen Varianten der Charge A in beiden Kesseln deutlich überschritten. Lediglich die 1 % Kaolin-Variante erreicht mit 263 mg/m^3 ein vergleichbares Niveau. Demgegenüber liegen alle Brennstoffvarianten der Charge B unterhalb des geforderten Grenzwertes, wobei Kessel 2 sehr niedrige und für marktübliche, moderne Kessel typische CO-Emissionen aufweist.

Organische Kohlenstoffverbindungen (Org.-C). Auch die Konzentration an nichtverbrannten Kohlenwasserstoffen kann als ein Maß für die Vollständigkeit der Verbrennung herangezogen werden. So zeigen in Kessel 1 die Org.-C-Emissionen einen ähnlichen Verlauf wie die CO Emissionen (Abbildung 5-26). Die großen Schwankungsbreiten der Chargen A und B gehen, wie bereits erwähnt, auf den durch die Schlackenbildung erforderlichen häufigen Einsatz des Ascheschiebers zurück. Auch bezüglich der Org.-C-Emissionen erweist sich die Verbrennung der Charge A in Kessel 1 als problematischer als die von Charge B, was durch die hohen Org.-C-Emissionen nochmals verdeutlicht wird. In Kessel 2 bleiben die Org.-C-Emissionen bei beiden Chargen auf einem sehr niedrigen Niveau von unter 2 mg/m^3 . Bezüglich Charge A lässt sich hier kein Zusammenhang zu den CO-Emissionen erkennen.

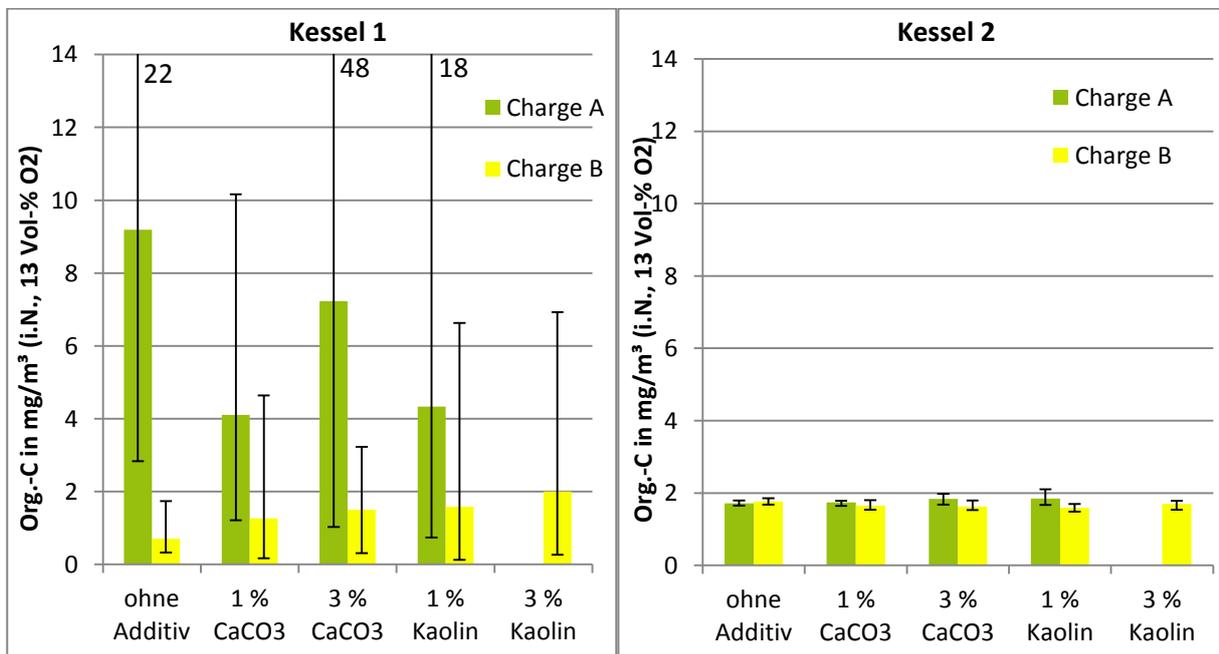


Abbildung 5-26: Org.-C-Emissionen der Versuchs Brennstoffe in zwei Kesselanlagen (Abbildung: DBFZ)

Der in der TA Luft festgehaltene Grenzwert für Emissionen von organischen Kohlenwasserstoffen liegt umgerechnet auf einen Bezugssauerstoffwert von 13 Vol.-% (in der TA Luft erfolgt ein Bezug auf 11 Vol.-% O₂) bei 40 mg/m^3 und wird von allen Brennstoffvarianten bei der Verbrennung in beiden Kesseln eingehalten.

Stickstoffoxide (NO_x). Die Stickstoffoxidemissionen der verschiedenen Brennstoffvarianten sind in Abbildung 5-27 dargestellt. In beiden Kesseln wurde ein niedrigeres Emissionsniveau der Charge A festgestellt. Die Emissionen liegen je nach Kessel um 90 bis 190 mg/m³ niedriger als bei der Charge B, wobei sich die Emissionen der Charge A im Bereich von 350 bis 450 mg/m³ und die der Charge B im Bereich von 400 bis 700 mg/m³ bewegen. Weiterhin zeigte sich, dass in Kessel 1 die NO_x-Emissionen bei der Verbrennung der beiden Chargen geringfügig niedriger waren als in Kessel 2. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die verwendete Feuerungstechnik und die Einstellungen der Kessel zurückzuführen. Weiterhin zeigen die hohen Schwankungsbreiten im Kessel 1, dass auch die NO_x-Emissionen durch die Bewegung des Ascheschiebers beeinflusst werden.

Die NO_x-Emissionen sind im Wesentlichen von den Stickstoffgehalten der Brennstoffe abhängig, was sich auch bei den vorliegenden Ergebnissen bestätigt. So ist der Stickstoffgehalt der Varianten der Heucharge B im Mittel um 0,31 Ma.-% höher als in denen der Charge A, was sich folglich in den NO_x-Emissionen widerspiegelt. Innerhalb der einzelnen Versuchsreihen lässt sich dieser Zusammenhang nicht so deutlich sehen, da hier die Unterschiede in den Stickstoffkonzentrationen der Brennstoffe zu gering ausfallen.

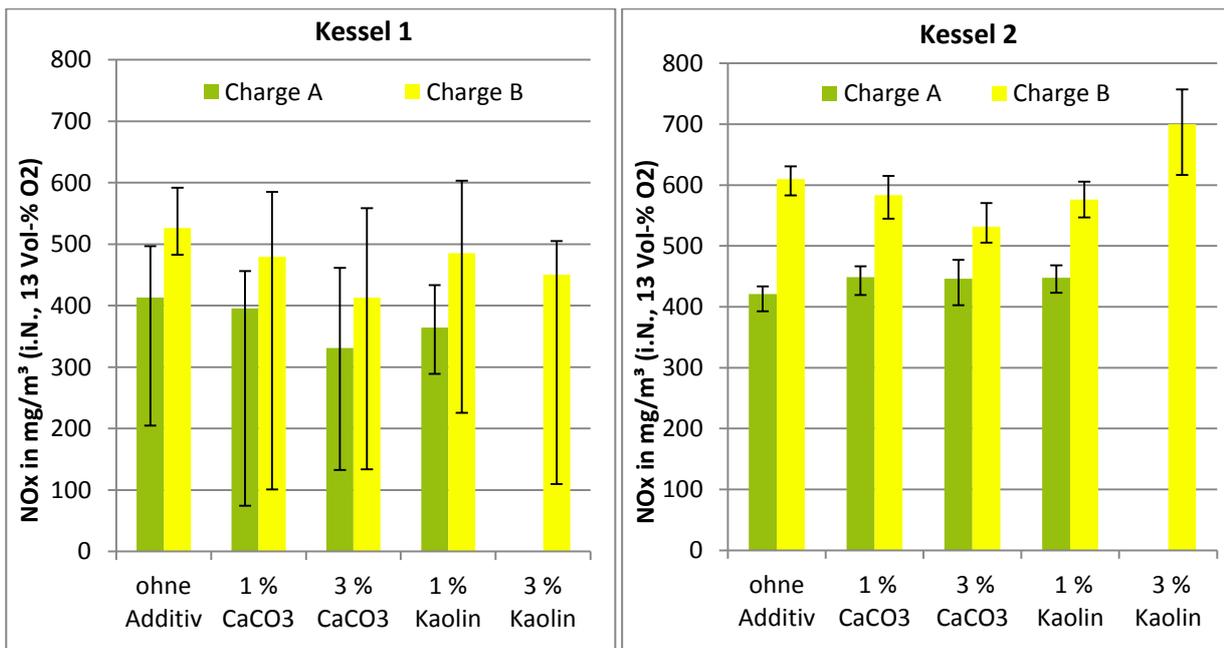


Abbildung 5-27: NO_x-Emissionen der Versuchsbrennstoffe in zwei Kesselanlagen (Abbildung: DBFZ)

Der geforderte Grenzwert der Typprüfung der 1. BImSchV von 600 mg/m³ kann vom Großteil der Brennstoffe in beiden Kesseln eingehalten werden. Lediglich bei der Charge B in der Variante ohne Additiv und mit einem Kaolingehalt von 3 Ma.-% kommt es in Kessel 2 zu einem Überschreiten des Grenzwertes.

Schwefeldioxid (SO₂). Da halmgutartige Brennstoffe einen im Vergleich zu Holz deutlich höheren Schwefelgehalt aufweisen – der Grenzwert der DIN EN 14961-6 für nichtholzartige Brennstoffe liegt

ca. siebenmal höher als der für Holzpellets – ist zu erwarten, dass auch die Schwefeldioxid-emissionen verhältnismäßig hoch ausfallen. Wie aus Abbildung 5-28 hervorgeht, fallen die SO₂-Emissionen der Charge B in beiden Kesseln um ein vielfaches höher aus als bei Charge A. Dies ist insofern beachtenswert, da der Schwefelgehalt in Charge B lediglich um das 1,6 bis 2-fache höher ist als in Charge A und somit nicht alleiniger Verursacher dieser Diskrepanz sein kann.

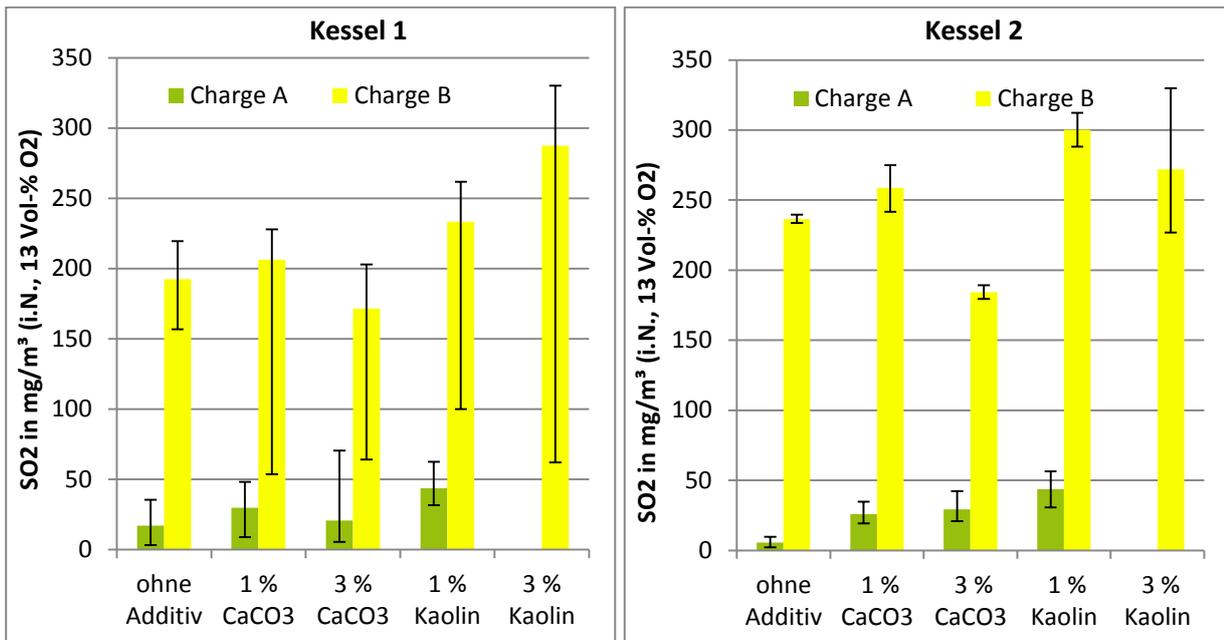


Abbildung 5-28: SO₂-Emissionen der Versuchsbrennstoffe in zwei Kesselanlagen (Abbildung: DBFZ)

So haben verschiedene Autoren festgestellt, dass die Freisetzung von Schwefel stark von der Konzentration von Calcium und Kalium im Brennstoff abhängt. Darüber hinaus beeinflussen auch die Verhältnisse von Ca/Si, K/Si beziehungsweise (Ca+K)/S die Freisetzung vom SO₂ oder in einer anderen Form beziehungsweise als partikuläres K₂SO₄ oder auch die Einbindung in die Feuerraumasche [126,156,157]. So zieht der im Vergleich zu Charge B sehr hohen Gehalts an Kalium der Charge A ein starkes Einbinden des Schwefels in der Feuerraumasche und in partikulärer Form nach sich, wodurch dieser nicht mehr gasförmig als SO₂ freigesetzt werden kann. Dies ist auch am recht hohen K/Si-Verhältnis der Charge A zu erkennen, welches im Mittel bei 1,9 liegt, während in Charge B lediglich ein Verhältnis von 0,9 besteht. Innerhalb der Varianten der einzelnen Chargen sind die gebildeten Elementarverhältnisse nicht aussagekräftig genug, um eine belastbare Aussage über die SO₂-Freisetzung abzuleiten, da eine Vielzahl weiterer Faktoren wie beziehungsweise die Temperaturen im Feuerraum und auch die Gehalte weiterer Elemente, wie beziehungsweise Phosphor die Schwefelfreisetzung, beeinflussen [153]. Insbesondere die Charge B zeigt bei der Zugabe von 3 Ma.-% CaCO₃ eine rückläufige Höhe der SO₂-Emissionen wie sie auch bei anderen Autoren beschrieben wird [158],[156]. Die Verwendung von Kaolin als Additiv führt, unabhängig von der Masse des zugegebenen Kaolins, zu einem Anstieg der SO₂-Emission. Auch dieses Verhalten wurden bereits dokumentiert [153],[159].

Bezüglich der SO₂-Emissionen aus Biomassefeurrungen ist kein Grenzwert der 1. BImSchV festgelegt. Die TA Luft hingegen weist einen Grenzwert von umgerechnet 280 mg/m³ aus. Die Charge A kann in allen Varianten diesen Grenzwert deutlich unterschreiten. Hinsichtlich Charge B sind die Rohbrennstoffvariante, sowie die beiden mit Kalk additivierten Brennstoffvarianten als unkritisch einzustufen. In Abhängigkeit vom verwendeten Kessel wird der Grenzwert von den Kaolinvarianten jedoch teilweise überschritten.

Chlorwasserstoff (HCl). Die ermittelten Emissionen an HCl sind in Abbildung 5-29 dargestellt. Wie auch bei den SO₂-Emissionen fällt auf, dass die HCl-Emissionen der Charge B in beiden Kesseln um ein Vielfaches höher ausfallen als bei Charge A. Die Höhe der HCl-Emissionen der Charge B liegt je nach Kessel und Variante zwischen 248 und 460 mg/m³, die der Charge A dagegen nur bei 2 bis 28 mg/m³. Zwar ist aus den Chlorgehalten der Brennstoffe ersichtlich, dass die Charge B, je nach Variante, das maximal 3,1-fache der in Charge A enthaltenen Menge an Chlor enthält. Jedoch ist der Chlorgehalt in der Variante 1 % Kaolin der Charge A und B mit 0,34 Ma.-% gleich hoch. Trotzdem besteht ein immenser Unterschied hinsichtlich der emittierten HCl-Konzentration im Abgas. Daher kann nicht von einem einfachen linearen Zusammenhang zwischen dem Brennstoffchlorgehalt und den HCl-Emissionen ausgegangen werden.

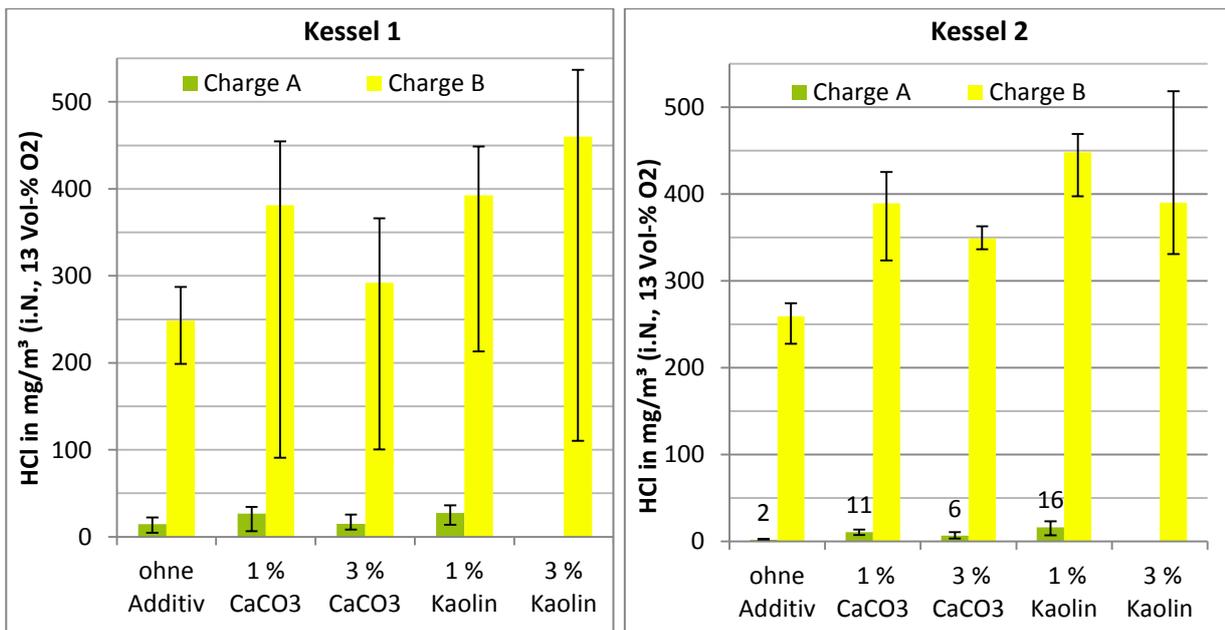


Abbildung 5-29: HCl-Emissionen der Versuchsbrennstoffe in zwei Kesselanlagen (Abbildung: DBFZ)

Hinsichtlich der Emission von Chlor muss daher auch die Matrix weiterer am Prozess der Verbrennung beteiligter Elemente berücksichtigt werden [156]. So sind insbesondere auch die Kalium- und Calciumgehalte der Brennstoffe von Bedeutung, da diese über die Bildung partikelförmiger Alkali- und Erdalkalisalze (vor allem KCl und CaCl₂), die Form in der Chlor freigesetzt wird, mitbestimmen. Hohe Gehalte an Alkali- und Erdalkalimetallen binden somit das Chlor in partikulärer Form beziehungsweise in der Feuerraumasche ein, wodurch es nicht als gasförmiges HCl freigesetzt werden kann [126],[160]. Der in Summe 1,9-mal höhere Gehalt an Kalium und Calcium in der Charge A führt daher

wahrscheinlich zu einer niedrigen Emission an HCl. Innerhalb der Versuchsreihen ist dieser Effekt auch bei der Variante 1 % CaCO₃ im Vergleich zur 3 % CaCO₃-Variante festzustellen, bei der eine Erhöhung des CaCO₃-Gehalts zu niedrigeren HCl-Emissionen führt. Bei den Kaolinvarianten ist ein Ansteigen der HCl-Emission zu verzeichnen, weil Kaolin als Alumosilikat bevorzugt Alkalien bindet und diese für die beschriebene Reaktion nicht mehr zur Verfügung stehen. Dies wird auch bei der Betrachtung des molaren (K+Na)/(2S+Cl)-Index deutlich [155]. Fällt dieser > 1 aus ist mit einem Überschuss der Freisetzung von Alkalimetallen zu rechnen, wodurch die Freisetzung von HCl und SO_x klein bleibt, während bei Werten < 1 mit einer verstärkten Freisetzung von HCl und SO_x gerechnet werden muss. Bezüglich der vorliegenden Ergebnisse bestätigt sich dies, da bei Charge A das molare (K+Na)/(2S+Cl)-Verhältnis im Mittel bei 4,1 liegt während es bei Charge B lediglich Werte um 1 aufweist. Dadurch lassen sich die stark unterschiedlichen Konzentrationen von HCl und auch SO₂ im Abgas sehr gut erklären. Innerhalb der Variationsreihen der beiden Chargen stellt sich dieser Zusammenhang nicht beziehungsweise nicht so deutlich dar.

Der in der TA Luft aufgeführte Grenzwert von umgerechnet 24 mg/m³ wird in Kessel 2 von der Charge A in allen Varianten eingehalten, in Kessel 1 liegen die Varianten 1 % CaCO₃ und 1 % Kaolin geringfügig über dem Grenzwert. Die HCl-Emissionen der Brennstoffcharge B sind in beiden Kesseln und allen Varianten mindestens 10-mal höher als der geforderte Grenzwert.

Polichlorierte Dibenzodioxine/-furane (PCDD/F). Aufgrund ihrer hohen toxischen Relevanz sind auch die Emissionen an polychlorierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen im Anforderungsprofil bei der Typprüfung der 1. BImSchV enthalten, wobei der Grenzwert von 0,1 ng/m³ eingehalten werden muss. Aufgrund der zeitlich und finanziell aufwändigen Messung der PCDD/F wurden lediglich die beiden 1 % Kaolin Varianten der Chargen A und B unter Verwendung von Kessel 2 einem Messprogramm unterzogen. Sie zeichnen sich durch einen mit 0,339 Ma.-% (Charge A) beziehungsweise 0,342 Ma.-% (Charge B) sehr ähnlichen Gehalt an Chlor im Brennstoff aus.

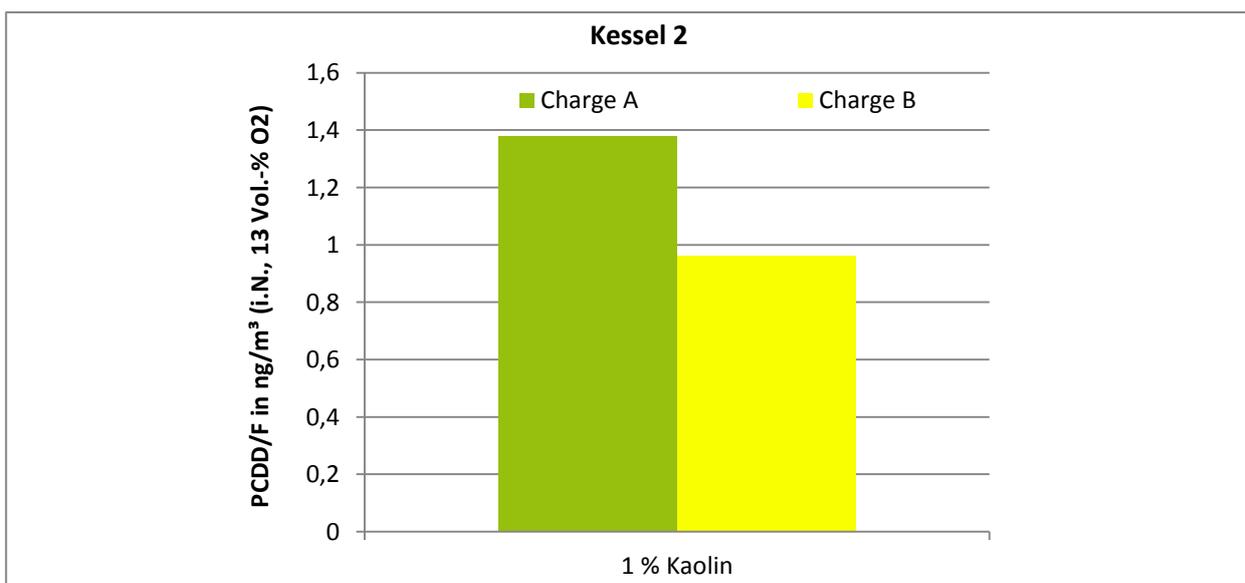


Abbildung 5-30: Dioxine und Furane der Versuchs Brennstoffe (Abbildung: DBFZ)

Wie aus Abbildung 5-30 hervorgeht, fallen die Emission an PCDD/F der Charge A mit $1,38 \text{ ng/m}^3$ höher aus als die der Charge B, bei der $0,96 \text{ ng/m}^3$ gemessen wurden. Obwohl einige Autoren (vgl. [126]) einen Zusammenhang zwischen Chlorgehalt in den Brennstoffen und Emissionen an PCDD/F belegen, ist dieser aufgrund der stark unterschiedlichen Brennstoffzusammensetzung im vorliegenden Fall wohl von anderen Prozessen überdeckt, die die Bildung der Dioxine und Furane beeinflussen. Obwohl die genauen Bildungsmechanismen zum großen Teil noch ungeklärt sind, wird eine Anzahl von Reaktionswegen diskutiert. Die in [161] identifizierten vier grundlegenden Mechanismen der PCDD/F-Bildung sind sehr stark von der im Feuerraum herrschenden Temperatur abhängig. Je nach Bildungsweg sind optimale Bildungstemperaturen in einem relativ breiten Bereich von 250 bis $700 \text{ }^\circ\text{C}$ aufgeführt. Darüber hinaus spielen insbesondere die Entstehung von Vorläufersubstanzen und die Anwesenheit von geeigneten Reaktionspartnern sowie gegebenenfalls von Metallen, die als Katalysatoren dienen, eine große Rolle. Vor dem Hintergrund dieser hochkomplexen Wirkungsmatrix ist eine tiefergehende Interpretation der Messdaten nicht möglich. Bezüglich der Höhe der Emissionen PCDD/F wird jedoch ersichtlich, dass der Grenzwert von $0,1 \text{ ng/m}^3$ von beiden Brennstoffen um etwa das 10-fache überschritten wird.

Partikelförmige Emissionen. Die Feinstaubemissionen der Charge A liegen mit Werten zwischen 413 und 608 mg/m^3 auf einem etwa doppelt so hohen Niveau wie die der Charge B, bei der Feinstaubemissionen von 146 bis 310 mg/m^3 gemessen wurden (Abbildung 5-31). Dies entspricht den Erwartungen, da bereits die Summe der Aerosolbildner, insbesondere Kalium in den Brennstoffen der Charge A deutlich höher ist, als in den Brennstoffen der Charge B. Generell sind die Feinstaubemissionen jedoch mit einem Maximum der Emissionswerte bei den Rohchargen als sehr hoch einzuordnen. Dabei fallen die Feinstaubemissionen im Kessel 2 geringfügig niedriger aus als in Kessel 1.

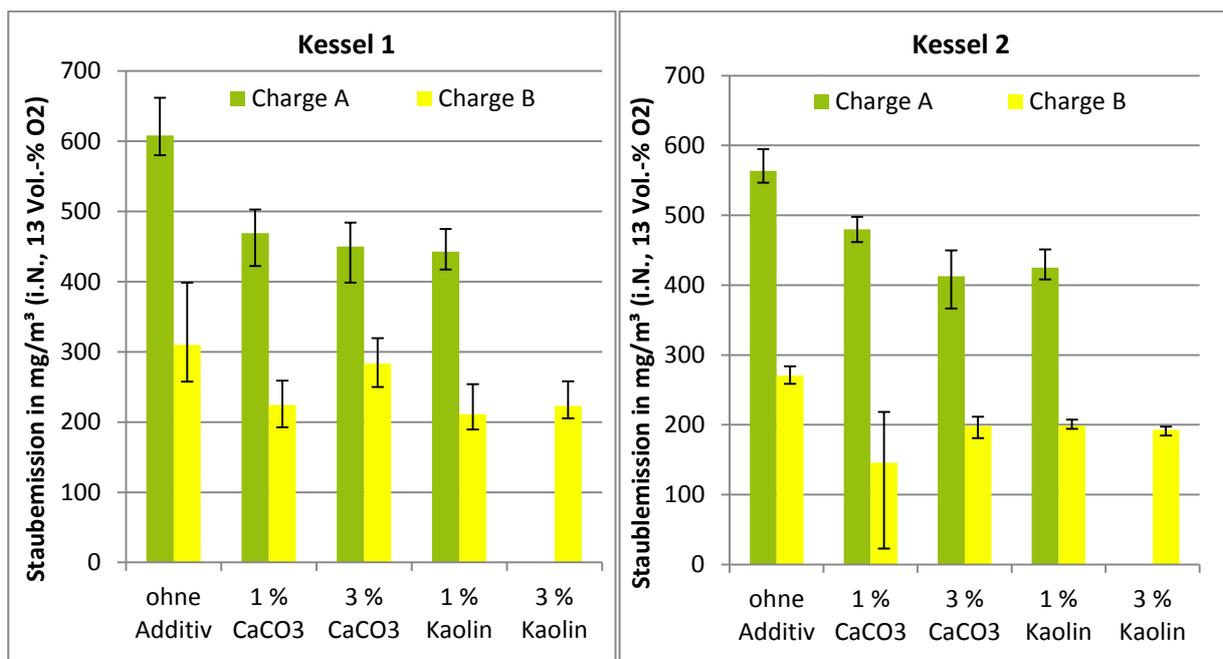


Abbildung 5-31: Feinstaubemissionen der Versuchsbrennstoffe in zwei Kesselanlagen (Abbildung: DBFZ)

Durch die Verwendung von Additiven können die Feinstaubemissionen vermindert werden. In Kessel 1 ist je nach verwendetem Additiv und betrachteter Brennstoffcharge eine Minderung von maximal 32 % der Feinstaubemissionen möglich. In Kessel 2 ging die Feinstaubemission in Abhängigkeit vom Brennstoff und Additiv um 25 bis 45 % zurück. Dies ist vor allem auf die starke Einbindung von Aerosolbildnern, insbesondere von Kalium, in die Feuerraumasche zurückzuführen.

Trotz der erfolgreichen primären Minderungsmaßnahmen durch den Einsatz von Additiven kann der erforderliche Grenzwert der 1. BImSchV von 100 mg/m³ nicht eingehalten werden. Selbst die im Vergleich zu Charge A niedrigen Feinstaubemissionen der Charge B, mit annähernd 200 mg/m³ überschreiten den Grenzwert um den Faktor Zwei.

Feinstaubanalysen. Zusätzlich zu den Feinstaubemissionen wurde für die Chargen A und B in der Variante 1 % Kaolin auch die Zusammensetzung der emittierten Feinstäube analysiert. Diese Versuchsvariante wurde ausgewählt, da hinsichtlich der Feinstaubminderung sowohl bezüglich Brennstoff A als auch Brennstoff B konnten sehr gute Ergebnisse erzielt werden.

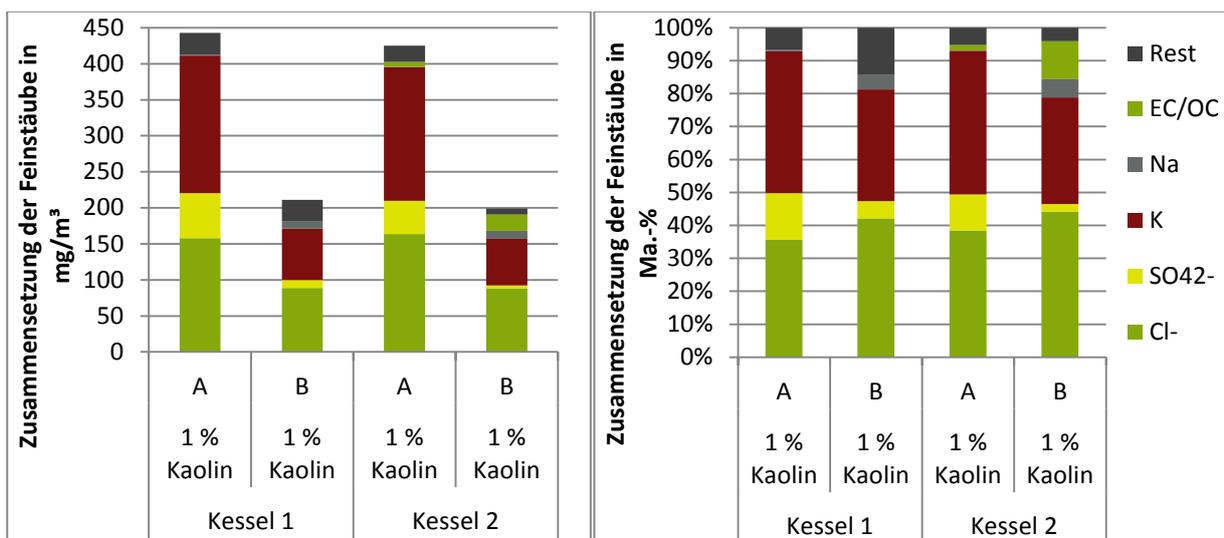


Abbildung 5-32: Zusammensetzung der Feinstäube der Brennstoffvariante 1 % Kaolin in zwei Kesselanlagen (EC/OC-Analysen des Feinstaubes aus Kessel 1 konnten nicht durchgeführt werden) (Abbildung: DBFZ)

In Abbildung 5-32 sind auf der linken Seite die absoluten Emissionen der mengenmäßig bedeutendsten Feinstaubkomponenten in mg/m³ dargestellt und auf der rechten Seite als relative Anteile an der gesamten Feinstaubemission in Ma.-% aufgetragen. Die mit Rest bezeichnete Fraktion entsteht durch Differenzbildung der Summe weiterer analysierter, jedoch in ausgesprochen geringen Mengen auftretende Feinstaubbestandteile (NO₃²⁻, NO₂, PO₄²⁻, Al, Ca, Fe, Mg, Mn, Zn), nicht analysierte Feinstaubkomponenten (Carbonate, Silikate, Oxide oder auch Hydroxide) und der gemessenen mittleren, absoluten Feinstaubemissionen.

Bezüglich der absoluten Emissionen lässt sich festhalten, dass die Feinstäube hauptsächlich aus den Komponenten Chlor, Sulfat und Kalium bestehen, wahrscheinlich in Form von Salzen also KCl und

K_2SO_4 . Es bestehen große Unterschiede zwischen den Chargen A und B. So ist die Konzentration an Chlor in den Feinstäuben der Charge A 1,8-mal, die Konzentration an Kalium 2,8-mal und die Konzentration von Sulfat sogar 7-mal höher als in Charge B. Die ist insofern interessant, da mit Ausnahme von Kalium scheinbar keine Korrelation mit den Elementargehalten in den Brennstoffen besteht. So ist lediglich bezüglich der Kaliumkonzentration dieses Verhältnis in den Brennstoffen annähernd wiederzufinden (2,9). Der Chlorgehalt in den Brennstoffen ist etwa gleich hoch und bezüglich des Schwefels besteht sogar ein Verhältnis (Charge A/Charge B) von 0,5, also umgekehrt zu den Verhältnissen im Feinstaub. Für die untersuchten Chargen ist somit die Kaliumkonzentration ein guter Indikator für die Höhe der Feinstaubemissionen während die Chlor- und Schwefelgehalte keine Rückschlüsse auf die zu erwarteten Feinstaubemissionen erlauben. Im Fall der Charge B werden diese beiden Elemente wahrscheinlich hauptsächlich gasförmig als SO_2 beziehungsweise HCl freigesetzt und fallen daher nicht in hohem Maß in partikulärer Form im Feinstaub an (vgl. Abbildung 5-28 und Abbildung 5-29). Von den übrigen Feinstaubkomponenten sind lediglich Natrium und EC/OC (nur in Kessel 2) in relevanten Mengen enthalten. Die sehr geringe Restfraktion verdeutlicht in beiden Kesseln und mit beiden Brennstoffen einen nahezu vollständigen Ausbrand. Ein Vergleich der beiden Kessel zeigt, dass es außerdem nur geringfügige Unterschiede in den Feinstaubzusammensetzungen der beiden Chargen gibt. Dies wird auch bei der Betrachtung der relativen Zusammensetzungen der Feinstäube deutlich. Der Feinstaub der Charge A besteht unabhängig vom verwendeten Kessel zu $43,4 \pm 0,4$ Ma.-% aus Kalium, zu $37,1 \pm 2,1$ Ma.-% aus Chlor, und zu $12,6 \pm 2,3$ Ma.-% auf Sulfat. Der Feinstaub aus Charge B weist dagegen leicht erhöhte Anteile an Chlor ($43,2 \pm 2,3$ Ma.-%) und etwas niedrigere Anteile an Kalium ($33,2 \pm 1,1$ Ma.-%) und Sulfat ($3,8 \pm 2,1$ Ma.-%) auf.

Diskussion

Die Untersuchungen zur Aufbereitung des Grünschnitts aus der Havellandregion haben gezeigt, dass sich das Heu hinsichtlich der Pelletiereigenschaften als verhältnismäßig leicht zu handhabender Rohstoff herausstellt. Zu erwartende Probleme wie Brückenbildungen oder Verstopfungen an Anlagenteilen wurden nicht festgestellt. Es konnte eine sehr hohe Qualität der Pellets hinsichtlich ihrer physikalisch-mechanischen Eigenschaften (Festigkeit, Abrieb und Feinanteil) erzielt werden, wobei die Anforderungen der Klasse A der DIN EN 14961-6 bis auf eine Ausnahme eingehalten werden konnten. Da das Heu ab Feld bereits einen für die Pelletierung günstigen Wassergehalt aufwies, konnte im Zuge der Konditionierung auf den Schritt der technischen Trocknung verzichtet werden. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die verwendeten Additive die physikalisch-mechanischen Eigenschaften kaum beeinträchtigen.

Hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung der im Zuge eines Brennstoff-Screenings analysierten Heuchargen verschiedener Standorte im Havelland konnte festgestellt werden, dass teilweise sehr große Unterschiede hinsichtlich der verbrennungs- und emissionsrelevanten Elemente bestanden. Insbesondere hinsichtlich der Elemente Stickstoff, Schwefel, Chlor und Kalium sind standortbedingte Konzentrationsunterschiede um den Faktor 1,5 (N) bis 6,5 (K) festgestellt worden. Auch der Aschegehalt wies eine relativ große Schwankungsbreite von 4,8 bis 8 Ma.-% auf. Für die Herstellung normgerechter Pellets ist vor allem der hohe Chlorgehalt einiger Heuchargen kritisch.

Die für die Verbrennungsversuche verwendeten Pelletchargen wurden so ausgewählt, dass in Bezug auf das Verbrennungs- und Emissionsverhalten möglichst die gesamte Bandbreite an Brennstoff-

eigenschaften abgedeckt werden konnte, also ein qualitativ hochwertiger einem qualitativ nicht so hochwertigen Brennstoff gegenüber stand. Diesen Rohchargen wurden zur Optimierung der Verbrennungseigenschaften Kalk (CaCO_3) und Kaolin in unterschiedlichen Mengen zugegeben. Es wurden zwei verschiedene Kessel genutzt. Die Verbrennung der Rohchargen führte zu einer mäßig stark ausgeprägten Verschlackung der Feuerraumasche und zu einem sehr hohen Emissionsniveau von Feinstaub und teilweise CO (bei Charge A). Durch die Additivierung mit CaCO_3 und Kaolin ließen sich diese negativen Effekte reduzieren, das Abbrandverhalten verbessern sowie die CO- und Feinstaubemissionen etwas senken. Jedoch führte dies meist zu einem Ansteigen der SO_2 - und HCl-Emissionen. Die NO_x -Emissionen blieben auch bei einer Additivzugabe weitestgehend unverändert.

Hinsichtlich der Anforderungen an das Emissionsverhalten bei der Typprüfung gemäß der 1. BImSchV sind insbesondere die Feinstaubemissionen als kritisch zu beurteilen. Der Grenzwert von 100 mg/m^3 konnte von keiner der untersuchten Chargen, weder in Kessel 1 noch in Kessel 2 eingehalten werden. Selbst die qualitativ hochwertige Charge B wies etwa doppelt so hohe Feinstaubemissionen wie gefordert auf. Demgegenüber konnte der Grenzwert der CO-Emission von 250 mg/m^3 von der Charge B in allen Versuchsvarianten und in beiden Kesseln unterschritten werden. Bei der Charge A war das nicht der Fall, hier lag die CO-Emission zwischen 600 und 2050 mg/m^3 . Der geforderte NO_x -Grenzwert von 600 mg/m^3 konnte in Kessel 1 von allen Varianten der beiden Chargen A und B und in Kessel 2 von allen Varianten der Charge A und von den meisten Varianten der Charge B eingehalten werden. Die zusätzlich unter Verwendung der Brennstoffvariante mit 1 % Kaolin vorgenommenen Messungen von PCDD/F der Chargen A und B lagen um das 10-fache über dem geforderten ausgewiesenen Grenzwert von $0,1 \text{ ng/m}^3$. Da die Messung von PCDD/F für die Typprüfung der Kessel im Rahmen der 1. BImSchV erforderlich ist, sind diese hohen Emissionen ebenfalls als kritisch zu beurteilen.

Die von der TA Luft geforderten Grenzwerte hinsichtlich der Org.-C-, NO_x -, SO_2 -, HCl- und Feinstaubemissionen sind verhältnismäßig streng und liegen gegebenenfalls deutlich unter denen der 1. BImSchV. Diesbezüglich kann ohne entsprechende Abscheidetechnik lediglich der Org.-C-Grenzwert (40 mg/m^3 bei 13 Vol.-% O_2) der SO_2 -Grenzwert (280 mg/m^3 bei 13 Vol.-% O_2) und bezüglich der Charge A auch der HCl-Grenzwert (24 mg/m^3 bei 13 Vol.-% O_2) ohne sekundäre Reinigungsmaßnahmen eingehalten werden. Auch hier verursachen die Feinstaub- und die Dioxin/Furan-Emissionen sowie teilweise die Emissionen an CO und HCl die größten Probleme.

Vergleicht man die beiden Kessel mit unterschiedlichen Verbrennungsprinzipien hinsichtlich der Güte der Verbrennung so zeigt sich, dass bis auf eine Ausnahme die CO- und die Feinstaubemissionen der beiden Brennstoffchargen bei der Verbrennung in Kessel 2 niedriger sind als in Kessel 1. Ein umgekehrter Zusammenhang besteht bei Betrachtung der SO_2 - und NO_x -Emissionen. Hinsichtlich der Emissionen von Org.-C und HCl ist die Emissionshöhe deutlich durch den Brennstoff geprägt, so dass hier ein indifferentes Verhalten vorliegt und je nach Brennstoffcharge und Variante entweder Kessel 1 oder Kessel 2 die niedrigeren Emissionen aufweist. Unter Berücksichtigung der in der 1. BImSchV geforderten Abgasmessungen von CO, NO_x und Feinstaub sowie des Abbrandverhaltens (Verschlackungen, Ascheausstrag, Emissionsspitzen) der beiden Kessel, lässt sich jedoch ein leichter Vorteil zugunsten von Kessel 2 erkennen, der aufgrund seiner Konstruktion, insbesondere durch das bewegte Treppenrost, einen besseren Ausbrand bei teilweise niedrigeren Emissionen zeigt. Außerdem konnten hohe Emissionsspitzen wie sie bei Kessel 1 durch den Einsatz des Ascheschiebers auftraten vermieden werden.

Fazit

Bei der Beurteilung der Verbrennung- und Emissionseigenschaften des Heus gilt es zu berücksichtigen, dass die Verbrennungseigenschaften stark von den Standort- und Lagerungsbedingungen geprägt werden und so eine generalisierende Betrachtung nur eingeschränkt möglich ist. In Abhängigkeit von den daraus resultierenden unterschiedlichen chemischen Eigenschaften der Heuchargen kam es bei der Verbrennung der Rohchargen zur Bildung von Verschlackungen, welche jedoch durch die Nutzung der beiden untersuchten Additive eingedämmt und folglich das Abbrandverhalten deutlich verbessert werden konnte. Hinsichtlich der Einordnung in einen emissionsrechtlichen Kontext nach der 1. BImSchV zeigte sich, dass teilweise die CO-Emissionen, insbesondere aber die Feinstaub- und Dioxin/Furan-Emissionen, weit über den geforderten Grenzwerten lagen, während die NO_x-Emissionen größtenteils als unkritisch zu beurteilen waren. Daher erscheint die Nutzbarkeit von Grünschnittpellets ohne weitergehende Vorbehandlung des Brennstoffs in nicht-genehmigungs-bedürftigen Kleinf Feuerungsanlagen ohne geeignete Sekundärmaßnahmen im Leistungsbereich zwischen 4 und 100 kW nach aktuellem Stand nicht gegeben. Es sollten jedoch auch künftige Entwicklungen hinsichtlich anlagentechnischer Verbesserungen (zum Beispiel die Abgasrückführung) sowie Innovationen im Bereich der sekundären Emissionsminderung berücksichtigt werden. Dazu gehören geeignete und marktfähige Abscheidetechnik für Kleinf Feuerungsanlagen oder auch neuartige Ansätze zur Brennstoffoptimierung, wie beispielsweise das florafuel- oder das BtE-Verfahren ([162], [163]). Weiterhin besteht die Möglichkeit Mischbrennstoffe herzustellen, die gezielt kritische Eigenschaften vermindern können. Vor diesem Hintergrund ist kurz- bis mittelfristig mit aussichtsreichen Verfahren und technischen Lösungsansätzen zu rechnen, die den Einsatz von Grünschnitt in Kleinf Feuerungsanlagen, zumindest von technischer Seite her betrachtet, ermöglichen. Um diese Ansätze in Zukunft auch nachhaltig am Markt zu verankern, müssen diese in einer wirtschaftlich angemessenen Preisregion angesiedelt sein, um Akzeptanz auf Seiten der Verbraucher zu erreichen.

Im Bereich der genehmigungsbedürftigen Anlagen (> 100 kW bis < 50MW) erscheint eine Nutzung durch die vorgegebene Ausrüstung mit entsprechend leistungsfähiger Filtertechnik (zum Beispiel Zyklon, Elektro- oder Gewebefilter, Rauchgaswäsche, Adsorptionsverfahren) möglich. In diesem Leistungsbereich scheint derzeit der Einsatz in Ganzballenverbrennungsanlagen am aussichtsreichsten.

5.3 Nutzungskonzepte für die energetische Verwendung von Heu in Verbrennungsanlagen

Ausgehend von den Ergebnissen der Kapitel 5.1 und 5.2 werden in diesem Kapitel konkrete Anlagenkonzepte für die thermische Nutzung von Heu erarbeitet. Dafür werden Beispielstandorte im Untersuchungsgebiet basierend auf Kapitel 4 ausgewählt. Abschließend werden die ausgestalteten Nutzungskonzepte ökonomisch sowie hinsichtlich ihrer Treibhausgasemissionen und ihrer technischen Umsetzbarkeit bewertet.

5.3.1 Beschreibung der Nutzungskonzepte im Untersuchungsgebiet

Aufbauend auf den vorangegangene Analysen und den Untersuchungen zur Pelletierung von Heu (Kapitel 5.2) werden im folgenden Abschnitt verschiedene Nutzungskonzepte auf ihre technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit untersucht.

Bei den verschiedenen Konzepten werden die Vollkosten für die folgenden vier Prozessschritte untersucht:

- Aufwand für die Bereitstellung vom Feld bis zum Anlagenlager
- Aufwand für die Aufbereitung
- Aufwand für die Lieferung von der Aufbereitung zum Endkunden
- Aufwand für die Nutzung im Wärmeerzeuger

Für die Ermittlung des Aufwandes für die **BEREITSTELLUNG DER ROHMATERIALIEN** wurden die Kosten für den Bezug von 5.000 t FM an den Standorten Fehrbellin, Selbelang, Neuruppin, Nauen, Rathenow und Brandenburg ermittelt. Dabei wurden für die stationäre Pelletierung, die mobile Pelletierung und die Heuballenpressung unterschiedliche Stoffströme berücksichtigt. Für jeden einzelnen Prozessschritt ist der standortabhängige Aufwand ermittelt worden. In den nachfolgenden Kapiteln wird näher auf die Konzepte der stationären Pelletierung und der Heuballennutzung eingegangen. Die Variante mit der mobilen Pelletierung wird aus ökonomischen und praktischen Gründen (keine Anbieter in der Region verfügbar) nicht weiter betrachtet.

Bei den Kosten für die Pelletierung und Heuballenpressung werden die in Kapitel 5.1.5 aufgeführten Preise angenommen. Einer der wesentlichen Einflussparameter auf die spätere Standortwahl ist die standortspezifische Verfügbarkeit des benötigten Rohmaterials. Je geringer die erforderliche Entfernung, desto preiswerter lassen sich die benötigten Rohmaterialien beschaffen.

Die Kosten für die Nutzung in Wärmeerzeugern wurden mit den Vollkostenrechnungen anhand der VDI 2067 ermittelt. Dabei werden unter Berücksichtigung von Ersatzbeschaffungen und Kostensteigerungen einmalige und laufende Zahlungen über einen definierten Betrachtungszeitraum in gleichmäßige jährliche Einnahmen und Kosten, sogenannte Annuitäten bei einem Zinssatz von 5 % überführt. Die Differenz ergibt einen jährlichen Gewinn oder Verlust in €/a. Die spezifischen Produktionskosten, dargestellt in Wärmegestehungskosten (in ct/kWh beziehungsweise €/kWh), dienen zum Vergleich verschiedener Wärmebereitstellungskonzepte und ergeben sich aus dem Verhältnis der Summe der jährlichen Kosten (in €/a) zur jährlich bereitgestellten Energiemenge (in kWh/a). Der Einsatz von Heupellets wird in Pelletkesseln mit einer thermischen Leistung von 75 kW und von 150 kW untersucht. Ein Heupelletkessel mit einer Nennwärmeleistung geringer 100 kW ist bei derzeitiger Rechtslage nicht denkbar, wird hier aber vergleichend untersucht. Bei der 150 kW-Anlage wurde eine monovalente ohne und eine bivalente Variante mit ölbasiertem 300 kW-Spitzenlastkessel betrachtet. Die Nutzung von Heuballen wird anhand einer 400 kW Ganzballenfeuerung untersucht. Die Mitverbrennung in bestehenden Anlagen wurde im Rahmen dieses Projekts aus drei Gründen nicht untersucht. Die telefonische Befragung der Anlagenbetreiber im Untersuchungsgebiet hat ergeben, dass die Akzeptanz, Heu als Co-Brennstoff einzusetzen zu gering ist (Kapitel 3.4.3). Außerdem wird davon ausgegangen, dass eine Nutzung von Heu als Brennstoff eine

Nachrüstungen der Filteranlage sowie eine Änderung der Genehmigung erfordert, was mit erheblichen finanziellen Aufwendungen verbunden ist. Hinzu kommt, dass Heu unter den regionalen Voraussetzungen im Untersuchungsgebiet über längere Strecken transportiert werden müsste, was den Zwischenschritt der Pelltierung erfordert. Die dann bestehenden Brennstoffbeschaffungskosten können derzeit nicht mit denen von günstigen Holzsortimenten wie Altholz konkurrieren.

Die einzelnen Konzepte werden jeweils mit Referenzkonzepten basierend auf dem Einsatz von Holzpellets beziehungsweise Holzhackschnitzeln sowie von Erdöl verglichen (Tabelle 5-22).

Tabelle 5-22: Untersuchte Konzepte zur energetischen Nutzung des Heus in Verbrennungsanlagen

Konzept	Wärmebedarf [kWh/a]	Vollbenutzungsstunden [h/a]	Installierte Nennleistung [kW]	Untersuchte Brennstoffe
Konzept 1	90.000	1.200	75	K1a: Heupellets (75 kW) K1b: Holzpellets (75 kW) K1c: Heizöl (75 kW)
Konzept 2	225.000	1.500	150	K2a: Heupellets (150 kW) K2b: Holzpellets (150 kW) K2c: Heizöl (150 kW)
Konzept 3	787.500	1.750	450	K3a: Heupellets (150 kW) + Heizöl (300 kW), K3b: Holzpellets (150 kW) + Heizöl (300 kW), K3c: Heizöl (450 kW)
Konzept 4 und Konzept 5	1.400.000	1.750	800	K4a: Heuballen (400 kW) + Heizöl (400 kW) K4b: Hackschnitzel (400 kW) + Heizöl (400 kW) K4c: Heizöl (800 kW)

Die Betrachtungsdauer wird für die Vollkostenrechnung auf 18 Jahre bei einer jährlichen Inflation von 2 % festgelegt. Die Nutzungsdauer der Wärmeerzeuger wird beim Einsatz von Holz und Heizöl ebenfalls mit 18 Jahren, beim Einsatz von Heu mit 15 Jahren etwas niedriger angenommen, so dass hier eine Ersatzbeschaffung notwendig ist. Beim Einsatz von Biomasse werden die aktuellen Fördermöglichkeiten über die BAFA und die KfW (Stand Juni 2012) berücksichtigt.

Als Brennstoffpreise (Netto, zzgl. der gültigen Umsatzsteuer) werden für Holzpellets 215 €/t (ca. 4,4 ct/kWh), für Hackschnitzel 21 €/Srm (ca. 2,8 ct/kWh) und für Heizöl 70 €/100l (~6,9 ct/kWh) angenommen (Stand Juni 2012).

Die durchgeführten Berechnungen beruhen auf Richtpreisangeboten, Preislisten und Erfahrungen aus beratenen und realisierten Anlagen. In der Praxis können regionale und marktabhängige Unterschiede auftreten. Neben den Kosten für die Errichtung der Wärmeversorgung haben noch andere Parameter einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Heupelletverbrennung wie beispielsweise:

- die Kosten für die Bereitstellung der Rohmaterialien,
- die Nutzungsdauer der Wärmeerzeuger,
- die Kosten für die Pelletierung sowie
- die Akzeptanz der energetischen Heunutzung und die daraus resultierende Verfügbarkeit des Rohmaterials und der
- jährlicher Preisanstieg der Brennstoffe

Eine **SENSITIVITÄTSANALYSE** dient dazu, die Spannbreite an Auswirkungen auf eine Veränderung wichtiger, den ökonomischen Rahmen schaffender Parameter wie Vollbenutzungsstunden, Rohstoffkosten, Investitionssummen oder geänderte wirtschaftliche Bedingungen abschätzen zu können. Insbesondere die Nutzungsdauer in Jahren, die Vollbenutzungsstunden und der Brennstoffpreis als wichtige Stellgrößen sollen variiert und die Auswirkung auf die Wärmegestehungskosten beurteilt werden. Indirekte Auswirkungen wie zum Beispiel die Erhöhung des Wartungsaufwandes durch Erhöhung der Vollaststunden gehen nicht mit in die Berechnung ein.

Biomassebereitstellung

In diesem Kapitel erfolgt die Auswertung der Biomasseverfügbarkeit für ausgewählte Standorte und die Kalkulation der Biomassebereitstellungskosten für die Nutzungskonzepte.

Biomasseverfügbarkeit

Entsprechend Kapitel 2 resultiert von den landwirtschaftlichen Flächen des Untersuchungsgebietes ein technisches Potenzial in Höhe von 47.000 t TM. Der Anteil von extensiven Flächen beträgt 46.200 t TM und 800 t TM ergeben sich von intensiv bewirtschafteten Grünlandflächen. Für den Einsatz in Verbrennungsanlagen eignen sich rund 27.700 t TM, was einem Anteil von 60 % des Potenzials von extensiven Flächen entspricht. Die Bereitstellungsverluste durch das Bergen und alle relevanten Logistikprozesse werden aufgrund von Expertenmeinungen aus der Region mit ca. 30 % berücksichtigt. Demnach ergibt sich ein energetisch nutzbares Potenzial von rund 19.400 t TM für den Einsatz in Verbrennungsanlagen. Unter Berücksichtigung eines Trockenmassegehaltes von 86 % entspricht das Potenzial einem Frischmasseaufkommen von ca. 22.600 t FM.

Für die Nutzungskonzepte der Grüngutverbrennungsanlagen wurden insgesamt sechs Standorte (Abbildung 5-33) hinsichtlich der Verfügbarkeit von Grünschnitt untersucht. Dazu zählen Fehrbellin (Naturholz GmbH), Selbelang (FMS Futtermittel GmbH), Neuruppin, Rathenow, Nauen und Brandenburg. Für jeden Standort wurde ein radiales Einzugsgebiet ausgewertet, welches sich über das gesamte Untersuchungsgebiet erstreckt. Die resultierende Fläche wurde jeweils in 5 km breite Kreisabschnitte unterteilt und mit Hilfe von GIS die darin verfügbaren Grünschnittpotenziale ausgewertet. Um den tatsächlichen Straßenkilometern Rechnung zu tragen, wurde bei den Analysen ein Straßenverlängerungsfaktor von 1,2 berücksichtigt. Die Radien für die GIS-basierte Auswertung verkürzen sich somit um diesen Quotienten. Das Untersuchungsgebiet wurde zudem als ein geschlossenes System betrachtet. Ein- beziehungsweise Ausfahren über die Systemgrenzen hinweg wurden nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse der standortbezogenen Potenzialverteilung in Abhängigkeit der Entfernung zum Standort werden in Abbildung 5-34 zusammenfassend dargestellt.

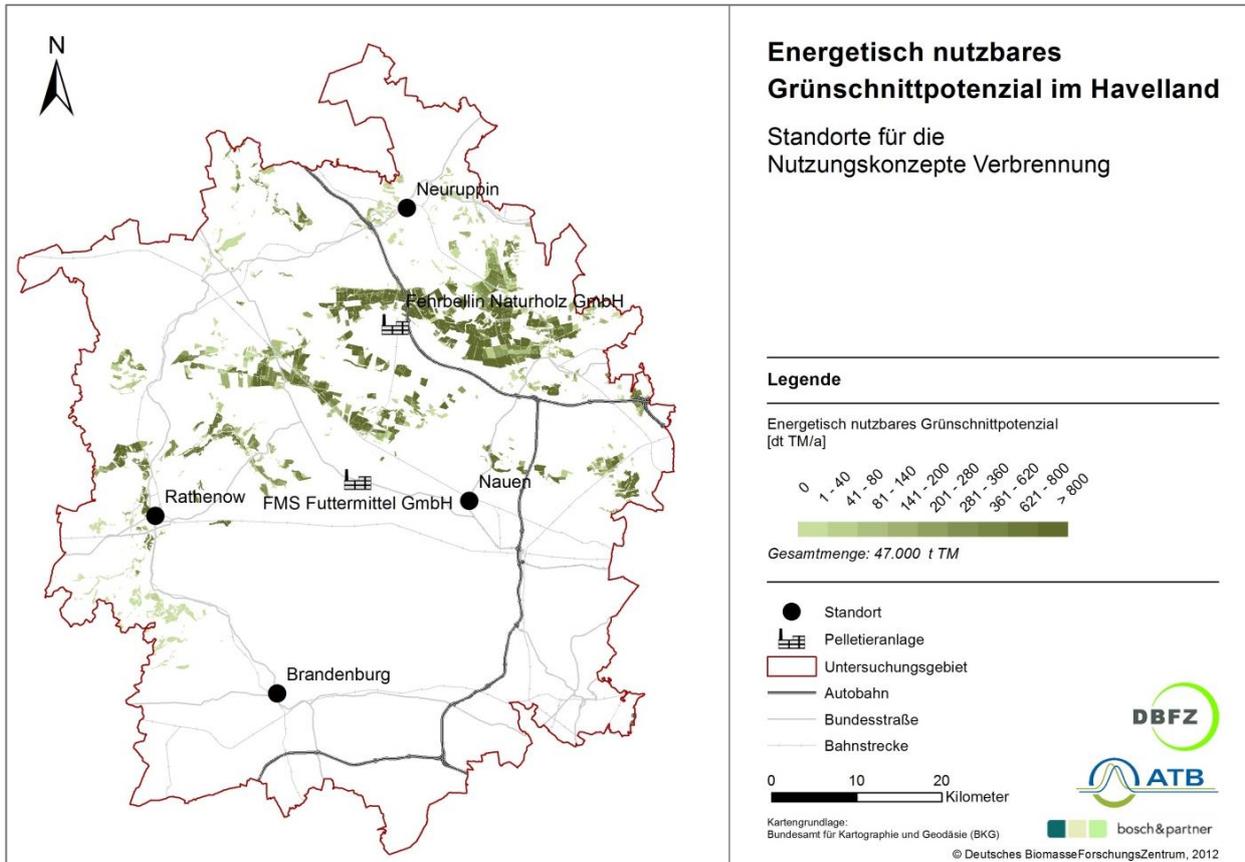


Abbildung 5-33: Standorte für die Ermittlung der Biomassebereitstellungskosten (Abbildung: DBFZ)

Durch die zentrale Lage ergibt sich für den Standort Fehrbellin die vergleichsweise günstigste Situation. Bis zu einer Entfernung von ca. 35 km ist an diesem Standort das Grünschnittpotenzial am höchsten. Ab dieser Entfernung zeigen sich wiederum für Selbelang etwas bessere Standortbedingungen in Bezug auf die Potenziale. Aufgrund von sehr geringen Potenzialen rund um Brandenburg ergeben sich für diesen Standort die insgesamt schlechtesten Ausgangsbedingungen.

Aus den GIS-basierten Auswertungen geht hervor, welche Grünschnittmengen in welcher Entfernung für einen Standort verfügbar sind. Mit Hilfe dieser Ergebnisse können die standortbezogenen Biomassebereitstellungskosten berechnet werden. Die Vorgehensweise wird in den folgenden Abschnitten erläutert.

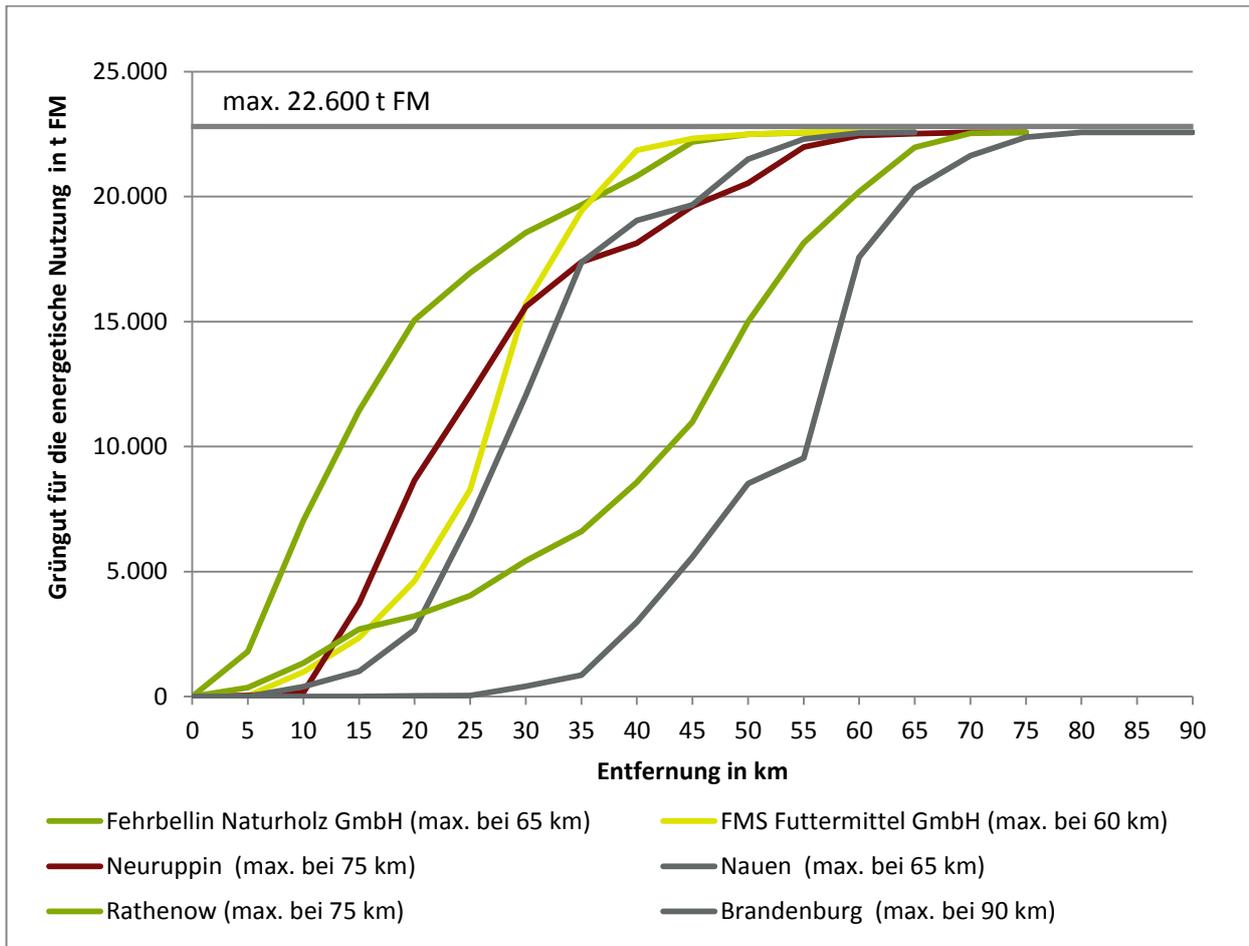


Abbildung 5-34: Standortbezogene Verteilung der technischen Grünschnittpotenziale für die Verbrennung (60 %) inkl. Bereitstellungsverluste (30 %) (Abbildung: DBFZ)

Grundlagen zur Berechnung der Biomassebereitstellungskosten

Die Bereitstellungskosten wurden mit Hilfe eines vom DBFZ entwickelten Computermodells kalkuliert. Darin wurde eine Bereitstellungskette modelliert, die sich aus den in Abbildung 5-35 dargestellten Einzelprozessen zusammensetzt. Nachdem das Grünland einmal gemäht, zweimal gezettet und gewendet sowie anschließend geschwadet wurde, wird das auf dem Feld liegende Heu im Prozess der Ballenpressung zu Quaderballen (hier: 220 x 120 x 70 cm) verarbeitet. Die Ballenbergung umfasst anschließend das Verladen der Heuballen auf ein landwirtschaftliches Transportmittel sowie den Transport zu einem Zwischenlager beziehungsweise direkt zum Anlagenlager. Die Direktlieferung ist abhängig von der Kapazität des Anlagenlagers sowie der Verfügbarkeit von GrüNGut in einer für das Transportmittel festgelegten Maximalentfernung. Die Zwischenlagerung beinhaltet das Entladen des Transportgutes und die Art der Lagerung. Die Lieferung setzt sich schließlich aus der Beladung des Transportgespanns am Zwischenlager, dem Transport innerhalb des Einzugsgebietes und der Entladung am Anlagenlager zusammen.

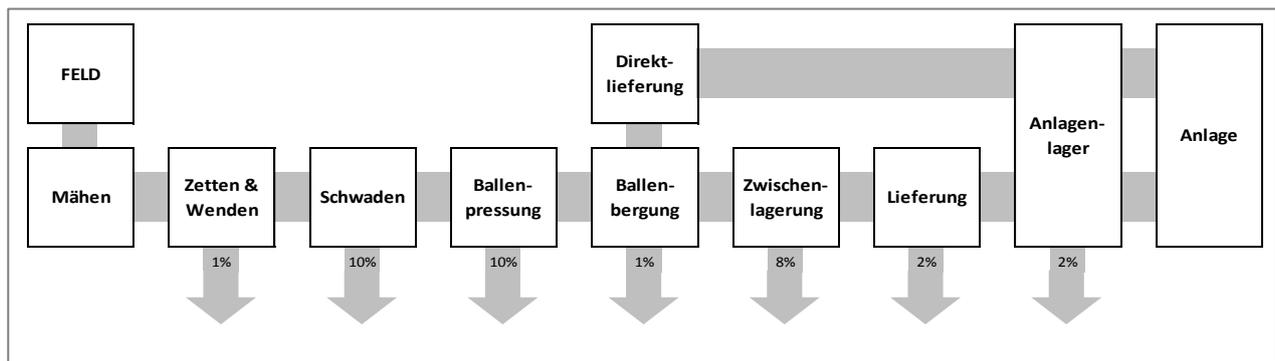


Abbildung 5-35: Einzelprozesse der modellierten Bereitstellungskette und jeweilige Frischmasseverluste (Abbildung: DBFZ [in Anlehnung an 9])

Entlang der Bereitstellungskette ergeben sich Verluste, die zu einem insgesamt höheren anlagenbezogenen Bedarf an Heu führen. In den Potenzialberechnungen wurden auf Basis von Experteneinschätzungen Bereitstellungsverluste in Höhe von rund 30 % berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.4). Dieser Gesamtverlust wurde für die Berechnung der Biomassebereitstellungskosten auf die Einzelprozesse verteilt (siehe Abbildung 5-35). Berücksichtigt wurden in diesem Zusammenhang prozessbegleitende Verluste sowie Lagerungsverluste im Zwischenlager¹¹ und im Anlagenlager¹². Die Verluste beziehen sich auf die Mengen aus dem jeweils vorangegangenen Prozess. Daher ist die Summe der dargestellten Einzelverluste höher als der resultierende Gesamtverlust.

Innerhalb der Einzelprozesse werden die nach [9] empfohlenen Maschinenkombinationen eingesetzt. Die Zusammenstellung in Abbildung 5-36 führt die jeweils eingesetzten Maschinen auf und bildet beispielhaft den Stoffstrom für einen Biomassebedarf von 5.000 t FM ab.

¹¹ Feldmiete mit Folienabdeckung

¹² Leichtbauhalle, Neubau

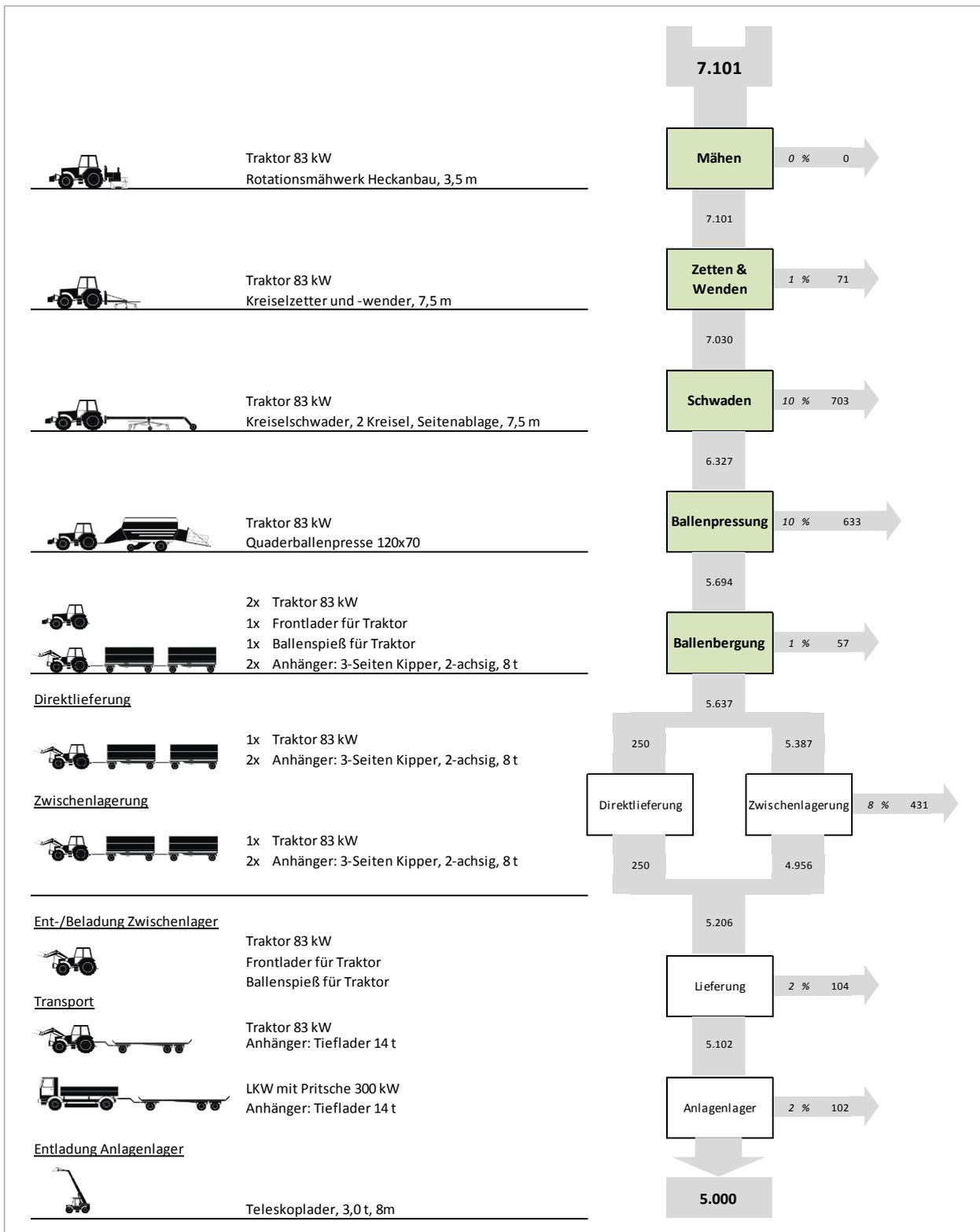


Abbildung 5-36: Maschineneinsatz und Stoffstrom am Beispiel eines Anlagenbedarfs von 5.000 t FM (Abbildung: DBFZ [in Anlehnung an 9])

Für die einzelnen Maschinen wurden die folgenden spezifischen Rahmenparameter modelliert:

- Durchschnittliche Fahrtgeschwindigkeiten Traktor (Feld/Straße): 8/20 km/h
- Durchschnittliche Fahrtgeschwindigkeit LKW: 40 km/h
- Bergezeit pro Heuballen: 1 Minute
- Maximale Entfernung für Lieferung mit Traktorgespann: 10 km
- Mittlere Entfernung zum Zwischenlager: 0,5 km
- Be-/Entladezeit am Zwischenlager: 0,5 Minuten/Ballen

Berücksichtigt wurde weiterhin ein Faktor, der neben der reinen Hauptzeit einzelner Arbeiten auch die zusätzlich notwendige Zeit zur Erledigung weiterer, damit verbundener Arbeiten einschließt. Zu dem als Gesamtarbeitszeit bezeichneten Parameter zählen je nach Prozess beispielsweise Anfahrt, Vorbereitung der Maschine, Umsetzzeiten, Standzeiten durch technische Probleme oder sonstige Verzögerungen. Diese zusätzlich benötigte Zeit wirkt sich auf die Höhe der Kosten in den jeweiligen Arbeitsprozessen aus. In den Berechnungen wurden die folgenden Quotienten aus Hauptzeit und Gesamtarbeitszeit unterstellt:

- 0,6 für Mähen, Zetten und Wenden, Schwaden, Ballenpressung
- 0,9 für Ballenbergung, Ent-/Beladeprozesse

In Abhängigkeit der Potenzialverfügbarkeit innerhalb der standortbezogenen Einzugsgebiete wirken sich die erläuterten Rahmenbedingungen auf die jeweilige Höhe der Biomassebereitstellungskosten aus. Die zugrunde liegenden Kosten für die eingesetzten Maschinen und das Personal basieren auf Angaben von [9]. Die Maschinenkosten sind darin als Vollkosten aufgeführt und setzen sich aus den folgenden Positionen zusammen:

- Anschaffungswert zum Neupreis ohne MwSt. (Unverbindliche Preisempfehlung der Hersteller aus 2009 und 2010)
- Nutzungsumfang (Abschreibungszeit, Einsatzstunden)
- Fixe Kosten (Kapitaldienst, technische Überwachung (inkl. Lohnkosten), Versicherung, zum Teil Steuern)
- Variable Kosten (Reparaturen, Betriebsstoffe/-mittel, erfolgsbezogene Steuern)

Abweichend von diesen Angaben wurden die Diesel- und Schmierölpreise durch die folgenden Werte angepasst:

- Diesel: 1,40 €/l
- Agrardiesel: 1,20 €/l
- Schmieröl: 5,00 €/l

Auf dieser Grundlage ergeben sich die in Tabelle 5-23 zusammengefassten Maschinenkosten.

Tabelle 5-23: Maschinenkosten [9, eigene Berechnungen]

Maschine	Spezifische Gesamtkosten		Anschaffung	Fixe Kosten	Variable Kosten
	€/h	/ha			
Traktor 83 kW	27,95 €	/h	67.000 €	8,82 €	19,13 €
Rotationsmäherwerk Heckanbau, 3,5 m	4,37 €	/ha	10.800 €	2,67 €	1,70 €
Kreiselzetter und -wender, 7,5 m	3,05 €	/ha	12.000 €	1,40 €	1,65 €
Kreiselschwader, 2 Kreisel, Seitenablage, 7,5 m	5,57 €	/ha	21.000 €	3,27 €	2,30 €
Quaderballenpresse 120x70	2,60 €	/Ballen	125.000 €	1,45 €	1,15 €
Frontlader für Traktor	3,28 €	/h	4.600 €	2,28 €	1,00 €
Ballenspieß für Traktor	0,05 €	/t	850 €	0,04 €	0,01 €
3-Seiten Kipper, 2-achsig, 8 t	0,81 €	/t	11.000 €	0,61 €	0,20 €
3-Seiten Kipper, 3-achsig, 24 t	0,88 €	/t	32.500 €	0,68 €	0,20 €
Tieflader 14 t	0,49 €	/t	11.700 €	0,29 €	0,20 €
LKW mit Pritsche 300 kW	67,08 €	/h	97.000 €	11,55 €	55,53 €
Teleskoplader, 3,0 t, 8m	26,82 €	/h	79.000 €	9,80 €	17,02 €

Die Personalkosten sind mit 20,00 €/h in die Berechnungen eingegangen und die verwendeten jährlichen Lagerungskosten betragen nach [73]:

- Zwischenlager „Feldmiete mit Folienabdeckung“: 2,34 €/t FM
- Anlagenlager „Leichtbauhalle, Neubau“: 16,34 €/t FM

Ergebnisse der standortbezogenen Biomassebereitstellungskosten

Die Zusammenhänge zwischen dem anlagenbezogenen Biomassebedarf und den standortbezogenen Biomassebereitstellungskosten sind für die sechs untersuchten Standorte in Abbildung 5-37 dargestellt. Das Anlagenlager wurde in diesem Beispiel auf 250 t FM dimensioniert und es gelten die zuvor erläuterten Rahmenbedingungen. Die Nähe zu den Grünschnittpotenzialen (Abbildung 5-33) am Standort Fehrbellin wirkt sich vorteilhaft auf die Biomassebereitstellungskosten aus. Hier sind die Kosten für die Biomassebereitstellung insgesamt am niedrigsten. Je nach Höhe des Anlagenbedarfs

ergeben sich für die weiteren Standorte unterschiedliche Zusammenhänge. Vergleichsweise günstige Standortbedingungen ergeben sich auch für Neuruppin und für einen geringeren Anlagenbedarf ebenfalls für Rathenow. Die insgesamt höchsten Biomassebereitstellungskosten ergeben sich aufgrund sehr geringer Grünschnittpotenziale für die energetische Nutzung für den Standort Brandenburg. Die charakteristischen Anstiege beziehungsweise Abfälle der Graphen bei einem geringen Anlagenbedarf sind in diesem Beispiel den Kosten für das Anlagenlager geschuldet.

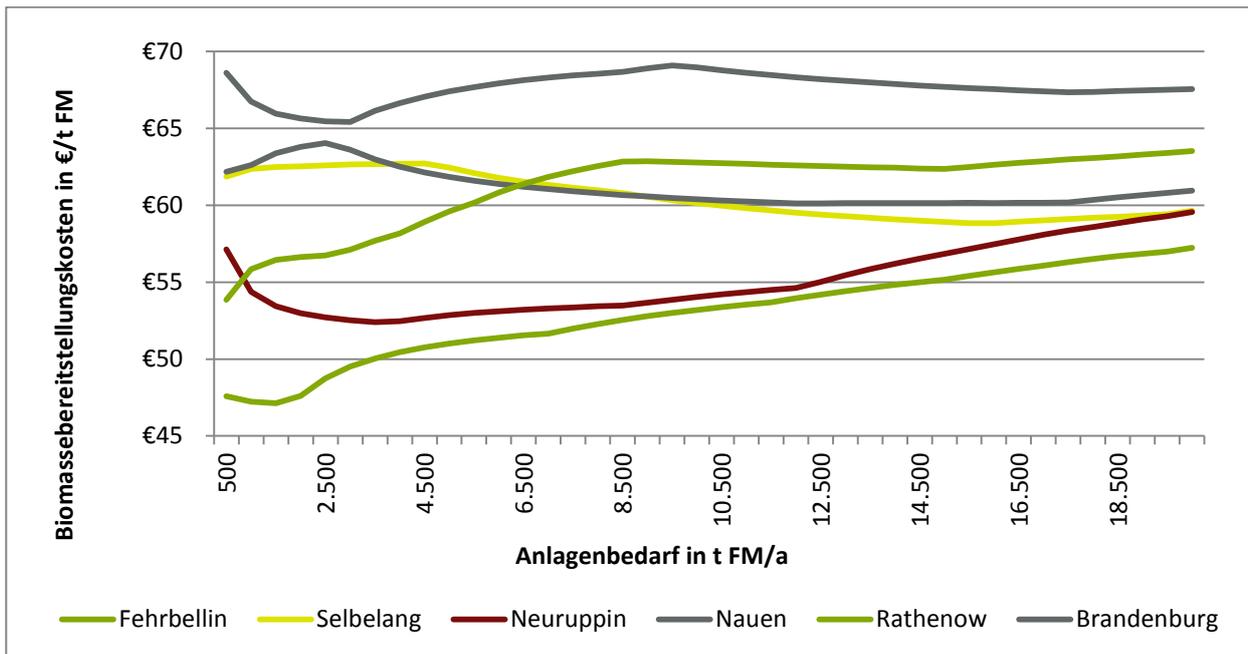


Abbildung 5-37: Standortbezogene Bereitstellungskosten für die sechs untersuchten Standorte (Abbildung: DBFZ)

Für einen Anlagenbedarf von 5.000 t FM und einer Anlagenlagerkapazität von 250 t ergeben sich für alle Logistikprozesse vom Feld bis in das Anlagenlager die folgenden Biomassebereitstellungskosten:

Fehrbellin:	ca. 51 €/t FM
Neuruppin:	ca. 53 €/t FM
Rathenow:	ca. 60 €/t FM
Selbelang:	ca. 62 €/t FM
Nauen:	ca. 62 €/t FM
Brandenburg:	ca. 67 €/t FM

Die Auswertungen zeigen, dass die höchsten Kosten aus der Bereitstellung vom Feld bis zur Feldkante resultieren. Eingeschlossen sind dabei die Prozesse Mähen, Zetten und Wenden, Schwaden, Ballenpressung und Ballenbergung. Am Beispiel von Fehrbellin (Abbildung 5-38) beträgt der Anteil der Kosten für diese Prozesse 78 % (39 €/t FM). Weitere 21 % (11 €/t FM) der Kosten entfallen auf die Zwischenlagerung. Die Kostenanteile der Direktlieferung und das Anlagenlager sind vergleichsweise sehr gering.

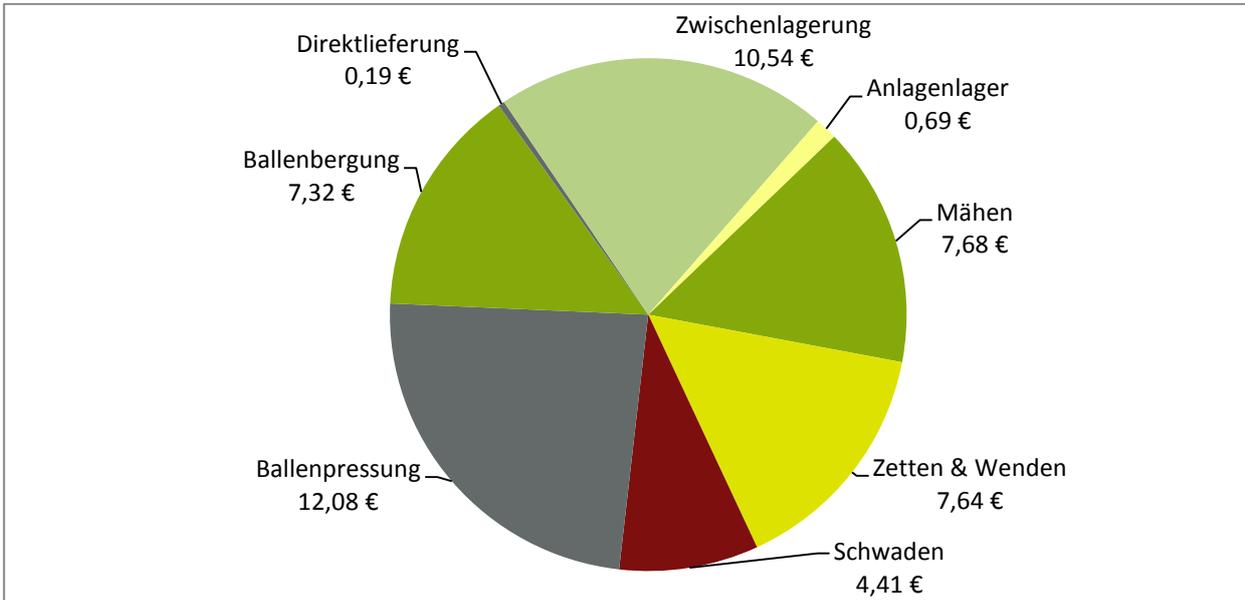


Abbildung 5-38: Kosten der Einzelprozesse bei der Bereitstellung von 5.000 t FM in Fehrbellin in €/t FM (Abbildung: DBFZ)

Im Vergleich zu einem Standort mit geringeren Grünschnittpotenzialen erhöht sich der Anteil der Zwischenlagerung aufgrund der höheren Transportentfernungen. Gleichzeitig reduziert sich der prozentuale Anteil für die Bereitstellung bis zur Feldkante, wenngleich dieser an allen Standorten mehr als zwei Drittel ausmacht.

Der beispielhaft dargestellte Biomassebedarf in Höhe von 5.000 t FM bildet den einer stationären Pelletieranlage ab. Für die weitere Auswertung verschiedener Nutzungskonzepte (Kapitel 5.3.1) wurden insgesamt drei Biomassebereitstellungskonzepte (Abbildung 5-39) unterschieden. Im Folgenden werden die Rahmenbedingungen näher erläutert.

Stationäre Pelletierung: In diesem Bereitstellungskonzept soll der Grünschnitt stationär pelletiert und die produzierten Pellets anschließend an mehrere Heizwerke in der Region geliefert werden. Somit können Skalenvorteile erzielt werden.

Bis zum Anlagenlager folgt dieses Konzept den bisherigen Erläuterungen. Der Anlagenbedarf beträgt 5.000 t FM/a und die Kapazität des Anlagenlagers beträgt 250 t FM. Hinzu kommen die Kosten der Pelletierung (Kapitel 5.1.5) sowie die Kosten für den Transport zum Verbraucher. Die Lieferung erfolgt mit einem LKW mit Pritsche und einem Dreiseitenkipper, dreiachsig, 24 t (Tabelle 5-23). Für die Be- und Entladung werden jeweils 20 Minuten angenommen. Die restlichen Rahmenbedingungen sind analog zu den bisherigen Ausführungen. Eine Zusammenstellung der resultierenden Lieferkosten für die Pellets befindet sich als Kostenmatrix im Anhang A 10.

Heuballenfeuerung: In diesem Bereitstellungskonzept werden die Rahmenbedingungen für den Anlagenbedarf und die erforderlichen Lagerungskapazitäten (Kapitel 5.1.5) angepasst. Die Zusammenstellung der resultierenden Kosten ist im Anhang A 10 enthalten.

Mobile Pelletierung: Die mobile Pelletierung (Kapitel 5.1.5) findet am Zwischenlager statt. Die Lieferung der vor Ort produzierten Pellets erfolgt durch einen Standardtraktor 83 kW und einem Dreiseitenkipper, dreiachsig, 24 t (Tabelle 5-23). Für die Be- und Entladung werden jeweils 10 Minuten angenommen. Die restlichen Rahmenbedingungen sind analog zu den bisherigen Ausführungen. Eine Zusammenstellung der resultierenden Kosten befindet sich als Kostenmatrix im Anhang A 10.

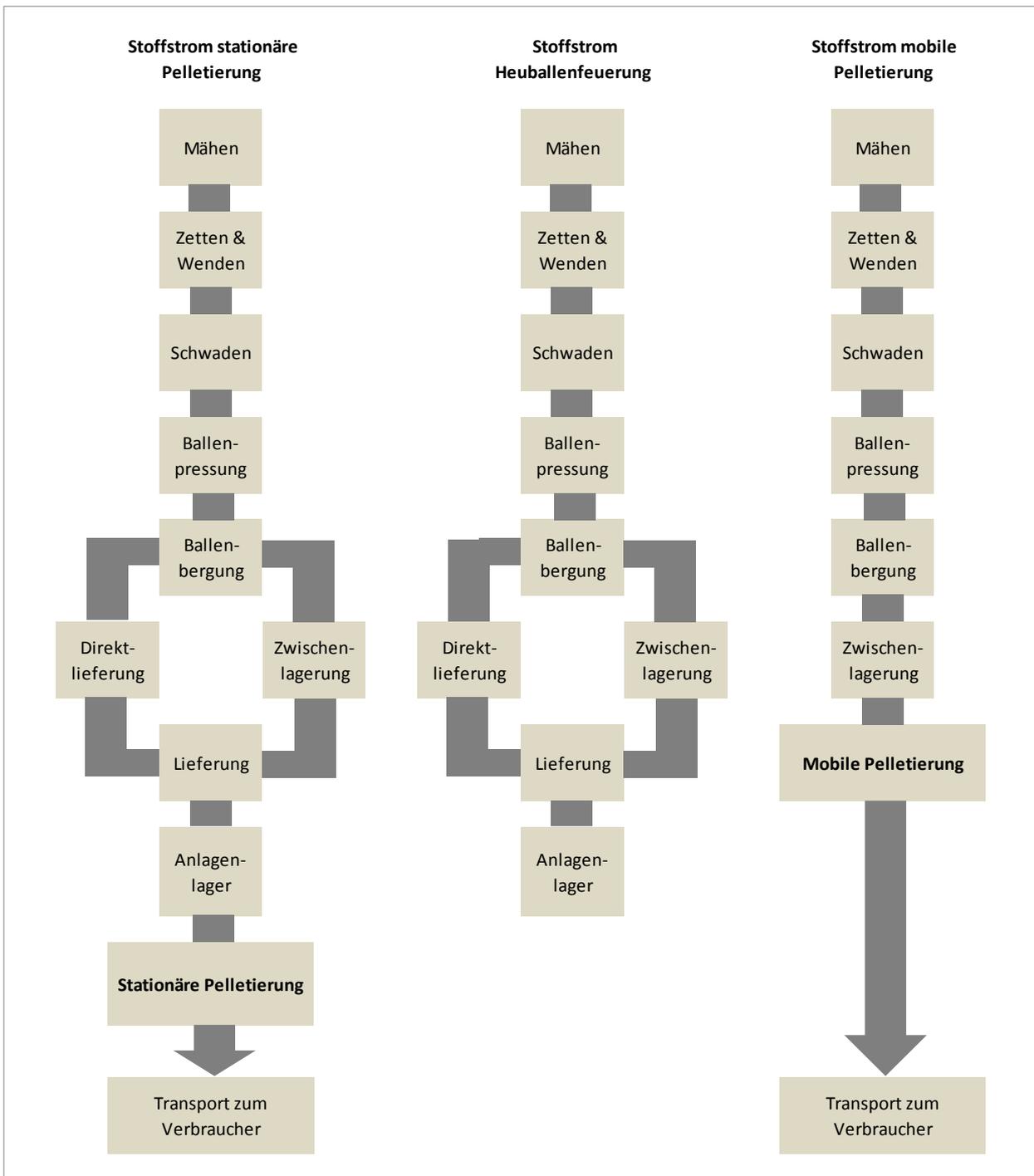


Abbildung 5-39: Stoffströme für die Bereitstellung von Grünschnitt zur Verbrennung für drei Nutzungskonzepte (Abbildung: DBFZ)

Nutzungskonzept I - Lohnpelletierung Bestandsanlage

Bei der Nutzung von Heupellets ist eine möglichst kurze Entfernung zwischen dem Feld und der Pelletierung von großer Bedeutung. Die Lieferentfernung zum Endkunden ist aufgrund der hohen Energiedichte des pelletierten Materials nur noch von untergeordneter Bedeutung. Da die Feuerungsanlagen im Zweifelsfall meist auch mit Holzpellets betrieben werden können, ist auch das

Betriebsrisiko vergleichsweise gering. Das größte Risiko trägt in dieser Kette der Pelletierer, da er die größte Investition tätigen und sich sowohl um einen ausreichenden Rohstoffbezug als auch um die Absatzstrategie kümmern muss

Für die stationäre Lohnpelletierung in einer Bestandsanlage kommen hinsichtlich einer bestehenden Infrastruktur im Untersuchungsgebiet grundsätzlich die Standorte Fehrbellin und Selbelang in Frage. Aufgrund der deutlich besseren Verfügbarkeit des Rohmaterials (10 km Umkreis im Vergleich zu 25 km Umkreis) sowie der gut zu erschließenden Wärmesenken in Neuruppin, wird Fehrbellin als Standort für die Lohnpelletierung gewählt (Abbildung 5-40). Ferner wird davon ausgegangen, dass die gesamte Produktionsmenge in einem Umkreis von 20 km um das Anlagenlager abgesetzt werden kann (Abbildung 5-41).

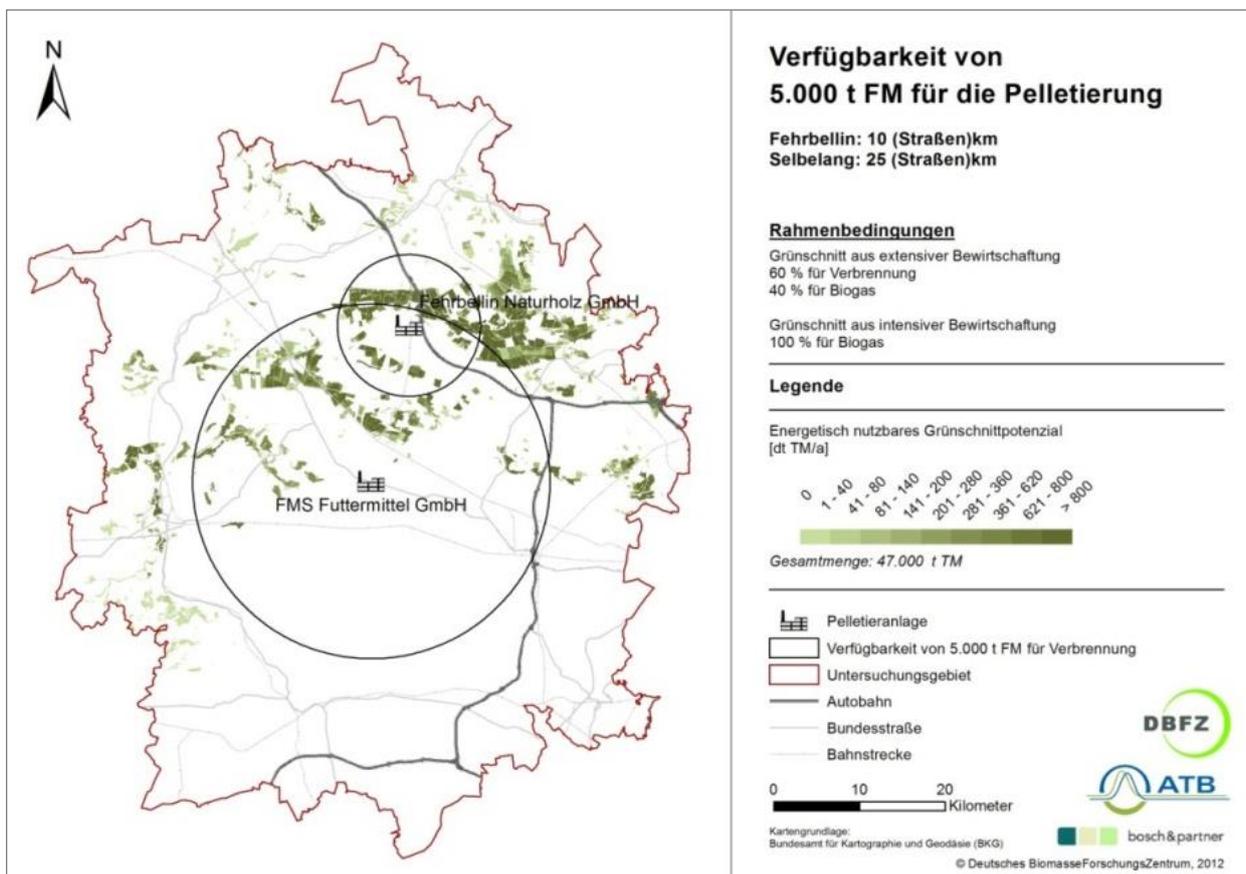


Abbildung 5-40: Verfügbarkeit von 5.000 t FM für die Pelletierung für das Nutzungskonzept I - stationäre Lohnpelletierung an den Standorten Fehrbellin und Selbelang (Abbildung: DBFZ)

Hinsichtlich der Kosten, die für die Bereitstellung von 5.000 t FM, dem Transport zur Pelletieranlage und die eigentliche Pelletierung entstehen, ist der Standort Fehrbellin, aufgrund der kürzeren Transportwege mit 87 €/t im Vergleich zu Selbelang mit 98 €/t deutlich günstiger und daher zu bevorzugen.

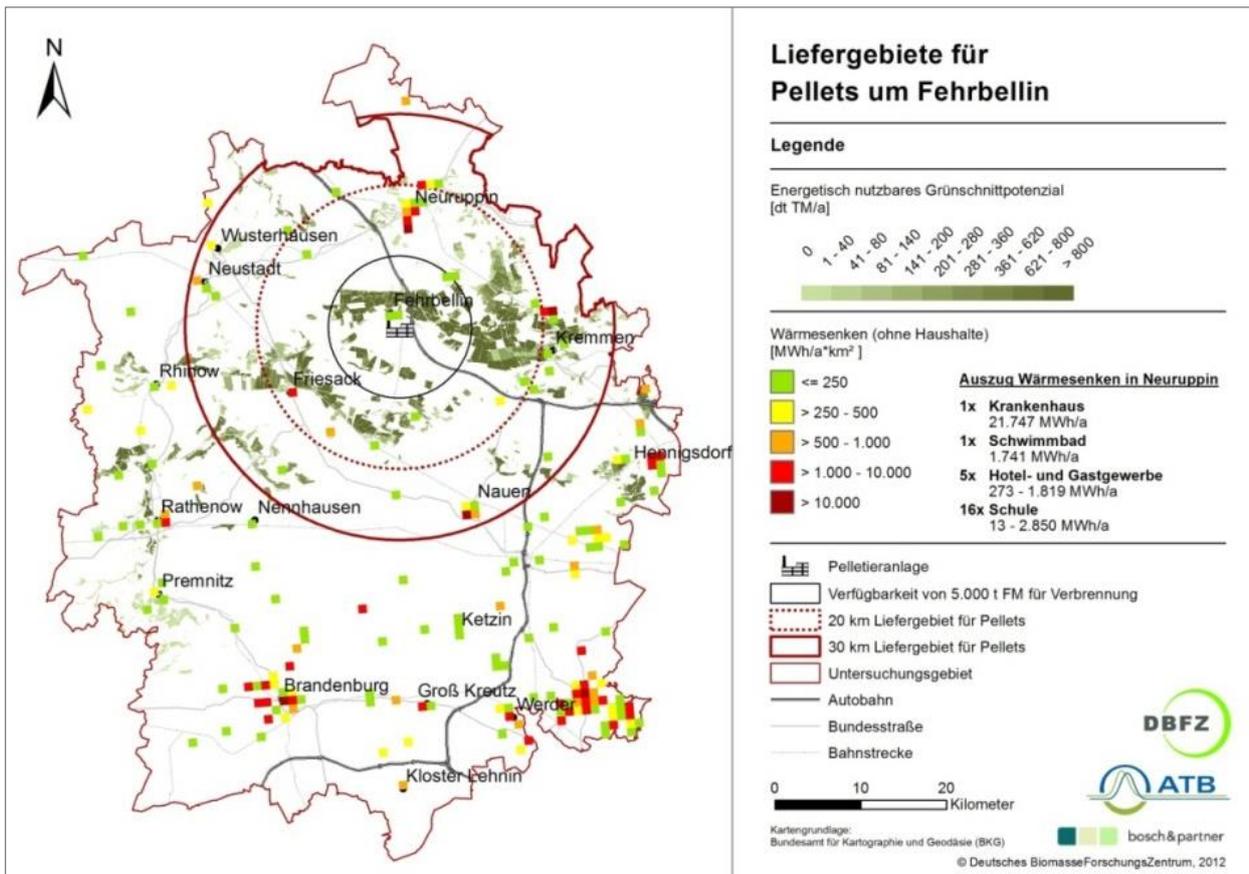


Abbildung 5-41: Liefergebiet für Pellets um den Standort Fehrbellin (Nutzungskonzept I - stationäre Lohnpelletierung) (Abbildung: DBFZ)

Bei Berücksichtigung der gesamten Prozesskette nach Abbildung 5-39 einschließlich Mähen und Lieferung zum Verbraucher, der Pelletierung am Standort Fehrbellin und der Lieferung der Heupellets in einem Umkreis von 20 km ergibt sich ein Pelletpreis (netto) von etwa 90 €/t. Die Kosten der Lohnpelletierung wurden hier ohne Trocknung mit ausgesprochen niedrigen ca. 36 €/t angegeben (vgl. Kapitel 5.1.5). Die Aufteilung des Preises auf die einzelnen Prozessschritte ist in Abbildung 5-42 dargestellt.

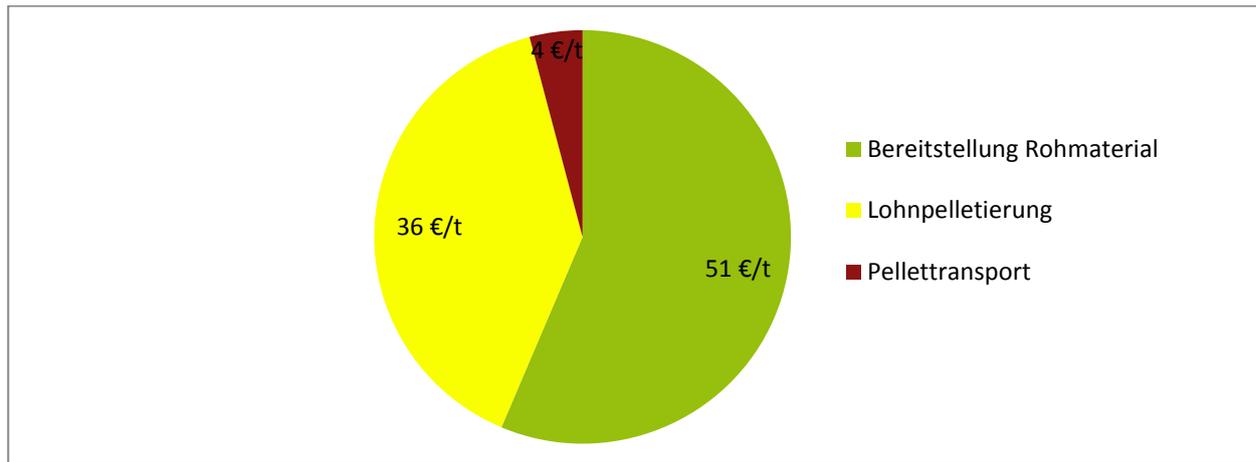


Abbildung 5-42: Aufteilung des Pelletpreises auf die Kosten der einzelnen Prozessschritte in Nutzungskonzept I - stationäre Lohnpelletierung am Standort Fehrbellin (Abbildung: DBFZ)

Für die in Tabelle 5-22 beschriebenen Konzepte 1 bis 3 ergeben sich die in Tabelle 5-24 aufgeführten Investitionen, jährlichen Kosten und Wärmegestehungskosten.

Tabelle 5-24: Investitionen, Annuität der jährlichen Kosten und Wärmegestehungskosten für die verschiedenen Verbrennungskonzepte entsprechend Nutzungskonzept I - stationäre Lohnpelletierung in einer bestehenden Anlage in Fehrbellin

Konzept	Hauptbrennstoff	Gesamtwärmeleistung	Investitionssumme	Annuitätische Kosten	Wärmegestehungskosten
K1a	Heupellets	75 kW	39.238 €	9.464 €/a	10,5 ct/kWh
K1b	Holzpellets	75 kW	34.838 €	10.413 €/a	11,6 ct/kWh
K1c	Heizöl	75 kW	19.890 €	10.724 €/a	11,9 ct/kWh
K2a	Heupellets	150 kW	72.300 €	18.998 €/a	8,4 ct/kWh
K2b	Holzpellets	150 kW	62.580 €	22.943 €/a	10,2 ct/kWh
K2c	Heizöl	150 kW	24.440 €	23.382 €/a	10,4 ct/kWh
K3a	Heupellets	450 kW	164.370 €	56.755 €/a	7,2 ct/kWh
K3b	Holzpellets	450 kW	155.970 €	74.414 €/a	9,4 ct/kWh
K3c	Heizöl	450 kW	66.560 €	78.987 €/a	10,0 ct/kWh

Die Investitionen sind für Biomassefeuerungen erwartungsgemäß höher als für fossile Feuerungen. Die höheren Kosten bei der Heunutzung gegenüber dem Einsatz von Holzpellets resultieren hauptsächlich aus dem zusätzlichen Bedarf an Filtertechnik. Die Höhe der Investitionen für einen Heizölkessel fallen am geringsten aus wobei auf zusätzlichen einen Pufferspeicher verzichtet werden kann.

Die in Tabelle 5-24 dargestellten jährlichen Kosten sowie die daraus resultierenden Wärmegestehungskosten zeigen mit zunehmender Kesselleistung deutliche Vorteile bei der Nutzung von Heupellets gegenüber den untersuchten Referenzkonzepten. Dieser Trend ist grundsätzlich nicht ungewöhnlich, da mit steigendem Wärmebedarf und demzufolge auch zunehmenden Brennstoffbedarf der Einfluss eines sehr preiswerten Brennstoffes deutlich stärker hervor tritt. Dies gilt im vorliegenden Fall für alle drei Leistungsklassen. Je höher die installierte Kesselleistung ist, umso größer fällt der Vorteil einer Heupelletfeuerung gegenüber den Referenzkonzepten aus.

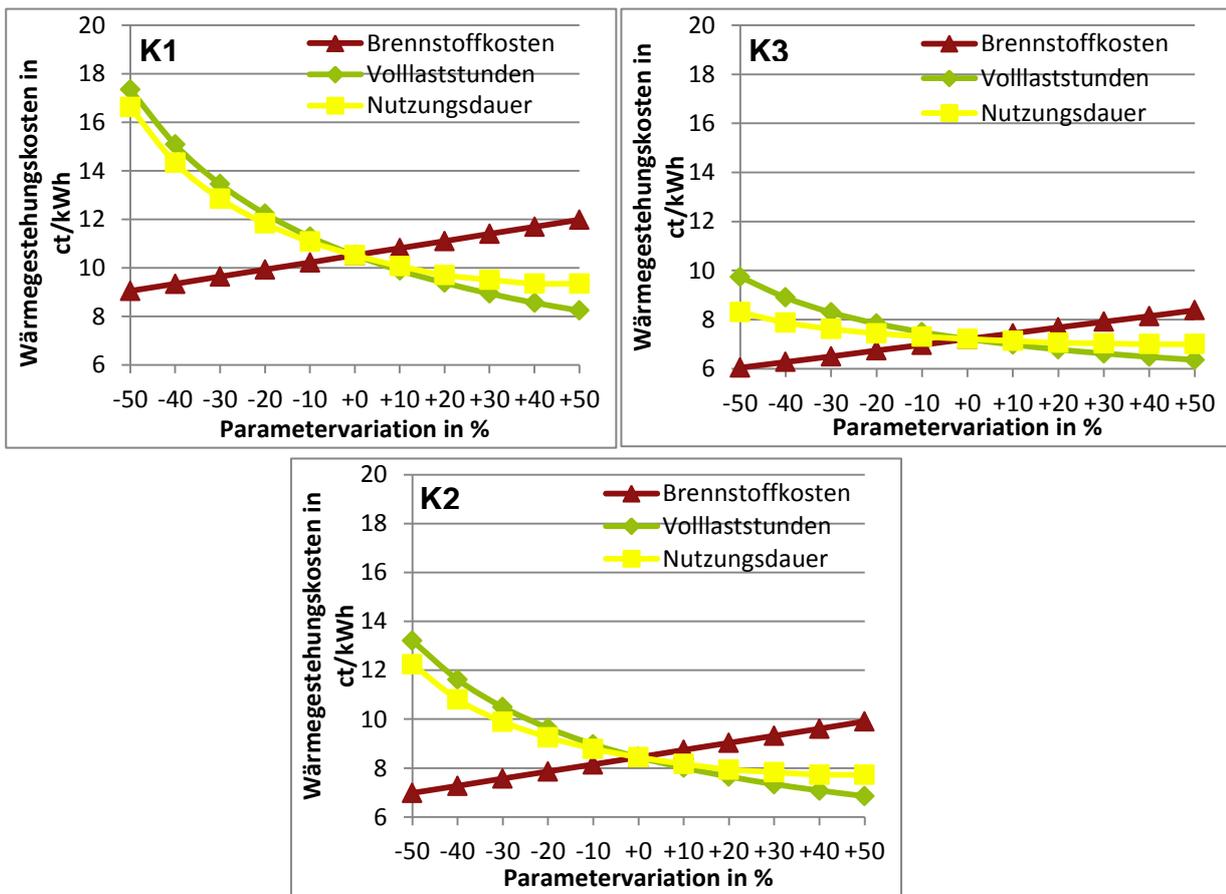


Abbildung 5-43: Sensitivitätsanalyse der Heupelletnutzung entsprechend Nutzungskonzept I - stationäre Lohnpelletierung in einer bestehenden Anlage in Fehrbellin, K1: 75 kW-Kessel, K2: 150 kW-Kessel, K3: 450 kW-Kessel, bivalent (Abbildung: DBFZ)

Die Sensitivitätsanalyse des Nutzungskonzeptes I hinsichtlich der Parameter Brennstoffpreis, Vollbenutzungsstunden und Nutzungsdauer in den drei unterschiedlichen Kesselvarianten ist in Abbildung 5-43 für die Nutzung von Heu als Brennstoff dargestellt. Die betreffenden Parameter wurden in einem Bereich von - 50 bis + 50 % gegenüber den in die Basisvariante eingegangenen Werte variiert. Die Vollbenutzungsstunden wurden in Variante K1 mit 1.200 h/a, in K2 mit 1.500 h/a und in K3 mit 1.750 h/a veranschlagt und entsprechen damit den Angaben weiterer Publikationen [164], [165]. Die Nutzungsdauer des Kessels in den Basisvarianten beträgt beim Einsatz von Heu 15 Jahre.

Die Brennstoffkosten gehen linear in die Wärmegestehungskosten ein und sind mit diesen direkt proportional korreliert. Während mit steigenden Vollbenutzungsstunden und Nutzungsdauer ein sinkender, nicht-linearer Verlauf der Wärmegestehungskosten zu verzeichnen ist. Die Auswirkungen einer Änderung der Vollbenutzungsstunden und der Nutzungsdauer fällt insbesondere im kleinen Leistungsbereich stärker aus, als dies bei größeren Kesseln beziehungsweise bei bivalenter Auslegung der Fall ist. Daher sind neben den Brennstoffkosten insbesondere für Kessel niedriger Wärmeleistung die Nutzungsdauer und noch stärker die Vollbenutzungsstundenzahl als bestimmende Faktoren hinsichtlich der Wärmegestehungskosten zu nennen.

Unter Beibehaltung der Vollbenutzungsstunden könnte eine um drei Jahre längere Nutzungsdauer (18 Jahre) einen Preisanstieg der Heupellets um 10 %, zumindest in den Varianten K1 und K2, überkompensieren, so dass die Wärmegestehungskosten sinken würden. In Variante K3 wären um 0,1 ct/kWh höhere Wärmegestehungskosten zu erwarten. Obwohl die Vollbenutzungsstundenzahl durch den Bedarf an Raumwärme beziehungsweise Warmwasser begrenzt wird, würde eine 20 %-ige Erhöhung des Wärmebedarfs, beispielsweise durch einen Gebäudeanbau, eine Steigerung der Jahresvollaststundenzahl, je nach Variante, zwischen 240 und 350 h/a nach sich ziehen und zu einer Senkung der Wärmegestehungskosten zwischen 1,1 ct/kWh (K1) und 0,4 ct/kWh (K3) führen. Daran wird die Bedeutung einer wohlüberlegten Kesselauslegung hinsichtlich der benötigten Wärmeleistung deutlich?

Nutzungskonzept II - Neubau stationäre Pelletierung

Im Unterschied zur Lohnpelletierung und der Nutzung eines günstig gelegenen Standortes, wie sie in Kapitel 5.1.5 beschrieben ist, wird im Folgenden der Einfluss der Errichtung einer eigenen stationären Pelletierung an einem Standort mit mäßigen Voraussetzungen auf die Wirtschaftlichkeit der Heupelletnutzung untersucht.

Dazu wird die Errichtung einer stationären Pelletierung am Standort Rathenow betrachtet. Im Vergleich zum Standort Fehrbellin vergrößert sich dadurch der erforderliche Einzugsradius, um 5.000 t FM für die Pelletierung bereitzustellen, auf 30 km (siehe Abbildung 5-37 und Abbildung 5-44).

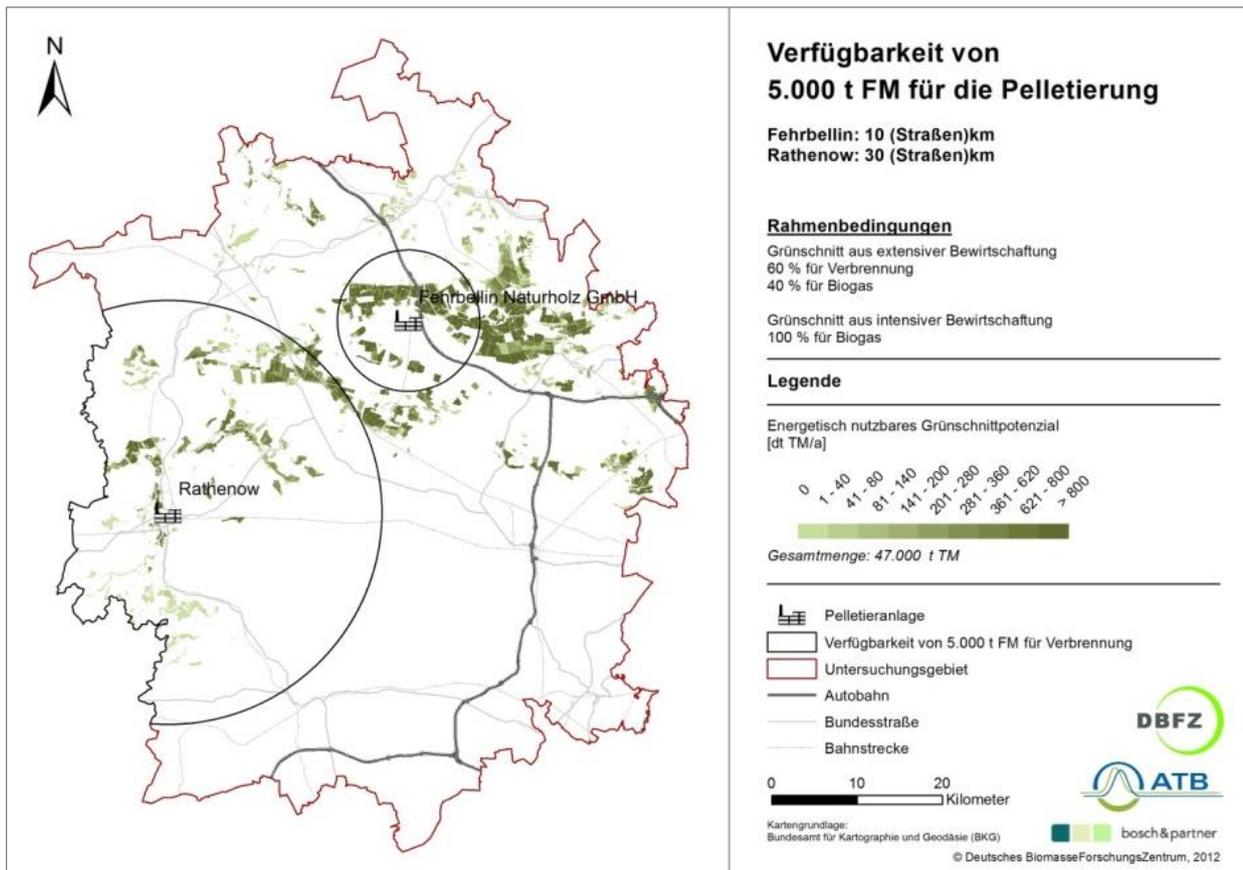


Abbildung 5-44: Verfügbarkeit von 5.000 t FM für die Pelletierung für das Nutzungskonzept II - Neubau stationäre Pelletierung an den Standorten Rathenow beziehungsweise Fehrbellin (Abbildung: DBFZ)

Die Nutzung der erzeugten Heupellets erfolgt in einem Umkreis von 35 km, so dass auch die großen Wärmesenken der Stadt Brandenburg ins Liefergebiet eingeschlossen werden können (Abbildung 5-45).

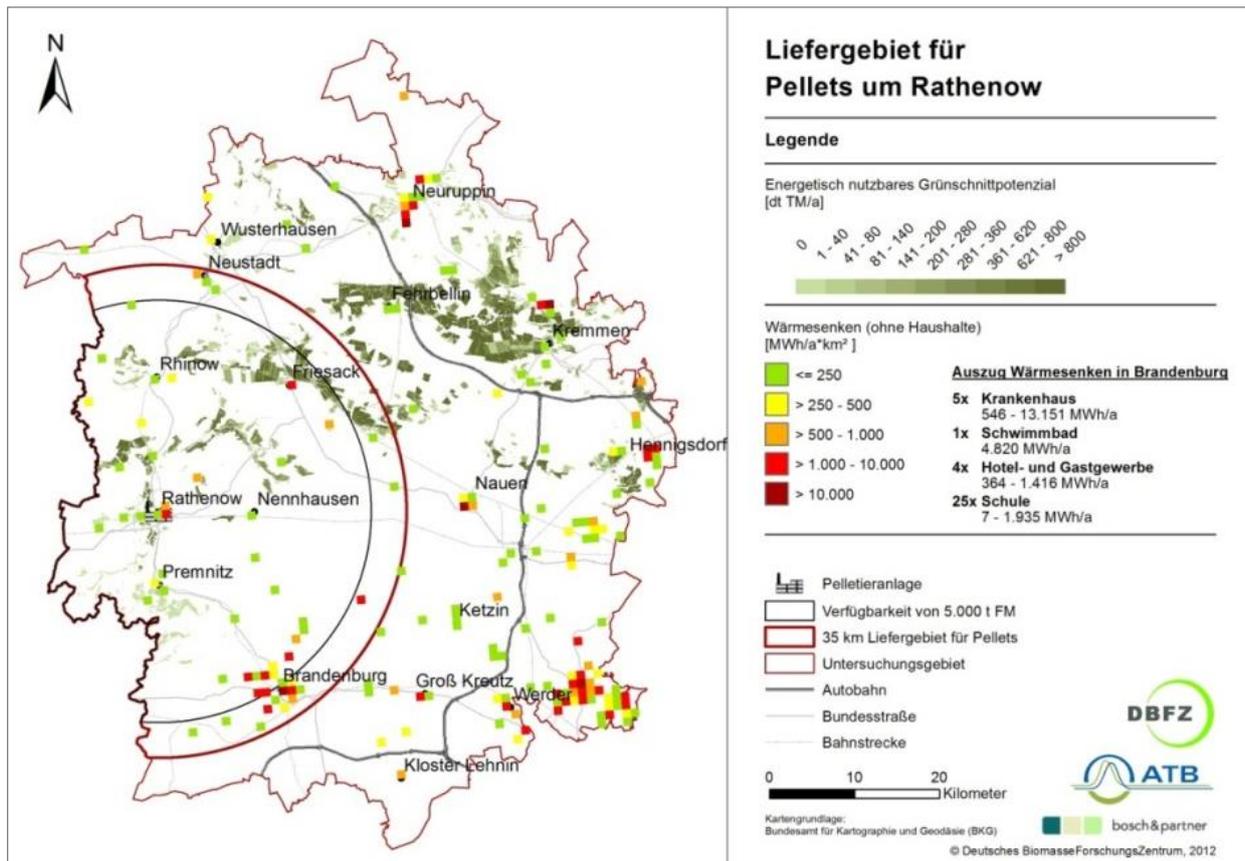


Abbildung 5-45: Liefergebiet für Pellets um den Standort Rathenow (Nutzungskonzept II - Neubau stationäre Pelletierung) (Abbildung: DBFZ)

Bei Berücksichtigung der gesamten Prozesskette nach Abbildung 5-39, dem Neubau einer stationären Pelletierung am Standort Rathenow und der Lieferung der Heupellets in einem Umkreis von 35 km ergibt sich ein Pelletpreis (netto) von etwa 153 €/t. Die Aufteilung des Preises auf die einzelnen Prozessschritte ist in Abbildung 5-46 dargestellt.

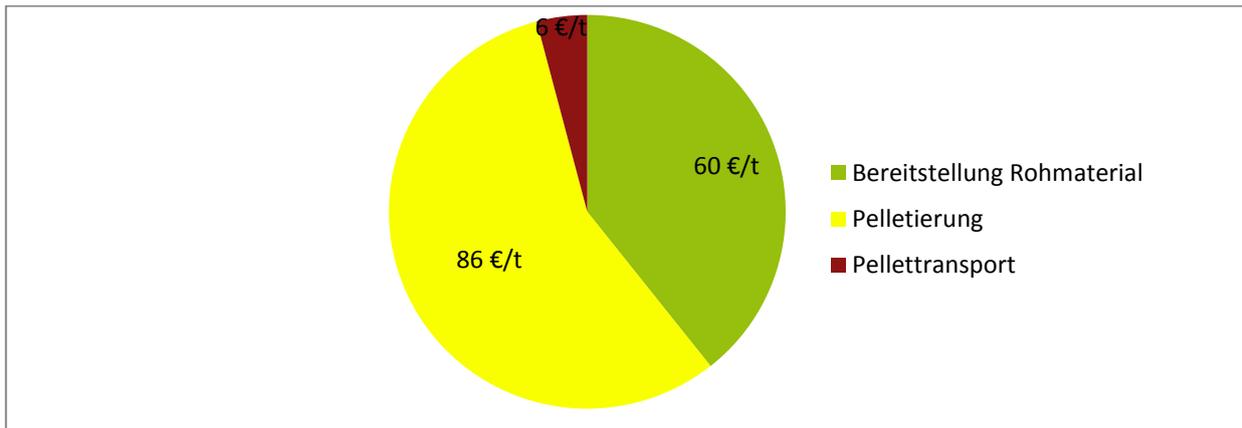


Abbildung 5-46: Aufteilung des Pelletpreises entsprechend Nutzungskonzept II - Neubau stationäre Pelletierung in Rathenow auf die einzelnen Prozessschritte (Abbildung: DBFZ)

Am alternativen Standort Fehrbellin könnte unter den gleichen Voraussetzungen (Prozesskette nach Abbildung 5-39, Neubau stationäre Pelletierung) und ohne Berücksichtigung der Transportkosten zum Verbraucher ein Pelletpreis (netto) von 137 €/t realisiert werden. Die unterschiedlichen Kosten für die Bereitstellung des Rohmaterials aufgrund des unterschiedlich großen Einzugsgebietes (Abbildung 5-44) würden demzufolge zu einer Preisdifferenz der Heupellets von 9 €/t führen.

Für die im aktuellen Abschnitt untersuchten Konzepte zur Wärmebereitstellung ergeben sich die in Tabelle 5-25 aufgeführten Investitionen, jährlichen Kosten und Wärmegestehungskosten.

Tabelle 5-25: Investitionen, Annuität der jährlichen Kosten und Wärmegestehungskosten für die verschiedenen Verbrennungskonzepte entsprechend Nutzungskonzept II - Neubau stationäre Pelletierung in Rathenow

Konzept	Hauptbrennstoff	Gesamtwärmeleistung	Investitionssumme	Annuitätische Kosten	Wärmegestehungskosten
K1a	Heupellets	75 kW	39.238 €	11.308 €/a	12,6 ct/kWh
K1b	Holzpellets	75 kW	34.838 €	10.413 €/a	11,6 ct/kWh
K1c	Heizöl	75 kW	19.890 €	10.724 €/a	11,9 ct/kWh
K2a	Heupellets	150 kW	72.300 €	23.609 €/a	10,5 ct/kWh
K2b	Holzpellets	150 kW	62.580 €	22.943 €/a	10,2 ct/kWh
K2c	Heizöl	150 kW	24.440 €	23.382 €/a	10,4 ct/kWh
K3a	Heupellets	450 kW	164.370 €	69.665 €/a	8,8 ct/kWh
K3b	Holzpellets	450 kW	155.970 €	74.414 €/a	9,4 ct/kWh
K3c	Heizöl	450 kW	66.560 €	78.987 €/a	10,0 ct/kWh

Die höheren Kosten bei der Heunutzung gegenüber dem Einsatz von Holzpellets resultieren auch hier hauptsächlich aus dem zusätzlichen Bedarf an Filtertechnik. Der Preisvorteil der Heizölvariante ist

neben den geringen Kosten für den eigentlichen Wärmeerzeuger auch auf die Einsparung eines Pufferspeichers zurückzuführen.

Die jährlichen Kosten sowie die daraus resultierenden Gesteungskosten in Tabelle 5-25 zeigen mit zunehmender Kesselleistung deutliche Vorteile bei der Nutzung von Heupellets gegenüber den gewählten Referenzkonzepten. Allerdings ergibt sich aufgrund der nur mäßigen lokalen Voraussetzungen im vorliegenden Nutzungskonzept II ein deutlich höherer Preis für die Heupellets als in Nutzungskonzept I. Bei diesem Nutzungskonzept bildet sich erst beim Wärmebereitstellungskonzept K3 ein signifikanter finanzieller Vorteil für die Nutzung von Heupellets heraus.

Die Sensitivitätsanalyse des Nutzungskonzeptes II hinsichtlich der Parameter Brennstoffpreis, Vollbenutzungsstunden und Nutzungsdauer in den drei unterschiedlichen Kesselvarianten ist in Abbildung 5-47 für die Nutzung von Heu als Brennstoff dargestellt. Die Brennstoffkosten gehen auch hier wieder linear in die Wärmegestehungskosten ein. Im Vergleich zu Nutzungskonzept I ist der Anstieg aber steiler.

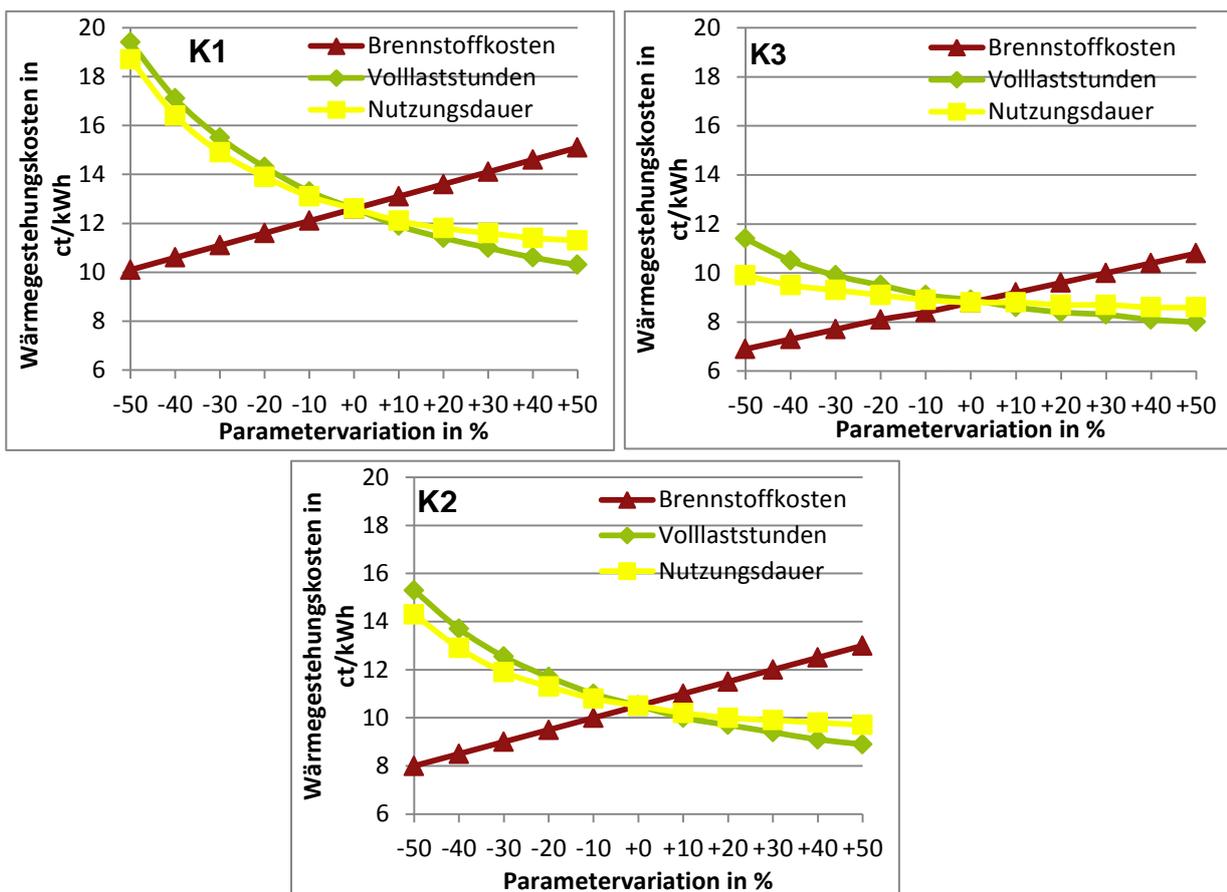


Abbildung 5-47: Sensitivitätsanalyse der Heupelleteinsatzung entsprechend Nutzungskonzept II - Neubau stationäre Pelletierung in Rathenow, K1: 75 kW-Kessel, K2: 150 kW-Kessel, K3: 450 kW-Kessel, bivalent (Abbildung: DBFZ)

Die Variation der Vollbenutzungsstunden und der Nutzungsdauer führt zu einem, je nach Konzept, unterschiedlich stark ausgeprägten Absinken der Kurven. Je höher die Leistung des genutzten Kessels ist, umso kleiner ist die Auswirkung einer Veränderung der Vollbenutzungsstundenzahl beziehungsweise der Nutzungsdauer auf die Wärmegestehungskosten. Der Einfluss der Vollbenutzungsstunden ist hierbei generell größer als der Einfluss der Nutzungsdauer. Durch den steileren Anstieg der Kurve der Brennstoffkosten wirken sich diese im Vergleich zu Nutzungskonzept I auch etwas stärker auf die Wärmegestehungskosten aus. Unter Beibehaltung der Vollbenutzungsstunden könnte in Nutzungskonzept II eine um drei Jahre längere Nutzungsdauer (18 Jahre) einen Preisanstieg der Heupellets um 10 %, lediglich in der Varianten K1 überkompensieren. Bei den anderen Varianten würden die Wärmegestehungskosten gleich bleiben (K2) beziehungsweise steigen (K3). Eine 20 %-ige Erhöhung des Wärmebedarfs und die damit einhergehende Steigerung der Jahresvollbenutzungsstunden, je nach Variante zwischen 240 und 350 h/a, würde zu einer Senkung der Wärmegestehungskosten um 1,2 ct/kWh (K1) bis 0,5 ct/kWh (K3) führen.

Nutzungskonzept III - Ganzballenfeuerung

Im folgenden Abschnitt wird als drittes Konzept der energetischen Nutzung in Verbrennungsanlagen die Nutzung des Grünschnitts in einer Heuballenfeuerung untersucht.

Im Unterschied zu den beiden zuvor beschriebenen Konzepten I und II erfolgt nach der Heuballenpressung auf dem Feld keine Pelletierung. Für die Heuballenfeuerung kommt ein marktübliches Modell mit einer Nennwärmeleistung von 400 kW zum Einsatz. Im kleineren Leistungsbereich sind derzeit keine geeigneten Feuerungen erhältlich. Dadurch kommen als Einsatzfälle nur große Einzelverbraucher wie beispielsweise Krankenhäuser oder Nahwärmenetze in Frage. Dadurch unterscheidet sich die Herangehensweise an ein Nutzungskonzept deutlich von den beiden vorherigen.

Bei der direkten Nutzung von Heuballen entfällt der Zwischenschritt der Pelletierung. Da der Grünschnitt in der Regel ohnehin direkt auf dem Feld zu Ballen gepresst wird, ist hier kein zusätzlicher Prozessschritt erforderlich. Die wesentliche Voraussetzung für die Nutzung von Heuballen ist das Vorhandensein einer entsprechenden Wärmesenke und die Größe des Einzugsradius. Ballenfeuerungen lassen sich mit Heuballen und meist auch mit Strohballen betreiben. Eine Umstellung der Anlage ist im Einzelfall zu prüfen. Zusätzlich sind die Anlagen sehr teuer und auf eine Betriebsdauer von 15 bis 20 Jahren ausgelegt. Unter diesen Voraussetzungen und in dem Fall, dass der Landwirt mit der Bereitstellung der Heuballen in erster Linie seine bereits vorhandenen Geräte besser ausnutzt und keine nennenswerten Investitionen tätigen muss, trägt hier der Anlagenbetreiber das größte Risiko.

Die Nutzung von Heuballen wird für eine Ganzballenfeuerung mit einer Nennleistung von 400 kW und einem ölbetriebenen Spitzenlastkessel mit ebenfalls 400 kW an den Standorten Neuruppin und Brandenburg untersucht. Beide Standorte unterscheiden sich in erster Linie in der Verfügbarkeit des benötigten Brennstoffs (Abbildung 5-37 und Abbildung 5-48) und dem daraus resultierenden Brennstoffpreis. Als Referenzszenario werden der Einsatz von Holzhackschnitzeln in einem 400 kW-Kessel mit einem ölbetriebenen Spitzenlastkessel (400 kW) und die rein fossile Wärmeerzeugung mit einem 800 kW Heizölkessel betrachtet.

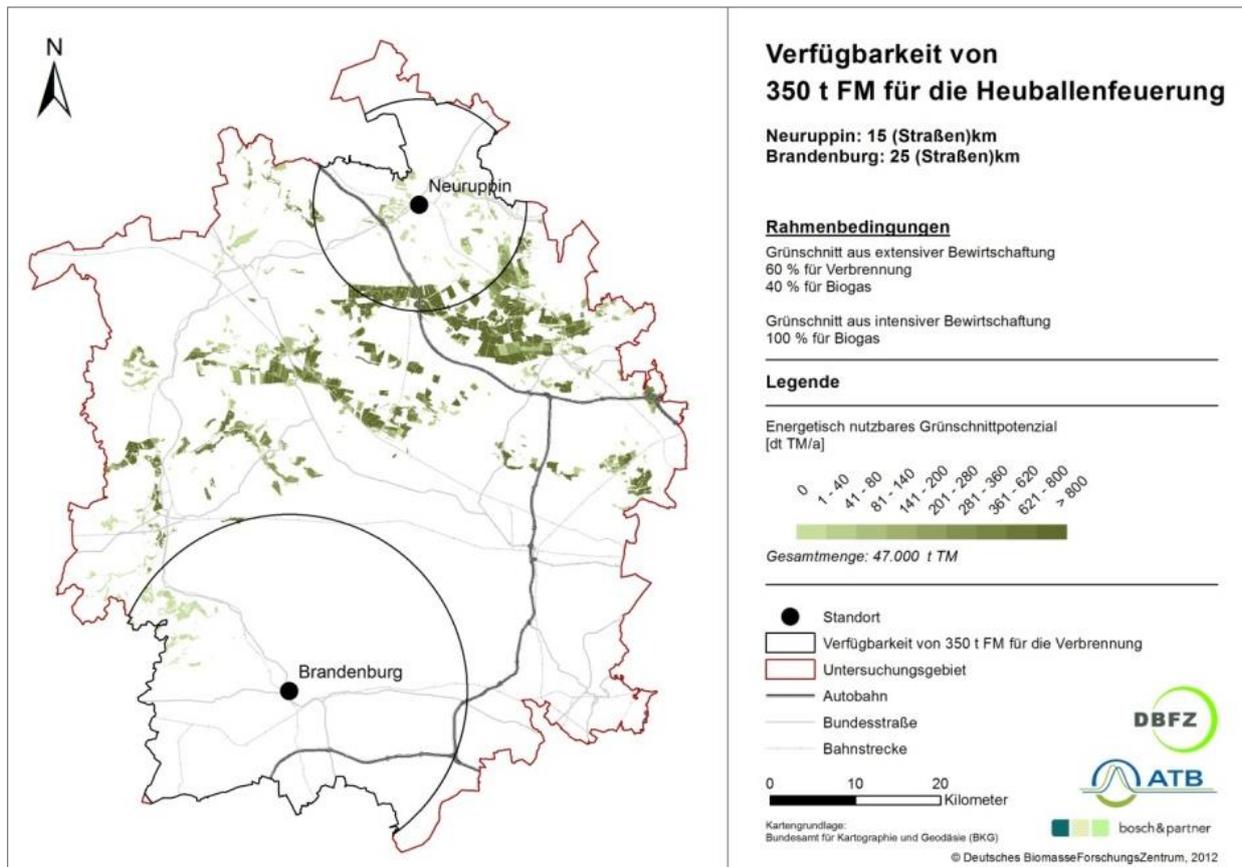


Abbildung 5-48: Verfügbarkeit von 350 t FM für die Heuballenfeuerung an den Standorten Neuruppin und Brandenburg entsprechend Nutzungskonzept III – Ganzballenfeuerung (Abbildung: DBFZ)

Bei der Berücksichtigung der gesamten Prozesskette nach Abbildung 5-39 ergibt sich für die Bereitstellung von 350 t FM Heuballen ein Preis (netto) von etwa 59 €/t für Neuruppin und 65 €/t für Brandenburg.

Für das betrachtete Nutzungskonzept III an den beiden Standorten Neuruppin (Konzept 4) und Brandenburg (Konzept 5) ergeben sich die in Tabelle 5-26 aufgeführten identischen Investitionen, Annuitäten und Wärmegestehungskosten.

Tabelle 5-26: Investitionen und wirtschaftliche Kennzahlen für das Nutzungskonzept III - Ganzballenfeuerung im Vergleich zu den Referenzkonzepten (K4: Standort Neuruppin, K5: Standort Brandenburg)

Konzept	Hauptbrennstoff	Gesamtwärmeleistung	Investitionssumme	Annuitätische Kosten	Wärmegestehungskosten
K4a	Heuballen	800 kW	316.600 €	108.320 €/a	7,7 ct/kWh
K4b	Hackschnitzel	800 kW	254.650 €	107.280 €/a	7,7 ct/kWh
K4c	Heizöl	800 kW	73.700 €	130.014 €/a	9,3 ct/kWh
K5a	Heuballen	800 kW	316.600 €	112.536 €/a	8,0 ct/kWh
K5b	Hackschnitzel	800 kW	254.650 €	107.280 €/a	7,7 ct/kWh
K5c	Heizöl	800 kW	73.700 €	130.014 €/a	9,3 ct/kWh

Auch bezüglich des Nutzungskonzepts III sind die Investitionen für Biomassefeuerungen bedeutend höher als für fossile Feuerungen (Tabelle 5-26). Die höheren Investitionen bei der Heunutzung gegenüber dem Einsatz von Holzhackschnitzeln resultieren aus der niedrigeren Investitionssumme die für eine Hackschnitzelfeuerung aufgebracht werden muss. Die Kosten der Filtertechnik fallen in diesem Beispiel, durch die ohnehin relativ großen Investitionssummen nicht so stark ins Gewicht.

Die jährlichen Kosten (Tabelle 5-26) sind bei der Heizöl-Variante am höchsten, gefolgt von denen der Heuballenvariante und der Holzhackschnitzelvariante. Insbesondere die hohen Brennstoffkosten für das Heizöl lassen diese Variante am preisintensivsten ausfallen und führen zu Gestehungskosten von 9,3 ct/kWh. Das Konzept mit Holzhackschnitzelfeuerung führt zu den niedrigsten Gestehungskosten. Der im Gegensatz zu Neuruppin um 6 €/t etwas höhere Preis von Heu in Brandenburg (Konzept K5) lässt auch die Wärmegestehungskosten um 0,3 ct/kWh steigen. Trotz eines niedrigen Brennstoffpreises führt die Heuballenverbrennung auch an einem günstig gelegenen Standort nicht zu niedrigeren Wärmegestehungskosten als ein auf Holzhackschnitzeln basierendes Konzept.

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse des Nutzungskonzeptes III hinsichtlich der Parameter Brennstoffpreis, Vollbenutzungsstunden und Nutzungsdauer an beiden Standorten ist in Abbildung 5-49 dargestellt. Die Brennstoffkosten gehen auch hier wieder linear in die Wärmegestehungskosten ein. Eine Erhöhung der Vollbenutzungsstunden und der Nutzungsdauer führt zu einem Absinken der Kurven. Der Einfluss der Vollbenutzungsstunden wirkt sich hierbei stärker auf die Wärmegestehungskosten aus als die Nutzungsdauer des Kessels.

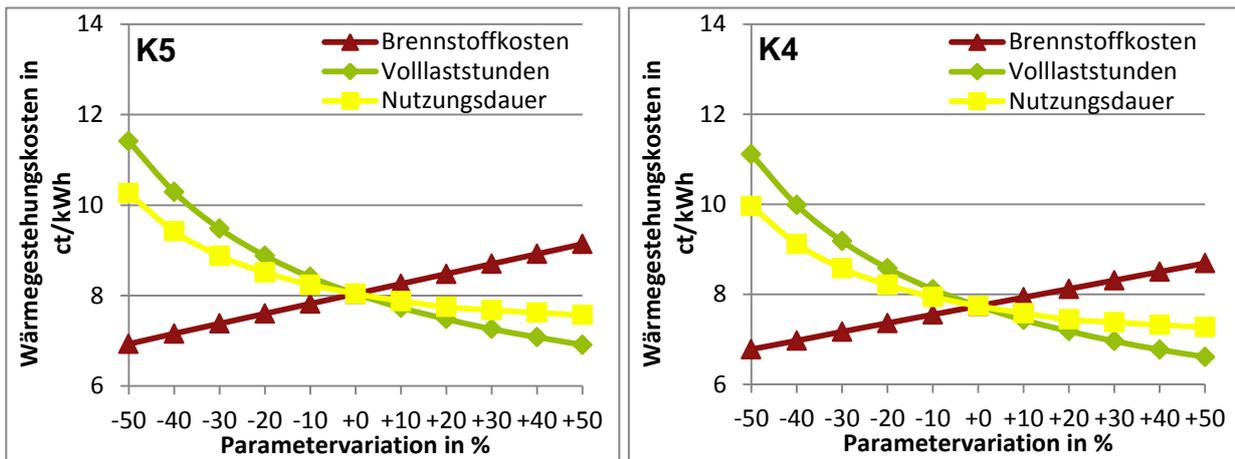


Abbildung 5-49: Sensitivitätsanalyse der Heuballennutzung entsprechend Nutzungskonzept III - Ganzballenfeuerung, 400 kW Heuballenfeuerung + 400 kW Heizöl-Kessel, bivalent, K4: Neuruppin, K5: Brandenburg (Abbildung: DBFZ)

Unter Beibehaltung der Vollbenutzungsstunden könnte in Nutzungskonzept III eine um drei Jahre längere Nutzungsdauer (+ 20 % auf 18 Jahre) einen Preisanstieg der Heuballen um 10 % in beiden Varianten überkompensieren. Eine 20 %-ige Erhöhung des Wärmebedarfs und die damit einhergehende Steigerung der Jahresvollbenutzungsstunden um 350 h/a würde eine Senkung der Wärmegestehungskosten um jeweils 0,6 ct/kWh nach sich ziehen.

5.3.2 Bewertung der Nutzungskonzepte

Technisch-ökonomische Bewertung

Bei der Gegenüberstellung der beiden Nutzungskonzepte mit Lohnpelletierung in einer bestehenden Pelletieranlage in Fehrbellin (Nutzungskonzept I) und dem Neubau einer stationären Pelletieranlage in Rathenow (Nutzungskonzept II) wurde deutlich, dass die Bereitstellung des Rohmaterials und die Pelletierung die wesentlichen Elemente bei der Preisgestaltung der Heupellets sind. Diese machen ca. 96 % der gesamten Pelletkosten aus. Die Kosten für die Bereitstellung des Rohmaterials sind dabei stark von der Größe des Gebiets abhängig, aus dem die 5.000 t FM Grünschnitt bezogen werden.

Je nach Konzept sind für alternative Einzugsgebiete an anderen Standorten, deren Beschaffungsgebiete sich um einen Einzugsradius von 15 bis 20 km unterscheiden, Kostendifferenzen zwischen 9 €/t und 11 €/t zu verzeichnen. Insbesondere für das Konzept des Neubaus einer Pelletieranlage sollte auf einen günstig gelegenen Standort mit geringen Transportentfernungen zur Bereitstellung des Rohmaterials geachtet werden. Die Kosten der eigentlichen Pelletierung liegen beim Konzept der Lohnpelletierung um 50 €/t niedriger als die einer neugebauten eigenen Pelletieranlage. Ob damit auch qualitative Einbußen verbunden sind kann nicht beurteilt werden. Es wurde davon ausgegangen, dass bei der Lohnpelletierung keine technische Trocknung des Rohmaterials (Heu) mehr erfolgen muss und daher ein finanzieller Vorteil gegenüber der neu zu bauenden eigenen Pelletieranlage mit Trocknung besteht. Inwiefern dauerhaft auf eine Trocknung verzichtet werden kann, ist schwer abzuschätzen. Um ein Rohmaterial mit möglichst gleichbleibenden Eigenschaften, das heißt mit einem konstanten Wassergehalt verarbeiten zu können und als Marktteilnehmer weitestgehend unabhängig von Witterungseinflüssen zu sein, wäre die Trocknungsanlage ein geeignetes Mittel. Allerdings würden

dadurch die Pelletierkosten auf ein ähnlich hohes Niveau wie bei der eigenen neugebauten Pelletieranlage steigen.

Weitere Kosten entfallen auf die Transportkosten zum Endverbraucher. In den vorliegenden Nutzungskonzepten sind das 4 €/t beziehungsweise 6 €/t. Eine von 20 km auf 30 km vergrößerte Transportentfernung führt zu einem Kostenanstieg von ca. 1,6 €/t, so dass die Vergrößerung des Liefergebiets mit einer relativ geringen Erhöhung des Pelletpreises zu realisieren wäre. Daher können insbesondere die Bereitstellung des Rohmaterials vom Feld in Verbindung mit dem Standort der Pelletieranlage als Preis bestimmende Faktoren genannt werden, die deutlich kostenintensivere Auswirkungen haben können als die Transportentfernung der Pellets zum Endverbraucher. Für den Endkunden erfolgen darüber hinaus Aufschläge für Gewinnmargen, Einblasen der Pellets sowie weitere Distributionskosten.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Nutzungskonzepte I und II hat sich gezeigt, dass die Investitionskosten einer Biomassefeuerung deutlich über denen der betrachteten Referenzsysteme (Holzpelletfeuerung, Heizölkessel) liegen (Abbildung 5-50, Abbildung 5-51). Daher sind insbesondere im kleinen Leistungsbereich die hohen kapitalgebundenen Kosten trotz des vergleichsweise günstigen Brennstoffs als hinderlich zu betrachten. Nur ein ausgesprochen günstig zu beziehender Brennstoff wie er in Nutzungskonzept I berücksichtigt wurde, lässt auch im Kleinanlagenbereich bis 150 kW die Heuverbrennung als günstigste Alternative erscheinen. Im Leistungsbereich von 450 kW (bivalent) ist die energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial auch mit einem preisintensiveren Brennstoff möglich (Nutzungskonzept II). Hier wirkt sich der hohe Brennstoffverbrauch stark zugunsten des Heuverbrennungskonzepts aus, auch wenn im direkten Vergleich in Nutzungskonzept I die Annuitäten der Heuvariante um 12.900 €/a höher liegen

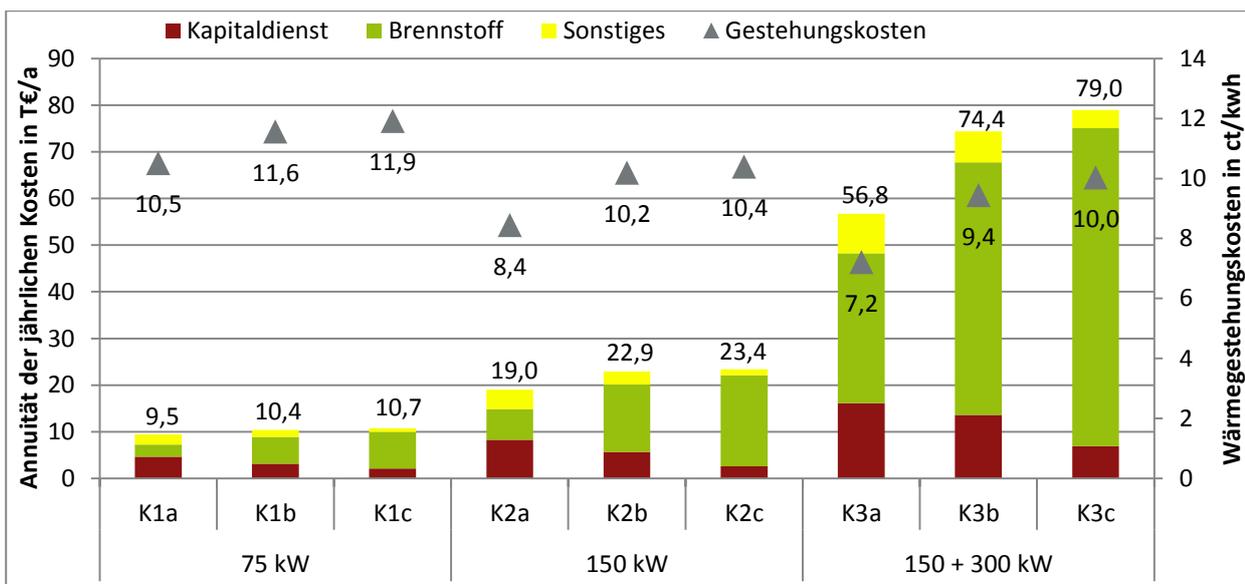


Abbildung 5-50: Annuitäten und Wärmegestehungskosten der Heuverbrennung und der Referenzkonzepte entsprechend Nutzungskonzept I - stationäre Lohnpelletierung in Fehrbellin; Kxa: Heupellets, Kxb: Holzpellets, Kxc: Heizöl (Abbildung: DBFZ)

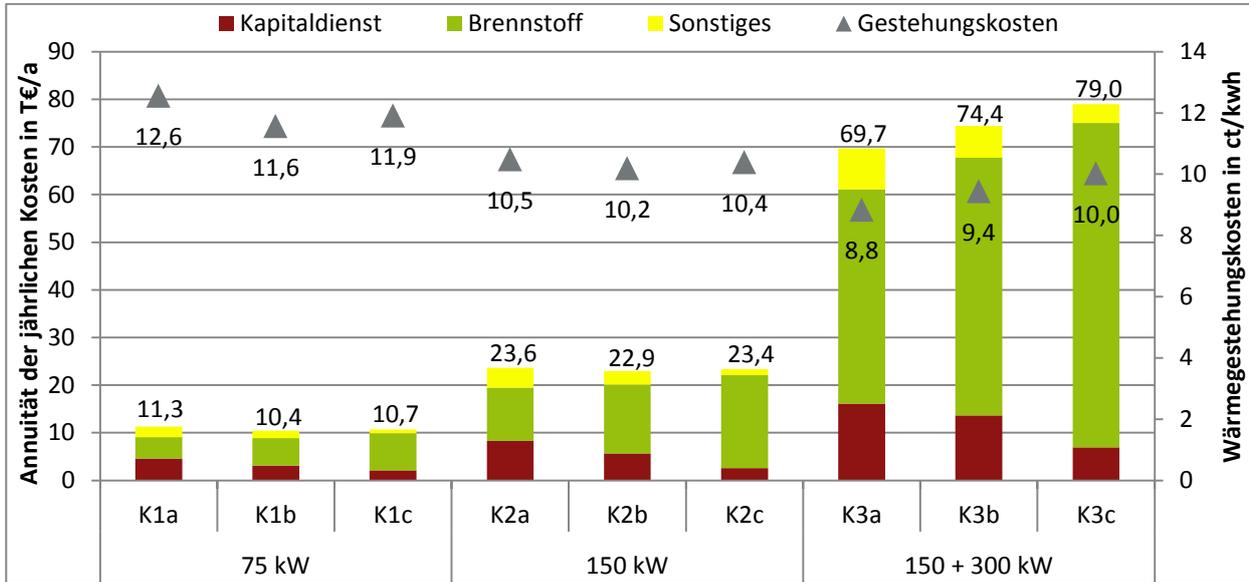


Abbildung 5-51: Annuitäten und Wärmegestehungskosten der Heuverbrennung und der Referenzkonzepte entsprechend Nutzungskonzept II - Neubau stationäre Pelletierung in Rathenow; Kxa: Heupellets, Kxb: Holzpellets, Kxc: Heizöl (Abbildung: DBFZ)

Auch an den ermittelten Wärmegestehungskosten lässt sich ablesen, dass im Leistungsbereich bis 150 kW die Heunutzung zur Wärmebereitstellung nur mit einem sehr kostengünstigen Brennstoff, wie er in Nutzungskonzept I vorliegt, konkurrenzfähig zu anderen Verbrennungskonzepten ist. Generell sinken die Wärmegestehungskosten mit steigender Anlagengröße. Mit den etwas höheren Brennstoffkosten aus Nutzungskonzept II können lediglich bei einer Anlagengröße von 450 kW wettbewerbsfähige Wärmegestehungskosten erreicht werden.

Die in Abbildung 5-52 dargestellten Annuitäten und Wärmegestehungskosten verdeutlichen, dass bei der Ballenfeuerung beziehungsweise der konkurrierenden Verbrennungskonzepten auf Basis von Holzhackschnitzeln oder Heizöl im Leistungsbereich von 800 kW deutlich höhere Annuitäten bestehen als im kleineren Leistungsbereich. Die Wärmegestehungskosten fallen zumeist niedriger aus als in den anderen Nutzungskonzepten. Die um ca. 9 €/t niedrigeren Kosten für das Heu aus Neuruppin führen zu einer um 4.200 €/a geringeren Gesamtannuität und auch die Wärmegestehungskosten fallen um 0,3 ct/kWh niedriger aus. Lediglich die Nutzung von Holzhackschnitzeln zieht genauso hohe Wärmegestehungskosten nach sich, wobei die Gesamtannuität um 1.000 €/a niedriger wäre. Trotz niedriger kapitalgebundener und sonstiger Kosten ist die Heizölkesselvariante (K4c/K5c) aufgrund der hohen Brennstoffkosten die ungünstigste Alternative.

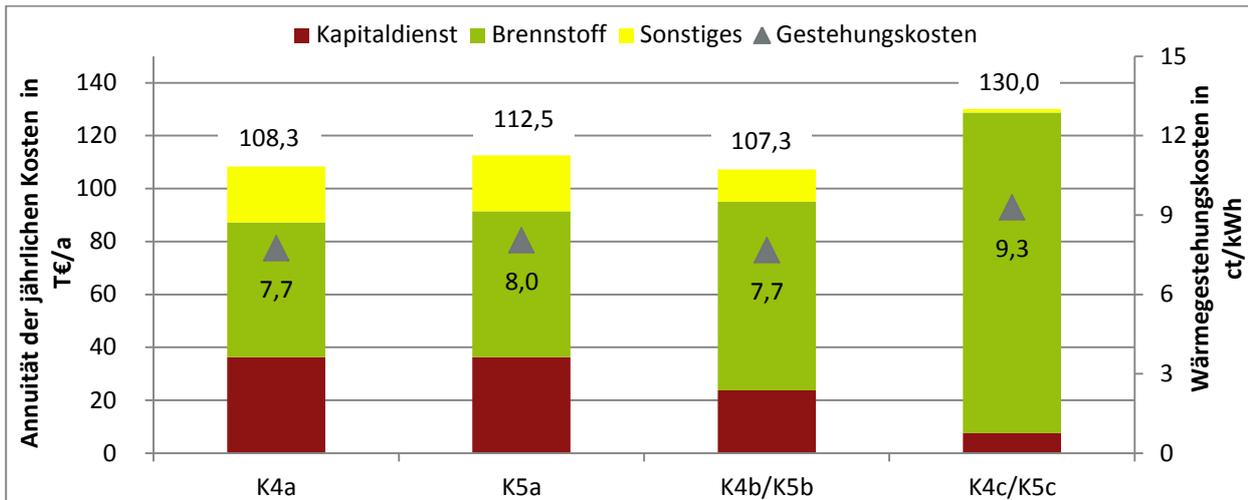


Abbildung 5-52: Annuitäten und Wärmegestehungskosten der Heuverbrennung und der Referenzkonzepte entsprechend Nutzungskonzept III - Heuballenverbrennung; Kxa: Heuballen, Kxb: Holzhackschnitzel, Kxc: Heizöl, K4: Neuruppin, K5: Brandenburg (Abbildung: DBFZ)

Die Sensitivitätsanalyse der drei Nutzungskonzepte hat gezeigt, dass sich eine Erhöhung der Nutzungsdauer und der Vollbenutzungsstunden positiv auf die Wärmegestehungskosten auswirken und in begrenztem Umfang einen Anstieg der Brennstoffkosten kompensieren können. Die Vollbenutzungsstunden bestimmen dabei die Wärmegestehungskosten stärker als die Nutzungsdauer. Im kleinen Leistungsbereich fallen die Reaktionen auf die geänderten Parameter Vollbenutzungsstunden und Nutzungsdauer größer aus als im größeren Leistungsbereich, so dass dort potenziell eine größere Sensibilität hinsichtlich geänderter Parameter berücksichtigt werden sollte. Da der Wärmebedarf durch die vor Ort gegebenen Bedingungen als recht konstante Größe aufgefasst werden kann, ist hinsichtlich der Optimierung der Wärmegestehungskosten die Erhöhung der Nutzungsdauer des Kessels der vielversprechendere Ansatz. Hier könnte durch Auswahl eines technisch geeigneten und qualitativ hochwertigen Heizkessels mit entsprechend korrosionsresistenten Bauteilen ein positiver wirtschaftlicher Effekt erreicht werden.

Bewertung anhand der Treibhausgasemissionen

Die energetische Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe gilt als eine vielversprechende Option zur Reduktion von Treibhausgas (THG)-Emissionen sowie zur Erhöhung der Versorgungssicherheit. Aufgrund der regionalen Besonderheiten dieser Biomassefraktionen (zum Beispiel Aufkommen, Bereitstellungskosten, etc.) ist für die Erschließung vorhandener Potenziale landwirtschaftlicher Reststoffe die Entwicklung standortangepasster Bereitstellungs- und Nutzungskonzepte erforderlich [166].

Im folgenden Kapitel werden die THG-Einspareffekte durch die energetische Nutzung von Heu für die drei beschriebenen (siehe Kapitel 5.3.1) Nutzungskonzepte - energetische Nutzung von Heu mittels stationärer Pelletierung, Lohnpelletierung und Heuballenfeuerung - ermittelt. Die Berechnungen erfolgen dabei auf Basis der im Rahmen des Methodenhandbuchs zum Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“ definierten Berechnungsmethodik ([167]). Die Vorgaben des Handbuchs regeln dabei den methodischen Rahmen der Treibhausgasbilanz und unterstützen bei der

Wahl der Systemgrenzen (alle Prozesse von der Bereitstellung über die Aufbereitung, bis zur Distribution und Verbrennung), den Umgang mit möglichen Nebenprodukten sowie die Wahl des Referenzsystems und die Umrechnung der ermittelten THG-Emissionen in die CO₂-Äquivalente. Die Umrechnung erfolgte mit Hilfe der so genannten Charakterisierungsfaktoren des IPCC.

Als Datengrundlage (zum Beispiel Kraftstoffverbräuche, Transportentfernungen, Biomasseverluste, etc.) für die im Folgenden dargestellten Ergebnisse diente die in den Kapiteln 0 und 5.3.1 dargestellten Bereitstellungsketten und Nutzungskonzepte. Bei der Berechnung der THG-Emissionen der verschiedenen Konzepte wurden sowohl die direkten Emissionen der verschiedenen Prozesse innerhalb der betrachteten Prozessketten (zum Beispiel die Emissionen aus der Verbrennung von Diesel in den eingesetzten Transportfahrzeugen) als auch die Vorkettenemissionen aus der Produktion der in den Prozessen eingesetzten Energieträger und Hilfsstoffe berücksichtigt. Zur Berücksichtigung der Vorkettenemissionen (zum Beispiel Emissionen für die Produktion von einem Liter Diesel) wurden Emissionsfaktoren aus der Ökobilanzdatenbank Ecoinvent verwendet.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der THG-Bilanzierung für die Nutzungskonzepte auf Basis der Lohnpelletierung, der stationären Pelletierung sowie der Heuballenfeuerung einzeln dargestellt und anschließend gemeinsam diskutiert. Abschließend erfolgt eine beispielhafte Betrachtung des Einflusses der angenommenen Transportentfernungen innerhalb der Nutzungskonzepte auf das Ergebnis der THG-Bilanz.

THG-Emissionen der Nutzungskonzepte mit mobiler Lohnpelletierung

Die Bilanzierung der THG-Emissionen für die Wärmeerzeugung mittels Heupellets aus der mobilen Lohnpelletierung wurde auf Basis der im Kapitel 5.3.1 beschriebenen Bereitstellungskonzepte bilanziert. Betrachtet wurden die Anlagenstandorte Rathenow, Fehrbellin und Selbelang.

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse für die Konzepte auf Basis der mobilen Lohnpelletierung sind dargestellt in kg CO₂-Äquivalent pro kWh erzeugte Wärme.

Tabelle 5-27: THG-Emissionen aus der energetischen Nutzung von Heu auf Basis einer mobilen Lohnpelletierung für drei Standorte (in kg CO₂-Äq./kWh_{th})

	Rathenow	Fehrbellin	Selbelang
Bereitstellung	0,0052	0,0044	0,0056
Aufbereitung	0,0394	0,0394	0,0394
Distribution	0,0005	0,0005	0,0005
Verbrennung	0,0195	0,0195	0,0195
Summe	0,0646	0,0638	0,0651

Die dargestellten Ergebnisse für die drei betrachteten Standorte zeigt Tabelle 5-27 zeigen, dass sich die untersuchten Konzepte vor allem hinsichtlich der Emissionen aus den Bereitstellungskonzepten unterscheiden. Dies ist auf die unterschiedliche Rohstoffverfügbarkeit und die daraus resultierenden Energieverbräuche für Bereitstellung und Transport zurückzuführen. Trotzdem fallen die Unterschiede Basis der THG-Bilanzierung der drei betrachteten Standorte nicht deutlich ins Gewicht. Bei genauer Betrachtung kann der Standort Fehrbellin als vorteilhaft angesehen werden.

Innerhalb der drei Prozessketten stellt der Energiebedarf des Aufbereitungsprozesses (Pelletierung) den größten Einflussfaktor in der THG-Bilanzierung dar. Neben der Aufbereitung beeinflussen die Emissionen aus der Pelletfeuerung das Ergebnis ebenfalls wesentlich. Die Höhe der Emissionen aus diesem Prozess vor allem durch den Energieverbrauch des Feuerungsprozesses sowie THG-Emissionen aus unvollständiger Verbrennung (zum Beispiel Methan) beeinflusst. Die Datengrundlage für die Emissionen des Verbrennungsprozesses entstammt der der Ecoinvent Datenbank.

Die Ergebnisse der THG-Bilanzierung für die drei betrachteten Standorte sind in der folgenden Abbildung 5-53 dargestellt. Dabei ist für die Einordnung der drei Berechnungsergebnisse auch ein Vergleichswert für die Wärmebereitstellung auf Basis fossiler Energieträger enthalten. Dieser Referenzwert entstammt dem Methodenhandbuch zum BMU Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“ [190]).

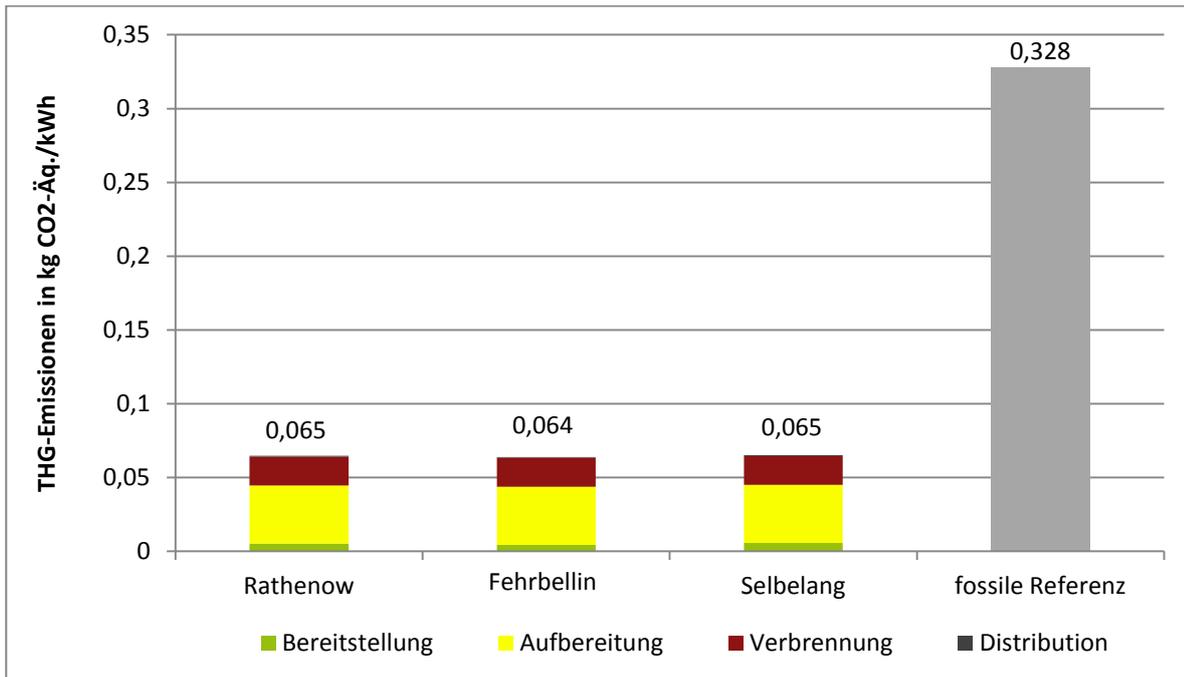


Abbildung 5-53: THG-Emissionen aus der energetischen Nutzung von Heu auf Basis einer mobilen Lohnpelletierung für drei Standorte (in kg CO₂-Äq./kWh_{th}) (Abbildung: DBFZ)

Im Vergleich zu der dargestellten fossilen Referenz zeigen alle drei betrachteten Konzepte für die energetische Nutzung von Heu auf Basis einer mobilen Lohnpelletierung große THG-Minderungspotenziale in vergleichbarer Größenordnung (ca. 80 % THG-Minderung).

THG-Emissionen der Nutzungskonzepte mit stationärer Pelletierung

Analog zu den Betrachtungen für die mobile Lohnpelletierung wurde für die drei Standorte Rathenow, Fehrbellin und Selbelang auch eine Bilanzierung der THG-Emissionen für eine energetische Nutzung des Heus auf Basis einer stationären Pelletierung durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tabelle 5-28 dargestellt.

Tabelle 5-28: THG-Emissionen aus der energetischen Nutzung von Heu auf Basis einer stationären Pelletierung für drei Standorte (in kg CO₂-Äq./kWh_{th})

	Rathenow	Fehrbellin	Selbelang
Bereitstellung	0,0073	0,0055	0,0077
Aufbereitung	0,0394	0,0394	0,0394
Distribution	0,0005	0,0005	0,0005
Verbrennung	0,0195	0,0195	0,0195
Summe	0,0667	0,0649	0,0671

Die im Vergleich zur mobilen Lohnpelletierung etwas höheren Emissionen begründen sich vor allem durch die Unterschiede bei der Heubereitstellung. Dies ist wiederum auf die unterschiedlichen Rohstoffverfügbarkeiten und die daraus resultierenden unterschiedlichen Energieverbräuche für die Bereitstellungskonzepte der drei Standorte zurückzuführen.

Wesentliche Treiber innerhalb der drei Nutzungskonzepte sind wiederum die Emissionen aus dem Pelletierungs- beziehungsweise Verbrennungsprozess. Abbildung 5-54 stellt die Ergebnisse der betrachteten Konzepte auf Basis der stationären Pelletierung den Emissionen der Wärmeproduktion auf Basis fossiler Energieträger gegenüber.

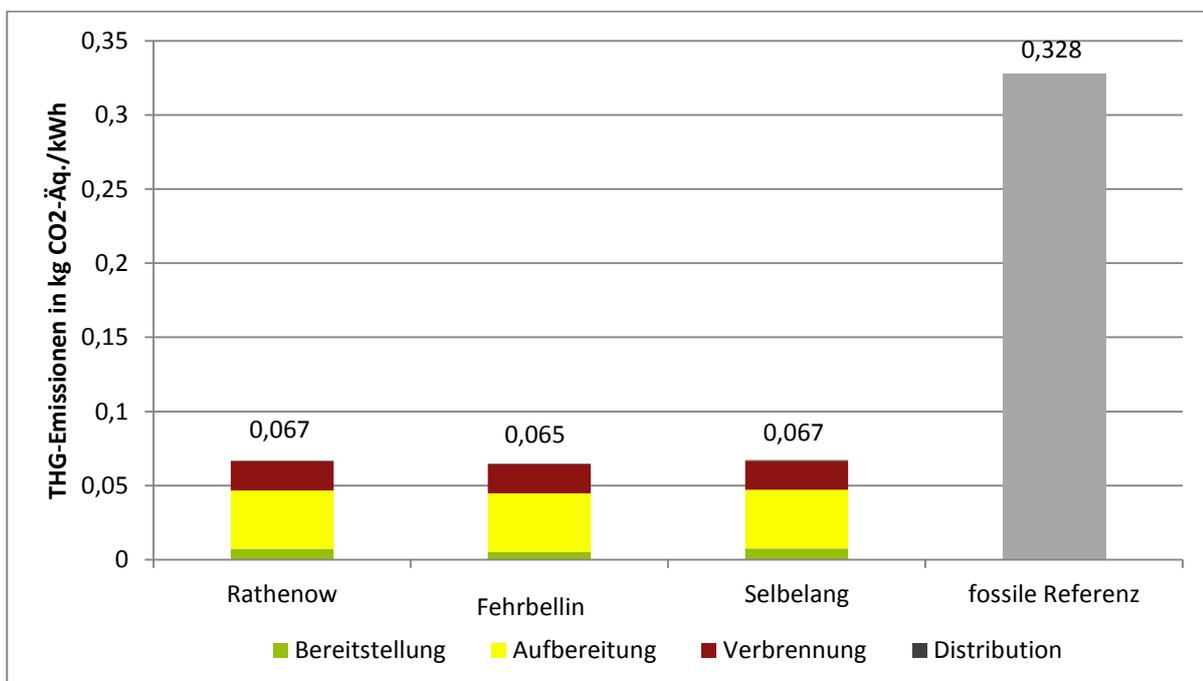


Abbildung 5-54: THG-Emissionen aus der energetischen Nutzung von Heu auf Basis einer stationären Pelletierung für drei Standorte (in kg CO₂-Äq./kWh_{th}) (Abbildung: DBFZ)

Im Ergebnis weisen die drei betrachteten Nutzungskonzepte ein THG-Einsparpotenzial von ca. 80 % gegenüber dem fossilen Referenzsystem zur Wärmebereitstellung auf und liegen damit auf vergleichbarem Niveau wie bei der mobilen Lohnpelletierung.

THG-Emissionen der Nutzungskonzepte mit Ganzballenfeuerung

Als weiteres Konzept zur Wärmeerzeugung auf Basis von Heu wurde die direkte Verbrennung von Heuballen für die Standorte Neuruppin und Brandenburg betrachtet. Die Bilanzierung der THG-Emissionen erfolgte dabei auf Basis der in Kapitel 5.3.1 dargestellten Prozesskettenparameter.

Die Bilanzierung erfolgte methodisch analog zu den vorangegangenen Betrachtungen für Heupellets. Tabelle 5-29 zeigt die Ergebnisse der durchgeführten Bilanzierung.

Tabelle 5-29: THG-Emissionen aus der energetischen Nutzung von Heuballen für zwei Standorte (in kg CO₂-Äq./kWh_{th})

	Neuruppin	Brandenburg
Bereitstellung + Distribution	0,007	0,009
Verbrennung	0,017	0,017
Summe	0,023	0,025

Wesentlicher Einflussfaktor für die THG-Emissionen pro kWh_{th} an beiden Standorten sind die Emissionen des Verbrennungsprozesses. Aufgrund standortbedingter Unterschiede in den Energieverbräuchen der Bereitstellung unterscheiden sich die beiden Standorte nur geringfügig in den Emissionen aus Bereitstellung und Distribution. Die Ergebnisse beider Konzepte sind im Vergleich zur Wärmebereitstellung auf Basis fossiler Energieträger in der Abbildung 5-55 dargestellt. Die Konzepte zur energetischen Nutzung von Heu mittels Ganzballenfeuerung zeigen demnach gegenüber der fossilen Referenz ein THG-Minderungspotenzial von ca. 92 %.

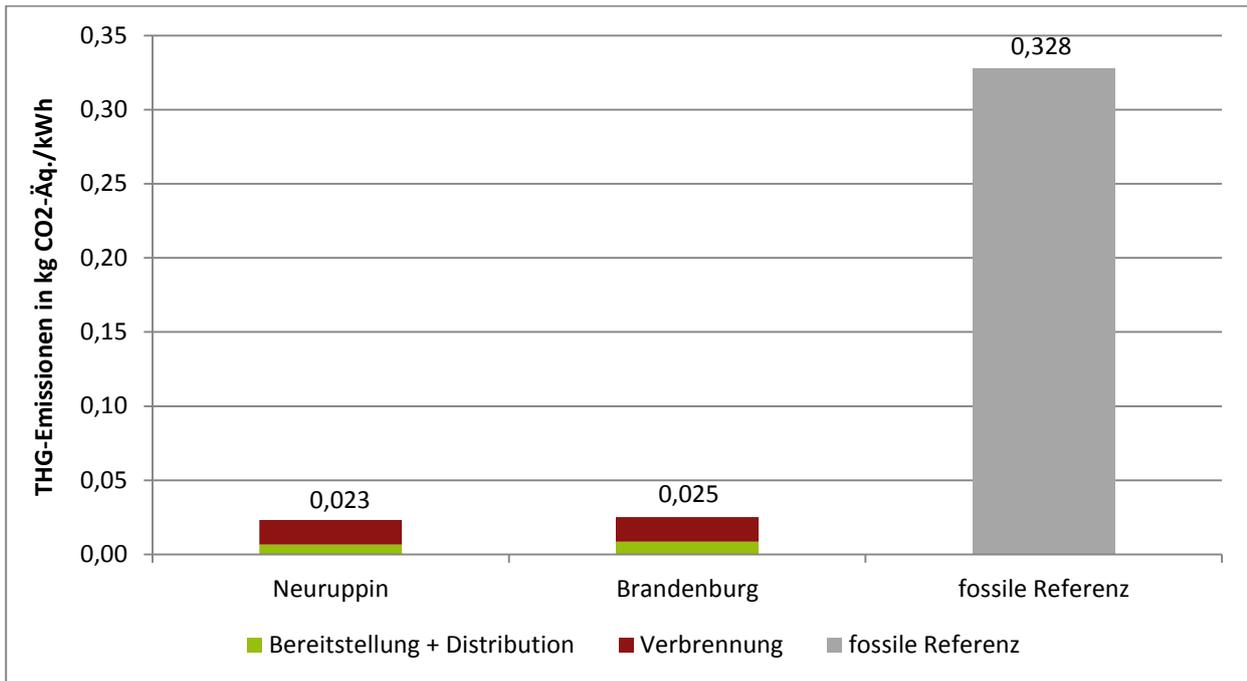


Abbildung 5-55: THG-Emissionen aus der energetischen Nutzung von Heuballen für zwei Standorte (in kg CO₂-Äq./kWh_{th}) (Abbildung: DBFZ)

Gegenüberstellung der drei betrachteten Nutzungskonzepte

Zur vergleichenden Betrachtung der untersuchten Nutzungskonzepte hinsichtlich deren THG-Bilanz werden diese zusammengeführt und diskutiert. Abbildung 5-56 zeigt die Ergebnisse der betrachteten Wärmebereitstellungskonzepte auf Basis von Heu und stellt diese der Wärmebereitstellung auf Basis fossiler Energieträger gegenüber.

Grundsätzlich zeigen alle drei betrachteten Nutzungskonzepte deutliche THG-Minderungspotenziale gegenüber dem fossilen Referenzpfad. Aufgrund des fehlenden Pelletierungsprozesses zeigen die beiden Konzepte zur Ganzballenfeuerung unter den gegebenen Randbedingungen die geringsten THG-Emissionen pro kWh erzeugte Wärme.

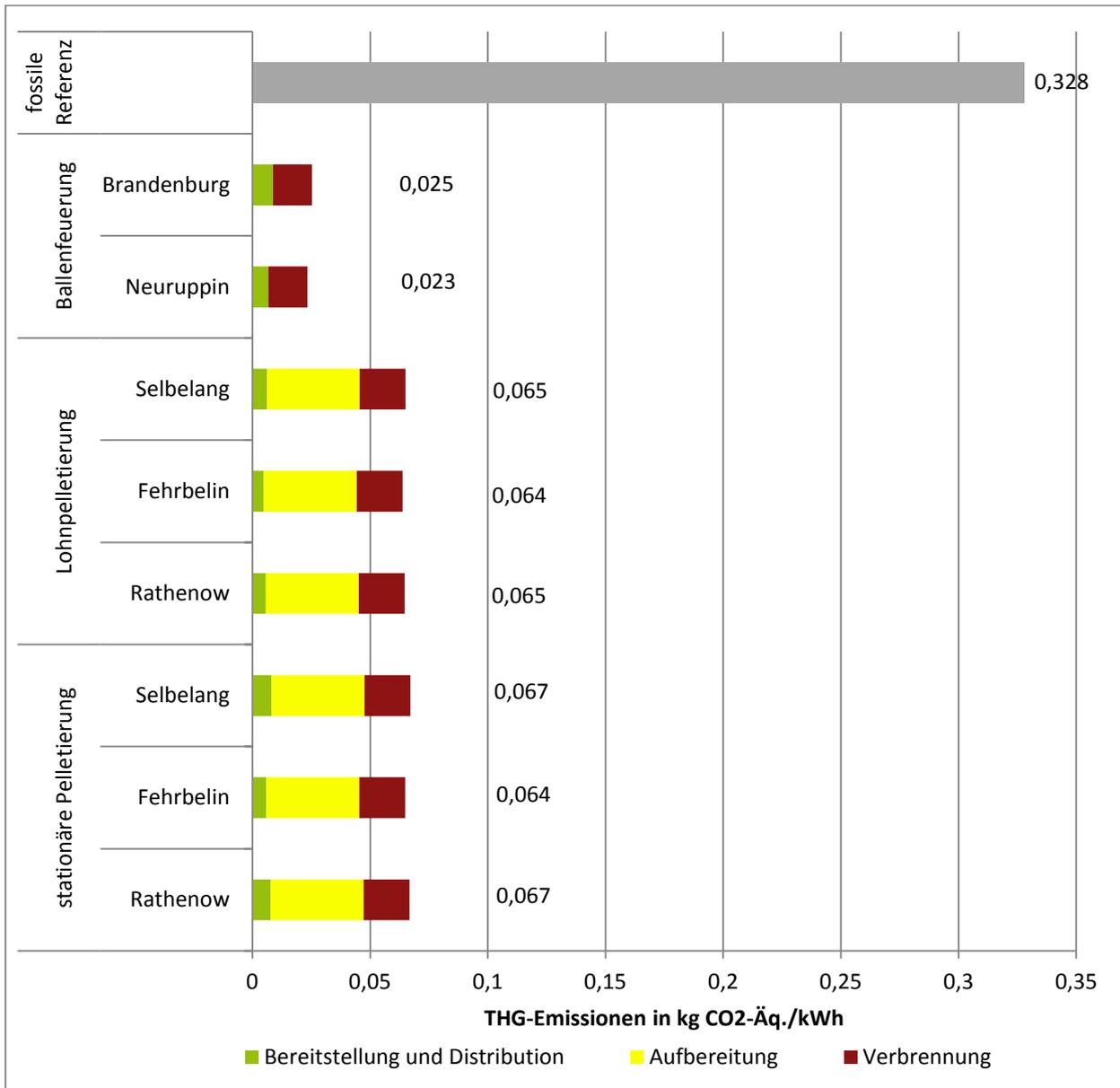


Abbildung 5-56: Vergleich der THG-Emissionen unterschiedlicher Standorte und Nutzungskonzepte zur Produktion von Wärme auf Basis von Heu (in kg CO₂-Äq./kWh_{th}) (Abbildung: DBFZ)

Beim Vergleich der verschiedenen Konzepte und Standorte auf Basis der Heupelletierung führen vor allem die standortbezogenen Unterschiede der Rohstoffverfügbarkeit zu unterschiedlichen Energieverbräuchen und damit auch THG-Emissionen im Bereitstellungsprozess. Dabei zeigen die Konzepte mit mobiler Lohnpelletierung insgesamt leicht geringere THG-Emissionen pro kWh Wärme.

Einfluss der Transportentfernung auf die THG-Emissionen der Bereitstellungskonzepte

Im Gegensatz zur ökonomischen Betrachtungen spielt die Transportentfernung in THG-Bilanzen von Bioenergiesystemen häufig eine untergeordnete Rolle. Um den Einfluss einer steigenden Distributionsentfernung der Pellets auf die THG-Bilanz der Wärmeproduktion näher zu untersuchen wurde für das Konzept der stationären Pelletierung und den Standort Fehrbellin die Distributions-

entfernung von 15 km auf 25, 35, 45 und 55 km erhöht. Die Ergebnisse dieser Variation sind in Abbildung 5-57 dargestellt.

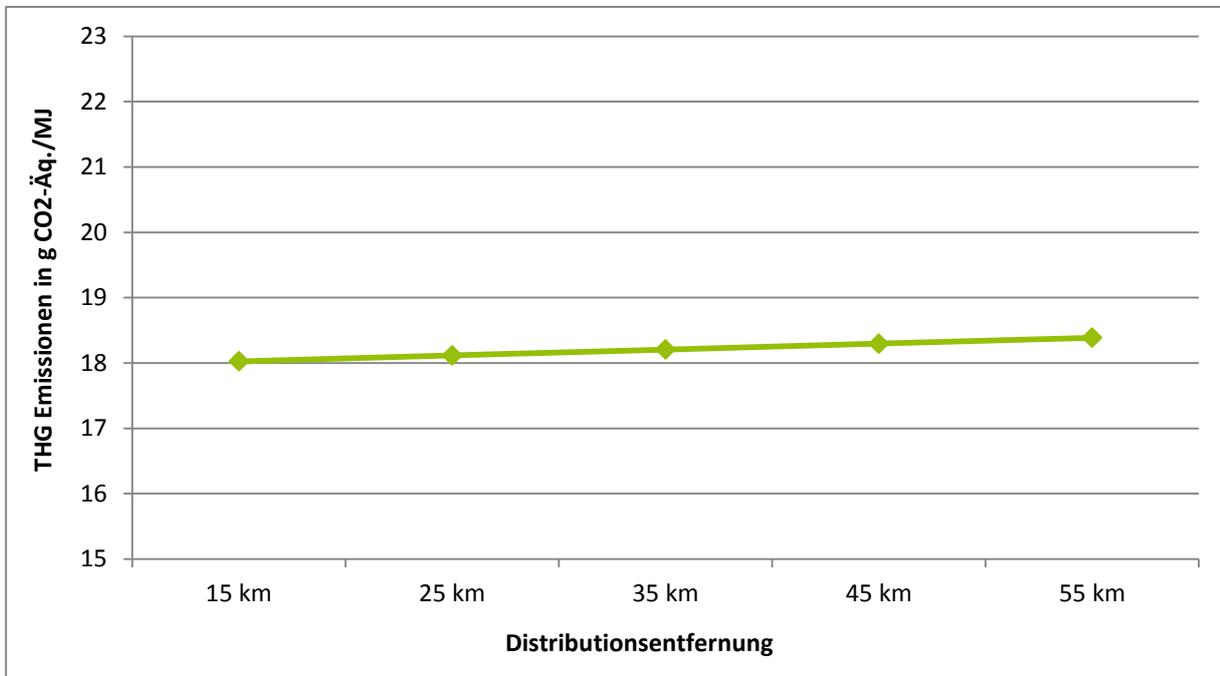


Abbildung 5-57: Einfluss der Variation der Distributionsentfernung auf die THG-Emissionen pro MJ Wärme aus Heupellets aus stationärer Pelletierung am Standort Fehrbellin (Abbildung: DBFZ)

Die Abbildung zeigt zwar insgesamt steigende THG-Emissionen bei zunehmender Transportentfernung der Heupellets, jedoch ist diese Zunahme gemessen an der Vergrößerung der Transportentfernung moderat. Dies bestätigt die Darstellung des geringen Einflusses der Transportentfernung auf die THG-Bilanz der betrachteten Nutzungskonzepte.

5.4 Fazit

Pelletierung

Die Pelletierung der im Rahmen des Projekts untersuchten Heuchargen kann als technisch handhabbar bezeichnet werden. Bei der Pelletierung der Reinchargen weisen die Pellets bei angepasstem Wassergehalt gute physikalisch-mechanische Qualitäten auf. Eine entsprechende Optimierung der Rohstoff- und Prozessparameter ist indes aber notwendig, um hochqualitative Pellets mit geringem Energieeintrag herzustellen. Die Ergebnisse verdeutlichen auch, dass je nach Herkunft und Beschaffenheit des Rohstoffs die eingestellten Parameter einen unterschiedlichen Einfluss haben. Schlussfolgernd ist für Materialien mit abweichenden Eigenschaften (zum Beispiel Verholungsgrad beziehungsweise Ligninanteil und Faserstruktur) eine gezielte Anpassung der einzustellenden Parameter notwendig, um entsprechende physikalisch-mechanische Qualitäten zu erlangen.

Bei den mit der Charge 1162 durchgeführten Pelletversuchen mit Additivzugabe sind keine negativen Effekte der Additive auf die physikalische-mechanischen Eigenschaften festzustellen. Im Vergleich zu den Reinchargen werden die Eigenschaften durch die auskristallisierende Additive verbessert. Durch den mineralischen Anteil der Additive kann ein erhöhter Verschleiß bei der Pelletierung, im Vergleich zu den Reinchargen, auftreten.

Ausgehend von der in Kapitel 5.1.5 vorgenommenen Bewertung erscheint die **Lohnpelletierung in einem stationären Pelletwerk** (Variante 3) am attraktivsten. Die ermittelten Kosten liegen deutlich unter denen für die anderen in Frage kommenden Varianten. Wie in Kapitel 5.1.5 dargestellt, kann sich jedoch herausstellen, dass die Kosten für diese Variante höher liegen wenn technische Anpassungen vorgenommen werden müssen um dauerhaft hochwertige Pellets herzustellen. Vor einer Entscheidung für diese Variante sollte auf jeden Fall ein Kostenvoranschlag eingeholt werden, dabei sollte auf die zu erreichende Pelletqualität hingewiesen werden. Variante 3 zeichnet sich durch ihre hohe Flexibilität hinsichtlich des Rohstoffeinsatzes und eines Wechsels zu einer anderen Pelletierungsvariante aus. Die geringen Investitionskosten für das Pelletlager und der Verzicht auf eigenes Personal erhöhen die Planungssicherheit. Für einen Markteinstieg zur energetischen Nutzung von Heupellets bietet diese Variante mit ihren relativ geringen Risiken eine gute Möglichkeit.

Die Kosten für die Produktion von Heupellets in einer **eigenen stationären Anlage** (Variante 1) liegen pro Tonne mehr als 50 € über denen für Variante 3. Aufgrund der hohen Investitionskosten sowie dem Bedarf an eigenem Personal weist diese Variante eine geringe Flexibilität auf. Im Falle einer Entscheidung für diese Variante sollte auf jeden Fall über eine Erhöhung der Auslastung durch die Produktionserhöhung der Brennstoffpellets oder von Alternativprodukten wie Futter- oder Einstreupellets (siehe Kapitel 5.1.5) einbezogen werden, um die spezifischen Produktionskosten je Tonne Pellets deutlich zu senken.

Die Variante einer **mobilen Lohnpelletierung** (Variante 4) ist mit 101,90 €/t die teuerste der drei Varianten. Vordergründig erscheint sie sehr flexibel, da die Investitionskosten für die benötigte Lagerhalle für die produzierten Pellets sowie den für die Zuführung notwendigen Radlager verglichen mit Variante 1 sehr niedrig sind. Es muss jedoch beachtet werden, dass derzeit kein geeigneter Lohnunternehmer in der Region ansässig ist. Um potenziellen Interessenten den Einstieg zu erleichtern, müssten voraussichtlich mittelfristige Verträge abgeschlossen werden. Vorteilhaft bei dieser Variante ist die große Mobilität, sodass sie auch bei lokal kleineren Mengen eingesetzt werden kann.

Wie schon in Kapitel 5.1.5 erläutert, bietet die **eigene Pelletierung auf kleinen, dezentralen Einheiten** (Variante 2) unter den gegebenen Voraussetzungen keine Alternative. Die Technik ist für die dauerhafte Produktion hochwertiger Energiepellets nicht geeignet, der Durchsatz ist für einen wirtschaftlichen Betrieb zu gering und der Arbeitskraftbedarf zu hoch.

Verbrennung

Der Vergleich der drei betrachteten Nutzungskonzepte hat deutlich gezeigt, dass die energetische Nutzung von Grünlandschnitt in Form von Pellets in der bivalenten Ausführung mit einem Spitzenlastkessel das wettbewerbsfähigste Konzept darstellt (vgl. Abbildung 5-50 und Abbildung 5-51). Im Bereich der nicht-genehmigungspflichtigen Kleinf Feuerungsanlagen (< 100 kW), speziell für

die Wärmeversorgung von Ein- und Mehrfamilienhäusern, ist eine Nutzung derzeit nicht möglich und grundsätzlich auch nur unter der Voraussetzung eines sehr kostengünstigen Brennstoffs denkbar. Wie in Kapitel 5.2.2 dargestellt, ist die Rechtssituation für diese Leistungsklasse unklar und stellt somit ein massives Hemmnis für den Einsatz von alternativen biogenen Brennstoffen, also auch von Heu dar. Entsprechend wird derzeit die Auslegung der Kleinfeuerungsanlagenverordnung, in einem, vom Umweltbundesamt initiierten Arbeitskreis, intensiv diskutiert.

Hinsichtlich der Heuballenverbrennung hat sich gezeigt, dass die Nutzung von Holzhackschnitzeln bei ähnlichen Wärmegestehungskosten liegt, so dass hier durch eine weitergehende Reduzierung der kapitalgebundenen und sonstigen Kosten sowie durch niedrige Brennstoffkosten eine Wettbewerbsfähigkeit der Heuballenverbrennung erreicht werden könnte. Allerdings handelt es sich bei Holzhackschnitzeln – im Unterschied zu Heizöl – um einen sehr lokal gehandelten Brennstoff. Bei einer schlechten Verfügbarkeit von Holzhackschnitzeln bleibt als Alternativkonzept nur der Einsatz von fossilen Energieträgern. Ganzballenverbrennungsanlagen werden bereits am Markt vertrieben und installiert. In diesem Leistungsbereich (> 100 kW) sind im Einzelfall jedoch auch die seitens der genehmigenden Behörde an die Verbrennungsanlagen gestellten Forderungen an die Abgasreinigung ausschlaggebend. Dies gilt insbesondere für den Umfang der zu messenden Abgaskomponenten und die diesbezüglich festgelegten Emissionsgrenzwerte.

Obwohl die in den Versuchen betrachteten Heupelletfeuerungsanlagen (< 100 kW) so konzipiert wurden, dass hinsichtlich des Abbrandverhaltens schwieriger Brennstoffe weitestgehend eine unproblematische, kontinuierliche Verbrennungsführung erreicht werden kann, stellt die Höhe der Emissionen die eigentliche Herausforderung dar. So ist eine notwendige Reduzierung der Dioxin/Furanemission um den Faktor 10 nicht so ohne weiteres realisierbar und darüber hinaus sind auch die Feinstaubemissionen als besonders kritisch einzustufen. Bezüglich letzteren gilt es zu beachten, dass vor dem Hintergrund einer zukünftigen Verschärfung des Grenzwerts auf $0,02$ g/m³ (für Anlagen die nach dem 31.12.2014 errichtet werden) und den im Projekt gemessenen Feinstaubemissionen von minimal $0,2$ g/m³ Abscheider mit einem Abscheidegrad von über 90 % nötig wären, die momentan im kleinen Leistungsbereich für halmgutartige Brennstoffe, abgesehen von einigen Forschungsprojekten, noch nicht verfügbar sind. Daher sind entsprechend ausgerüstete Anlagen in diesem Leistungsbereich (< 100 kW), die unter Marktbedingungen betrieben werden, derzeit nicht bekannt. Die entwickelten Konzepte eignen sich gut zur Versorgung größerer Objekte oder der dezentralen Wärmeversorgung über kleinere Nahwärmenetze.

Hinsichtlich der Treibhausgasemissionen weisen alle betrachteten Konzepte ein sehr hohes Emissionseinsparpotenzial gegenüber der Wärmeerzeugung aus fossilen Brennstoffen auf, nämlich mindestens 80 %. Besonders die Ganzballenverbrennungsanlagen erweisen sich aus dieser Perspektive als besonders vorteilhaft. Hier sind THG-Einsparungen von ca. 92 % möglich.

Forschungsbedarf ergibt sich vor allem hinsichtlich der Entwicklung geeigneter Feuerungs- oder Abscheidetechnologien um die Emissionen von Staub sowie Dioxinen und Furanen weiter zu senken. Gleichzeitig sollte eine Weiterentwicklung der Brennstoffe erfolgen um beste Voraussetzungen für eine „saubere“ Verbrennung herstellen zu können. Handlungsbedarf ergibt sich vor allem hinsichtlich einer Novellierung der 1. BImSchV für eine immissionsschutzrechtliche, technische und ökonomisch tragfähige Lösung.

6 Einsatz von Gras in der Biogasproduktion

Die Nutzung von Gras in der Biogasanlage stellt neben der Nutzung in Verbrennungsanlagen einen weiteren wesentlichen energetischen Konversionspfad dar. Allerdings sind bei Gras und Schilf im Vergleich zu den sonst häufig verwendeten Substraten besondere Herausforderungen gegeben. Dazu werden zunächst bestehende Lösungsansätze bewertet und praktische Erfahrungen dargestellt (Kapitel 6.1.). Anschließend werden auf Basis dieser Erkenntnisse sowie unter Einbeziehung der regionalen Gegebenheiten umsetzbare Nutzungskonzepte für die Stromerzeugung sowie die Wärmeversorgung im Havelland entwickelt und bewertet (Kapitel 6.2).

6.1 Biogasproduktion

6.1.1 Theoretischer Hintergrund

Eigenschaften von Gras

Gras stellt besondere Anforderungen an die Biologie und insbesondere die Technik der Vergärung. Dies ist unabhängig davon, ob das Gras frisch oder siliert ist. Es gibt jedoch eine Reihe von grasspezifischen Faktoren, die die anaerobe Vergärbarkeit und die technischen Anforderungen beeinflussen:

- Herkunft des Grases
 - Intensivgrünland
 - Extensiv bewirtschaftetes Grünland
 - Landschaftspflege
 - Naturschutzmaßnahmen
- Ernte des Grases
 - Schnittzeitpunkt (Jahreszeit)
 - Schnitthäufigkeit
 - Häcksellänge
 - Schnitthöhe
 - Bergung (Sand- und Erdanhaftung)

Die Herkunft des Grases sowie Schnittzeitpunkt und -häufigkeit haben einen starken Einfluss auf die Zusammensetzung des Grases, das heißt in erster Linie den Anteil lignozelluloser Bestandteile. Spätgeschnittenes Gras oder Gras aus dem dritten, vierten oder gar fünften Schnitt hat gegenüber früheren Grasschnitten einen deutlich höheren Anteil lignozelluloser Bestandteile, die nicht direkt in der anaeroben Vergärung umgesetzt werden können. Durch eine hohe Schnitthöhe kann der Anteil lignozelluloser Bestandteile, aber auch die Einmischung von Sand- oder Erdanteilen verringert werden. Letzteres kann jedoch durch eine ungünstige Bergung nach der Feldtrocknung wieder erhöht werden.

Sand- oder Erdanhaftungen gehen als inertes Material in die Vergärung ein und können zu Sedimentation und somit Verringerung des Gärraumvolumens führen. Je kürzer die Häcksellänge, im günstigsten Fall < 1 cm, umso besser ist das Gras zur Silierung und zur anaeroben Vergärung geeignet. Allerdings können die sehr kurzen Häcksellängen zu einem höheren Energieaufwand bei der Herstellung führen. Unabhängig von den oben genannten Faktoren neigt Gras in der Biogasanlage zur Verklumpung, welches das größte Problem darstellt. Durch diese Klumpenbildung wird zum einen die bakterielle Hydrolyse rein mechanisch behindert, zum anderen können sich diese Klumpen auch noch zu größeren Gebilden verbinden, die sich zum Beispiel um Rührwerke wickeln oder Pumpen und Transportschnecken blockieren.

Das zweite große Problem in Biogasanlagen sind die abrasiven Eigenschaften des Grases. Gras wird in der Tierfütterung als strukturreiches Material eingesetzt, was durch den Zellwandaufbau gegeben ist. Darüber hinaus ist Gras oft mit Sand oder Erde verunreinigt. Wird Gras siliert, werden die abrasiven Schäden an den Fördereinrichtungen durch den hohen Säuregehalt noch verstärkt.

Die Vergärungseigenschaften des Grases werden vor allem durch den Mahdtermin beeinflusst. Das früh gemähte Gras ist reich an Rohprotein, Rohfett und Zucker und wird daher für die Biogaserzeugung empfohlen. Erfolgt der erste Schnitt jedoch später, Ende Juni oder Anfang Juli, so ist das Gras stark ligninhaltig und wird als Futter oder als Einstreu für Mutterkühe verwendet. Erlauben die Witterungsbedingungen diese Flächen zweimal zu ernten, befindet sich der zweite Aufwuchs zum Erntezeitpunkt (Ende August/ September) in einem früheren Entwicklungsstadium als der erste, spät gemähte Aufwuchs (Abbildung 6-6). Dadurch hat er bessere Vergärungseigenschaften und kann besser für die Biogaserzeugung genutzt werden. Verfügt der landwirtschaftliche Betrieb über mehr extensive Grünlandflächen als für die Tierfütterung und die Biogasanlage benötigt wird, werden diese Flächen üblicherweise gemulcht oder gemäht. Bei einer Mahd wird das Material am Wiesenrand kompostiert.

Anforderungen an den Gärprozess

Grundsätzlich ist Gras gut anaerob vergärbar und kann hohe, an Mais heranreichende Biogausbeuten erbringen [168]. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichende Zerkleinerung beziehungsweise Hydrolyse des Materials vor der eigentlichen Biogasbildung. Ziel dieser Vorbehandlung ist zum einen eine Vergrößerung der Oberfläche für den Angriff der Bakterien und zum anderen eine Minimierung der Tendenz zur Verklumpung. Dabei zeigt sich, dass eine ausschließliche Zerkleinerung durchaus zur verbesserten Umsetzung des Materials führt, jedoch die Verklumpung nur unzureichend verhindert. Die Verklumpung kann nur durch die Zerkleinerung einer vorgeschalteten Hydrolyse des Grases verhindert werden. Hierzu ist eine Reihe von physikalischen, biologischen und chemischen Verfahren einsetzbar.

Zu den physikalischen Vorbehandlungen gehören rein mechanische Verfahren, wie die Zerkleinerung mit:

- Hammermühle
- Prallreaktor
- Extruder

- oder Verfahren, die auch die Zerstörung von Zellwänden ermöglichen:
- Thermische Behandlung im Druckreaktor (TDH: Thermodruckhydrolyse)
- Ultraschall
- Hochfrequenzimpulse

Die Wirksamkeit der letzten beiden Verfahren wurde bisher nicht von unabhängigen Stellen erprobt.

Die biologischen Verfahren basieren auf einer Beschleunigung der Hydrolyse. Hierzu gehören:

- die Zugabe von hydrolytischen Enzymen und
- die vorgeschaltete externe Hydrolyse mit verstärkter Präsenz der hydrolytischen Bakterien

Die beschleunigte Hydrolyse des Grasses greift die Struktur der Grasoberfläche an und reduziert somit die Tendenz zur Verklumpung. Ob jedoch eine Steigerung der Biogasbildung mit der beschleunigten Hydrolyse stattfindet, konnte bis auf eine Ausnahme in keinem Praxisversuch unabhängig nachgewiesen werden, obwohl aus vielen Praxisanwendungen sowohl von Enzymen und externen Hydrolysen solche Ausbeutesteigerungen berichtet werden [169].

Unter den chemischen Verfahren werden

- der alkalische Aufschluss und
- der saure Aufschluss

verstanden. Dabei wird das Material eingeschlossen sämtlicher Lignine und lignozellulosen Komplexe hydrolysiert. Die Biogasausbeute eines solch aufgeschlossenen Grasses erreicht dabei die Werte von Mais, wobei der alkalische Aufschluss etwas höhere Ausbeuten zeigt als der saure Aufschluss [170]. Die Verwendung dieser chemischen Verfahren ist aus mehreren Gründen jedoch wenig verbreitet:

- die notwendige Sachkunde zum Umgang mit starken Laugen oder Säuren
- die sehr hohen Anforderungen an Arbeitsschutz und Anlagensicherheit
- die Aufsalzung der Gärreste
- das hohe Risiko bei Havarien

Zusätzlich zu diesen Verfahren zur externen Beschleunigung der Hydrolyse gibt es Biogasanlagen, die relativ große Mengen Grassilage einsetzen und die Hydrolyse des Grasses intern verbessern. Voraussetzung hierfür ist eine möglichst vollständige Verteilung des Materials im Fermenter, das heißt spezielle Techniken zur Umwälzung sind nötig (siehe Kapitel 6.1.3).

6.1.2 Administrative Rahmenbedingungen

Für den Bau und den Betrieb von Biogasanlagen sind mehrere Gesetze und Verordnungen einzuhalten. Hierfür sei auf die Ausführungen in der Biogas-Broschüre vom August 2012 verwiesen

[171]. Direkte Besonderheiten bei der Nutzung von Gras als Substrat ergeben sich hierbei nicht. Es muss jedoch gewährleistet sein, dass beim Betrieb der Biogasanlage samt ihrer Aufbereitungskomponenten die Emissionsrichtlinien des BImSchG eingehalten werden. Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass bei Ausbringung der Gärreste, gegebenenfalls auf Grünlandflächen, die Wirtschaftsdünger-Verordnung sowie das Naturschutzrecht und die Voraussetzungen für den Erhalt von Ausgleichszahlungen eingehalten werden. Beachtet werden muss, dass bei unter Naturschutz stehenden Flächen der erste Schnitt frühestens am 15. Juni eines jeden Jahres erfolgen darf.

6.1.3 Stand der Technik

Aufgrund der Eigenschaften von Gras muss die Technik von Biogasanlagen, die Gras vergären, deutlich robuster sein als die von Mais- oder Güllevergärungsanlagen. Fütterungstechnik wie Schneckenförderer oder Pumpen müssen deutlich stärker, das heißt mit höheren Förderquerschnitten und höherer Materialstärke ausgelegt werden. Das gleiche gilt für die Rührtechnik. Hier sind langsam laufende Paddelrührwerke schnell laufenden Tauchmotorrührwerken vorzuziehen. Schnecken in den Transportanlagen sollten mit verschleißarmen und soliden Lagern und verschleißarmen Schneckenkörpern aus hartem Schwarzstahl, gegebenenfalls mit Hartmaterial (Keramik) gepanzert, ausgestattet sein. Bei den Pumpen sollten Exzentrerschneckenpumpen den üblichen Drehkolbenpumpen vorgezogen werden [172].

Statt mechanischer Rührer kann auch eine hydraulische Umwälzung eingesetzt werden. Hierzu wird an drei oder vier Punkten im unteren Fermenterbereich Biogas tangential eingeblasen.

In den Feststoffdosierern kann der Koppelwirkung von abrasivem Verschleiß und Säureangriff der Grassilagen durch Pulverbeschichtung oder durch Einsatz von Holzwänden begegnet werden. Zur Auflockerung des Materials können Vertikalmischer oder Fräswalzen eingesetzt werden.

Die vorgeschaltete Zerkleinerung und/oder externe Hydrolyse führt zu zusätzlichen Einrichtungen in den Gras-Biogasanlagen im Vergleich zu Mais-dominierten Anlagen. Bei den physikalischen Vorbehandlungen sind zusätzliche Installationen wie

- Hammermühle
- Schneidmühle
- Prallreaktor
- Extruder
- Thermodruckhydrolyse

notwendig. Dies bedarf weiterer Investitionen und führt zu einem höheren Eigenbedarf an elektrischer Energie. Durch den erhöhten Verschleiß steigen die Kosten für Ersatzteile und Wartung. Eine Ausnahme bildet hier die Thermodruckhydrolyse. Diese kann mit Abwärme aus dem BHKW betrieben werden. Bei einer entsprechenden Konstruktion kann der Verschleiß der Thermodruckreaktoren gering gehalten werden.

Bei der biologischen Vorbehandlung hat der Einsatz von hydrolytischen Enzymen den geringsten Investitionsaufwand. Die Enzyme können direkt im Feststoffdosierer zugegeben werden. Da die Enzyme mit dem Fermenterinhalt ausgeschwemmt werden und auch dem anaeroben Abbau durch die Bakterien unterliegen, erfolgt die Enzymzugabe täglich und verursacht somit ständige Betriebskosten. Die hydrolytischen Verfahren, die in externen, vorgeschalteten Behältern stattfindet, erfordert die Installation geeigneter Behälter. Für die vorgeschaltete Hydrolyse wird eine Verweilzeit von zwei bis fünf Tagen veranschlagt. Neben den Behältern sind noch technische Einrichtungen wie Rührer, Pumpen und Separatoren zur Rückgewinnung der hydrolytischen Fermenterflüssigkeit notwendig. Für die externe Hydrolyse gibt es Ansätze mit erwärmten und kalten Fermenterhalten. Die Erwärmung kann mit Abwärme aus dem Blockheizkraftwerk durchgeführt werden. Das zurzeit bekannteste Verfahren ist die warme Hydrolyse nach dem Rottaler Modell. Viel diskutiert wird auch die teil-aerobe Hydrolyse von avantec [173,174].

- Die vorgeschaltete externe Hydrolyse hat zwei Probleme:
- Energieverlust durch Abbau energiereicher Substrate
- Fehlende Verwertungsmöglichkeit des Hydrolysegases

Letzteres enthält Wasserstoff, Schwefelwasserstoff und Spuren von Methan. Zur Verwertung sind entweder Schwachgasbrenner oder die Mischung mit dem Biogas geeignet.

Wie oben bereits ausgeführt, stellen die chemischen Verfahren hohe Anforderungen an die Arbeitssicherheit und die Anlagensicherheit. In Dänemark arbeitet eine Biogasanlage mit einer Kombination aus alkalischem Aufschluss und Thermodruckhydrolyse zur Vorbehandlung von Schlachtabfällen [175]. Die hier eingesetzte Technik und die Sicherheitseinrichtungen entsprechend der einer chemischen Fabrik und sind nicht ohne weiteres auf landwirtschaftliche Biogasanlagen übertragbar.

Zur Vergärung von Grüngut aus der Gewässerpflege liegen noch keine publizierten Ergebnisse vor. Erste Untersuchungen am ATB zeigten, dass bei der Gewässergrünguternte eine erheblich Fraktion gut vergärbarer Stoffe anfällt. Schwierigkeiten bestehen beim Transport, da der Wassergehalt des Materials meist größer als 80 % ist. Neben der guten Vergärbarkeit des Materials wurde festgestellt, dass das Grüngut aus Gräben und Teichen mit erheblichen Steinanhaftungen belastet war. Dies stellte vor allem in der Zuführung des Materials in den Fermenter erhebliche Problem dar (persönliche Mitteilung).

6.1.4 Stand der Praxis

Praxisbeispiele

Neben den Biogasanlagen, die in geringen Anteilen Grassilage einsetzen, gibt es auch solche, bei denen Grassilage bereits jetzt einen hohen Anteil der Einsatzstoffe bildet (Tabelle 6-1). In den meisten Fällen wird hier eine robuste Technik eingesetzt. Die oben dargestellten Vorbehandlungen finden bisher in geringem Umfang statt. Am häufigsten ist der Einsatz von Enzymen und Methoden zur Auflockerung des Materials wie Feststoffdosierer mit Fräsrollen anzutreffen.

Tabelle 6-1: Beispiele für Biogasanlagen mit hohem Grasanteil in den Einsatzstoffen

Biogasanlage	Elektrische Leistung (kW)	Einsatzstoffe
Upschört in Friedeburg	1250	60 % Grassilage im Sommer flexibler Mix an Einsatzstoffen
Ihausen/Westerstede	537	11000 t/a Grassilage; 1000 t/a Maissilage; 1460 m ³ /a Rindergülle; 580 t Lieschkolbenschrot
Wangerland	500	Gras; Maissilage; Ganzpflanzensilage; Mist flexibler Mix an Einsatzstoffen
Dammfleth	500	94 % Grassilage; 4 % Rinderfestmist (Trocken- fermentation)
Gut Barnstedt	380	Gras; Ganzpflanzensilage (Trockenfermentation)
Oberjesna	160	Grassilage; andere Inputstoffe flexibler Mix an Einsatzstoffen
BUND-Hof Wendbüdel	50	100 % Gras von Naturschutzflächen (Trocken- fermentation)
Breitenberg	40	730 t/a Grassilage; 365 m ³ /a Rindergülle
Västerås (S)	15 GWh/a aufbereitetes Biogas	5.000 t/a Grassilage; 4000 t/a Fettabscheider; 14000 t/a Biomüll

Neben den gerührten Biogasfermentern besteht auch die Möglichkeit der Trockenfermentation im Garagenverfahren. Hier wird das Material mit bereits vergorenem Material gemischt und in festen Boxen zur satzweisen Vergärung eingebracht. Voraussetzung hierfür sind Mindestmengen strukturreichen Materials. Nachteile des Garagenverfahrens sind die große Gefahr des Methanschlupfs beim Öffnen der Boxen und die Gefahr der schlechten Umsetzung und somit langen Verweilzeiten [176].

Die Biogasanlage in Västerås (Schweden) arbeitet mit einer hydraulischen Umwälzung. Die Grassilage wird vor der Zugabe mit zwei gegenläufigen Reißwalzen zerkleinert, mit Fermenterinhalt vermengt und in den Fermenter gepumpt. Die technische Einrichtung hierzu wird von der Vogelsang GmbH als Quickmix® angeboten.

Einsatz von Gras in havelländischen Biogasanlagen

Zur Ermittlung des Graseinsatzes in havelländischen Biogasanlagen und den daraus resultierenden Erfahrungen wurde eine schriftliche Befragung durchgeführt. Dabei wurde deutlich, dass bereits in 44 % der havelländischen Biogasanlagen bereits Gras als Substrat eingesetzt wird. Vorwiegend wird den Fermentern jedoch Maissilage (91 %), Rindergülle (79 %) und Körnergetreide (58 %) zugeführt. Dies entspricht auch weitestgehend der deutschlandweiten Situation (Abbildung 6-1).

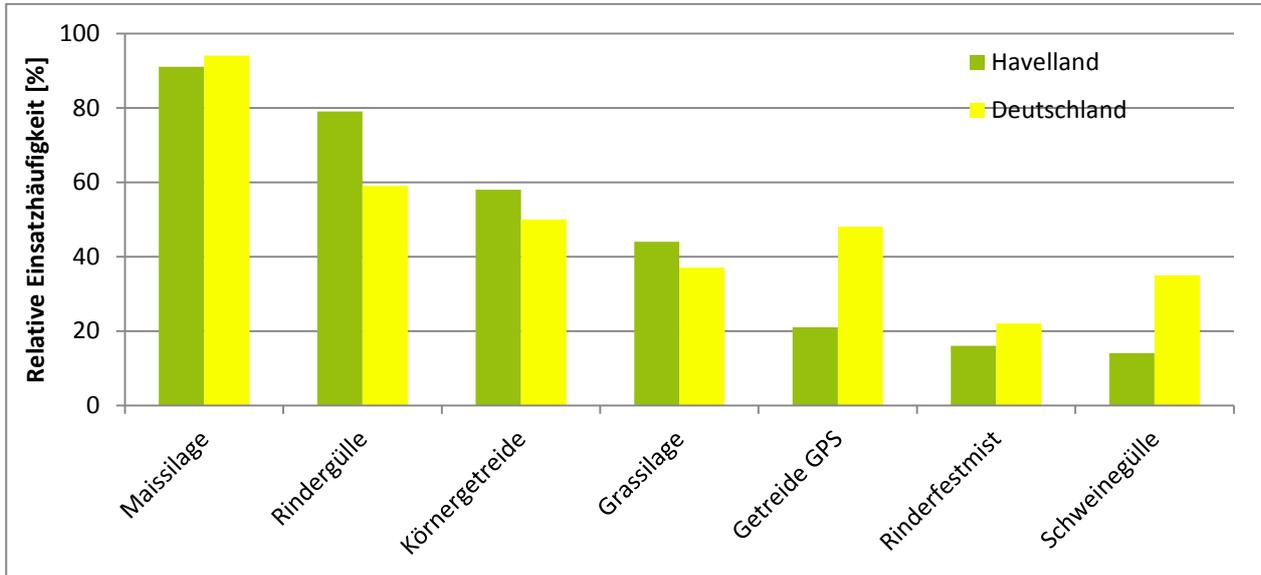


Abbildung 6-1: Relative Einsatzhäufigkeit der Substrate im Havelland und in Deutschland (Abbildung: ATB, für Deutschland nach Daten von [177])

Die weite Verbreitung von Mais in der Biogasproduktion basiert auf seiner etablierten Position im Ackerbau, guten Konservierungseigenschaften sowie hohen Methanerträge pro Flächeneinheit. Um jedoch die Gefahr der Maismonokultur abzuwenden, ist der verstärkte Einsatz von anderen Rohstoffen erwünscht. Rindergülle findet aufgrund ihrer stabilisierenden Wirkung auf den Prozess der Biomassevergärung häufig Anwendung. Darüber hinaus liegt sie bei vielen Betrieben als günstiger Reststoff vor. Es fällt auf, dass Rindergülle im Untersuchungsgebiet öfter zum Einsatz kommt, als dies bundesweit üblich ist. Eine Erklärung dafür ist die häufige Kopplung von havelländischen Biogasanlagen mit Milchviehbetrieben. Bei der Betrachtung der Einsatzhäufigkeit verschiedener Biogassubstrate wird deutlich, dass vor allem Maissilage und Wirtschaftsdünger mit überwiegendem Rindergülleanteil den größten Beitrag zur Biogaserzeugung leisten. Im Havelland werden zudem auch bereits größere Mengen an Grassilage eingesetzt, die jedoch im Vergleich zu Wirtschaftsdünger und Mais eine eher untergeordnete Rolle spielen (Abbildung 6-2).

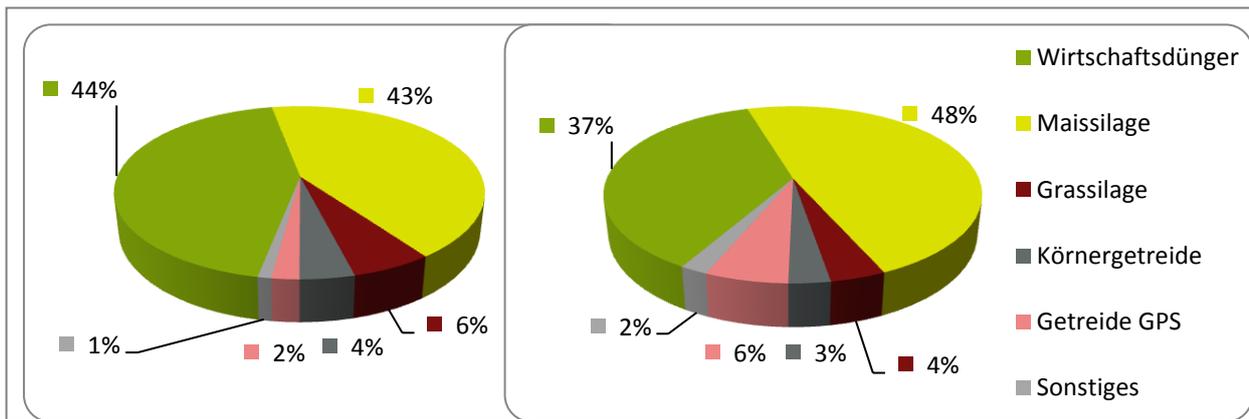


Abbildung 6-2: Massenanteile der in Biogasanlagen im Havelland und in Deutschland eingesetzten Substraten in % FM (Abbildung: ATB [eigene Angaben und [177]])

In 14 von 19 Gras vergärenden Biogasanlagen im Havelland (vgl. Kapitel 3.4.3) liegt der Grassilageanteil unter 10 % des gesamten Substratinputs (auf Frischmasse bezogen). Die restlichen fünf Anlagen weisen einen kontinuierlichen Anstieg des Grassilageanteils bis maximalen 55 % auf. Sehr unterschiedlich ist die Qualität der verwendeten Grassilage. Das Gras von extensiven Grünlandflächen mit ein bis zwei Schnitten pro Jahr und zeitweise oder ganz ausgesetzter Düngung kommt genauso zum Einsatz, wie das Gras von intensiven Grünlandflächen mit maximal fünf Schnitten pro Jahr und hohem Düngungsniveau. In Abbildung 6-3 ist Grassilage verschiedener Flächen und unterschiedlicher Silierqualität dargestellt.



Abbildung 6-3: Grassilage unterschiedlicher Qualitäten: zu nass, verschimmelt, qualitativ angemessen (Fotos: ATB)

Die genannten Anteile der Grassilage bleiben nicht immer konstant. Von Jahr zu Jahr fallen die Graserträge unterschiedlich hoch aus, was einen direkten Einfluss auf die konservierte und somit zur Verfügung stehende Grasmenge ausübt. Hierbei ist auch die Verfügbarkeit anderer Rohstoffe, die zur Biogasgewinnung beitragen, von großer Bedeutung. Gehört die Biogasanlage zu einem Vieh haltenden Betrieb, werden zuerst die für die Fütterung notwendigen Futtermengen sichergestellt und der Rest gelangt in den Fermenter. Außerdem variieren einige Anlagenbetreiber den Anteil oder die Art der eingesetzten Substrate, um zu erproben, welche Auswirkungen dies auf den Biogasprozess hat. Entsprechend der Befragungsergebnisse ist die Voraussetzung für die Erhöhung des Grasanteils am Substratgemisch eine hohe Qualität des Grasses. Diese wird häufig durch fortlaufende Düngung des Grünlandes mit Gärresten erreicht. Teilweise wird seitens der Biogasanlagenbetreiber auch die

Meinung vertreten, dass sich Grasvergärung gegenüber der vergleichsweise unproblematischen Maisvergärung wirtschaftlich nicht rentiert. Bei der Grasfermentation, so die meisten Befragten, muss die Anlagentechnologie bereits auf die Grasnutzung abgestimmt sein. Da die meisten derzeit betriebenen Biogasanlagen für dieses spezielle Substrat nicht ausgelegt worden sind, möchten viele Anlagenbetreiber den Grasanteil für die Biogaserzeugung nicht weiter erhöhen. Dies ist besonders bei älteren Anlagen der Fall. Beim Einsatz von Gras können zahlreiche Probleme auftreten wie beispielsweise die Verstopfung der Eintragungssysteme. Um den gesamten Prozess nicht zu gefährden, mussten die Landwirte in diesen Fällen das Gras aus der Biogasproduktion wieder herausnehmen. Als weiterer Grund, die Biogasgewinnung ohne Gras zu betreiben, wurde die mangelnde Ausstattung der Betriebe mit Grünlandflächen genannt. Entweder handelt es sich dabei um reine Ackerbaubetriebe oder das bewirtschaftete Grünland dient allein der Tierfütterung. Darüber hinaus können fehlende Lagerkapazitäten die Verwertung des Grases in der Biogasanlage ausschließen.

Unter den havelländischen Biogasanlagen mit Grasvergärung ist eine besonders hervorzuheben. Es ist die einzige Anlage im Untersuchungsgebiet, die den Anforderungen des Landschaftspflegebonus entspricht.



Abbildung 6-4: Biogasanlage in Nennhausen mit überwiegender Grasvergärung (Foto: ATB)

Die Anlage hat eine Leistung von 1,2 MW_{el} und befindet sich in Nennhausen (Abbildung 6-4). Hier wird Biogas aus Grassilage, Maissilage, Körnergetreide und Getreide GPS gewonnen. Der Grassilageanteil liegt derzeit bei ca. 55 % und soll perspektivisch auf 85 % steigen. Das Gras stammt von unter Naturschutzvertrag stehenden Flächen, die zwei Mal im Jahr und frühestens am 15. Juni, gemäht werden. Die Substrate werden auf verschiedene Weise der Biogasanlage zugeführt. Ein direktes

Einbringen in die Fermenter erfolgt bei Mais und Getreide (Körner, GPS). Die Grassilage wird zuerst in eine Anmischgrube befördert, wo die erste Phase des Abbauprozesses, die Hydrolyse, stattfindet. Um den Bakterien den Zugang zu den schwer abbaubaren Substanzen wie Zellulose zu ermöglichen und dadurch eine bessere Grasfermentation zu erzielen, ist eine Vorbehandlung der Grassilage ratsam. Der dafür eingesetzte Extruder sorgt durch Zerkleinerung und Quetschen des Grasses für ein Aufbrechen der Ligninstruktur und bewirkt somit einen besseren Substrataufschluss. Zwar wurde dadurch keine nachweisliche Steigerung der Biogasausbeute erreicht, das Aufschwimmen des Grasses im Fermenter konnte jedoch gemindert werden. Aufgrund der beachtlichen Menge an eingesetzten Rohstoffen wurde der Extruder nur für Grassilage angewendet. Der hohe Anschaffungspreis sowie der große Verschleiß des Extruders lassen die Anlagenbetreiber jedoch nach weiteren Möglichkeiten einer erfolgreichen Grasvergärung suchen. Momentan scheint eine Zerkleinerung des Häckselguts auf 0,5 cm die optimale Lösung zu sein. Trotz des erhöhten Aufwands beim Häckseln ist diese Vorgehensweise im Endeffekt kostengünstiger. Sie wirkt, wie auch der Extruder, positiv der Verstopfung der Eintragungssysteme und der Schwimmschichtbildung entgegen.

Eine starke Zerkleinerung des Grasses wird auch von den übrigen havelländischen Landwirten praktiziert. Beim Häckseln des Grasses für die Biogasgewinnung stellen einige Landwirte bereits den Feldhäcksler auf niedrigere Schnittgrößen ein, als beim Ernten des Grasses für Futterzwecke. Wurde das Gras bei der Ernte nicht beziehungsweise nicht ausreichend gehäckselt, ist die Zerkleinerung der Grassilage noch unmittelbar vor dem Einbringen in den Fermenter möglich. Die dafür notwendigen Nass-Zerkleinerer werden vor den Pumpen in das Leitungssystem eingebaut. Drehende, motorbetriebene Messer zerkleinern grobe, faserreiche Rohstoffe am Schneidsieb (Abbildung 6-5).



Abbildung 6-5: Nass-Zerkleinerer (hier RotaCut von Vogelsang): Schneidmesser und Schneidsieb (links) und das in ein Pump- und Leitungssystem eingebaute Gerät (rechts) (Foto: ATB)

Fremdkörper wie Steine oder Metallteile werden vorher abgeschieden und sammeln sich in einem unterhalb platzierten Steinfang. Dadurch wird ein reibungsloser Betrieb der Pumpen sowie eine bessere Durchmischung der Substrate im Fermenter gewährleistet.

Wirtschaftsgrünland wird mit unterschiedlichen Intensitäten bewirtschaftet. Pro Jahr werden mindestens drei Schnitte durchgeführt, die vierte Mahd ist nur bei günstigen Witterungsbedingungen

möglich. Einige Grünlandflächen werden sogar fünf Mal pro Jahr abgeerntet, was aber neben gutem Wetter entsprechend hohe Düngermengen und zusätzliche Pflegemaßnahmen wie Schleppen oder Nachsaat erfordert.



Abbildung 6-6: Grassilage von Flächen mit Naturschutzauflagen: erster, spät gemähter Aufwuchs für Mutterkühe (links) und zweiter Aufwuchs für die Biogasanlage (rechts) (Foto: ATB)

Das Gras von intensiv bewirtschafteten Flächen wird, meist unter Anwendung von Siliermitteln, siliert und zur Fütterung von Milchkühen eingesetzt. Aufgrund ihrer hohen Qualität sind der erste und zweite Schnitt besonders dafür geeignet (Abbildung 6-6). Kann der Futterbedarf der Tiere so bereits gedeckt werden, sind die nachfolgenden Schnitte als besonders wertvolles Biogassubstrat anzusehen. Die Graskonservierung für die Biogasanlage erfolgt in der Regel ohne Zusatz von Siliermitteln.

Die vergorenen Substrate werden zur Düngung landwirtschaftlicher Flächen ohne oder mit vorangegangener Aufbereitung verwertet. Als Verfahren der Gärrestaufbereitung hat sich im Havelland die Feststoffabtrennung bewährt. Mit Gärresten werden vor allem Acker und seltener das Grünland gedüngt.

6.2 Nutzungskonzepte für die energetische Verwendung halmgutartiger Biomasse in Biogasanlagen

Die Entwicklung von Konzepten zur energetischen Nutzung der halmgutartigen landwirtschaftlichen Reststoffe in Biogasanlagen beruht auf den Erkenntnissen und Ergebnissen der Kapitel 4 und 6. Für die Konzepte werden Beispielstandorte im Untersuchungsgebiet basierend auf Kapitel 4 ausgewählt. Abschließend werden die ausgestalteten Nutzungskonzepte ökonomisch sowie hinsichtlich ihrer Treibhausgasemissionen und ihrer technischen Umsetzbarkeit bewertet.

Grundsätzlich ergeben sich zwei verschiedene Ansätze, das Substrat im Biogasprozess zu nutzen. Entweder es werden für die Substrate Gras und Schilf extra dafür ausgelegte Biogasanlagen gebaut, die dann auch ausschließlich Gras und Schilf einsetzen oder die Substrate werden als Co-Substrat in bestehenden Biogasanlagen eingesetzt. Der Einsatz von Gras als Co-Substrat kann bei guter Qualität und als geringer Anteil auch ohne tiefgreifende technische Erweiterungen in bestehenden Anlagen integriert werden, die hauptsächlich Mais oder Gülle einsetzen. Mit zunehmendem Grasanteil oder bei schlechteren Grasqualitäten bedarf es jedoch entsprechender technischer Erweiterungen und Anpassungen wie im Kapitel 6 beschrieben.

Wesentlich für die wirtschaftliche und ökologische Bewertung von Biogasanlage ist der Standort. Im Optimalfall ist in direkter Nähe zur Biogasanlage ein hohes Vorkommen an Substraten zu verzeichnen, die den Qualitätsanforderungen des Biogasprozesses genügen. Des Weiteren sollten in unmittelbarer Umgebung entsprechende Wärmesenken vorhanden sein, um neben Strom auch Wärme zu erzeugen und somit die Anlageneffizienz zu steigern. Dies führt zu einer besseren ökonomischen sowie wirtschaftlichen Bewertung und ist auch Voraussetzung für die Erhaltung der Einspeisevergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2012.

In Folgendem werden die beiden grundlegenden Nutzungskonzepte vorgestellt. Bei dem ersten Konzept wird die dezentrale Biogasgewinnung bei den für Gras und Schilf konzipierten Biogasanlagen betrachtet. Für die Darstellung von Nutzungskonzepten wurden hier beispielhaft zwei Biogasanlagen mit einer Leistung von 500 kW_{el} und 300 kW_{el} betrachtet. Die 500 kW_{el}-Anlage ist die mittlere und gleichzeitig die am meisten verbreitete Anlagengröße im Havelland. Anlagen in dieser Größe sind aus zwei Gründen beliebt. Einerseits haben sie geringere spezifische Investitionskosten im Vergleich zu kleineren Anlagen (Kostendegressionseffekt). Andererseits werden sie im Gegenzug zu den größeren Anlagen (über 500 kW_{el}) mit einer höheren Vergütung durch das EEG gefördert. Die zweite gewählte Anlagengröße von 300 kW_{el} ist im Untersuchungsgebiet seltener vertreten. Der Vorteil dieser Anlage ist der deutlich geringere Substratbedarf, was sie für Gegenden mit wenig Grünlandüberschuss beziehungsweise mit stark zersplitterten und weit voneinander entfernt liegenden Grünlandflächen interessant macht. Bei der Konzipierung der dezentralen Biogasanlagen wurde angenommen, dass sie zu 100 % mit Grassilage betrieben werden. Solche Anlagen sind bereits vereinzelt in Betrieb. Um den dabei bestehenden verfahrenstechnischen und gärbioologischen Herausforderungen (Kapitel 6.1.1) gerecht zu werden und eine stabile Biogasproduktion zu gewährleisten, ist eine besondere Anlagenausstattung erforderlich, was sich in höheren Investitionskosten widerspiegelt.

Im zweiten Konzept handelt es sich um eine für das Havelland typische Biogasanlage, die an eine erhöhte Grüngutzugabe angepasst wird und dementsprechend zusätzlich technisch nachgerüstet werden muss.

6.2.1 Beschreibung der Nutzungskonzepte im Untersuchungsgebiet

Biomassebereitstellung

Für den Bau von Biogasanlagen wurde nach den Ergebnissen des Kapitels 4 fünf mögliche Standorte identifiziert: Kremmen, Neuruppin, Fehrbellin, Friesack und Rathenow (Abbildung 6-7). Diese Standorte sind durch ihre Nähe zu den Flächen mit hohem energetisch nutzbarem Grünschnittpotenzial gekennzeichnet. Auch Wärmesenken, vor allem private Haushalte in nahe gelegenen Siedlungen, sind in ausreichendem Maß vorhanden.

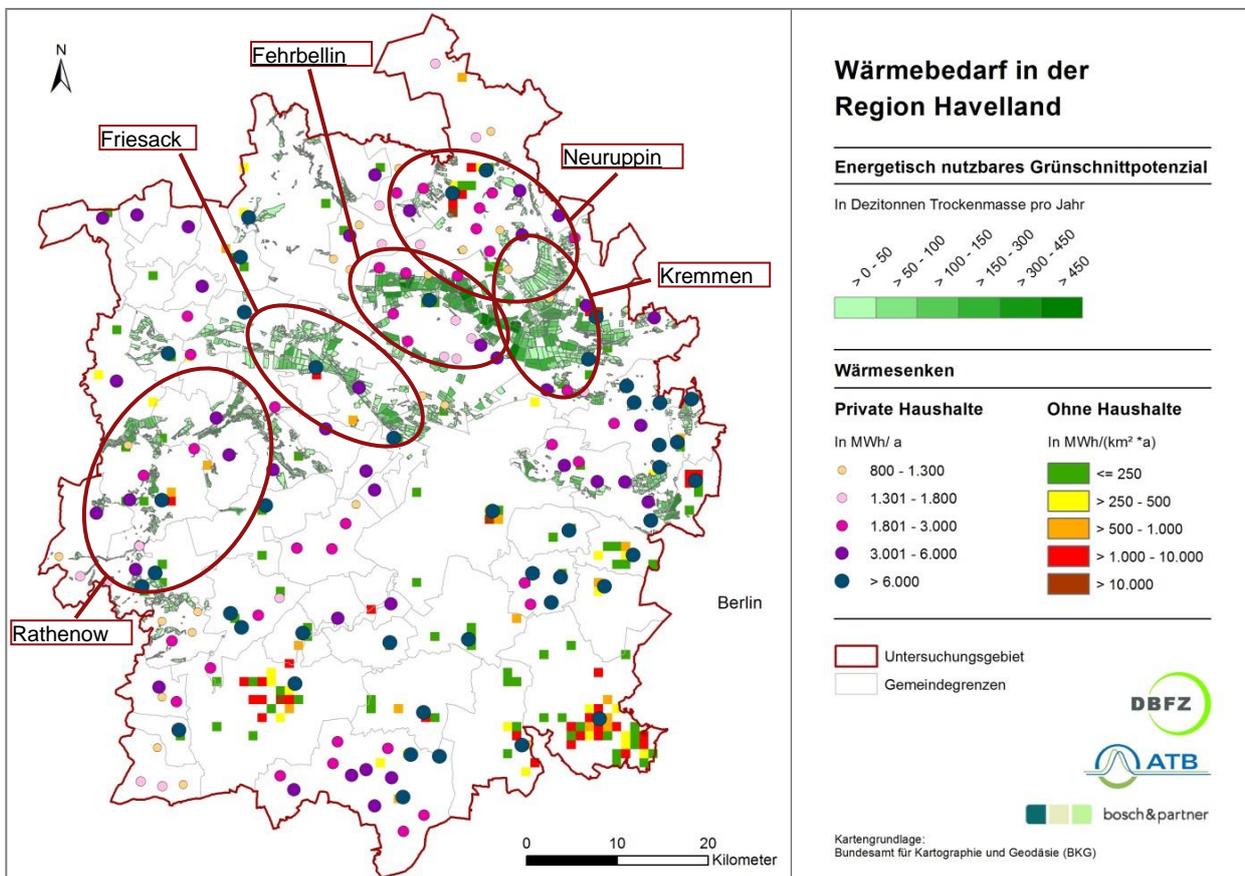


Abbildung 6-7: Potenzielle Standorte für neue dezentrale Biogasanlagen (Abbildung: ATB/DBFZ)

Zur Erfassung der Mengen an überschüssigem Grünschnitt in der Umgebung der jeweiligen Standorte, wurde die Software ArcGIS genutzt. Mit dessen Hilfe konnten die flächenspezifischen Grünlanderträge sowie die energetisch nutzbaren Grünschnittpotenziale in Abhängigkeit von der Transportentfernung festgestellt werden. Das Vorgehen hierzu erfolgt analog zu Kapitel 5.3.1.

Für die Kalkulation des Substratbedarfs wird eine Biogasausbeute von 150 m³/t FM angenommen. Entsprechend des Biomassepotenzials und den potenziellen Wärmesenken (vgl. die Kapitel 2.5 und

3.5) sollen vor allem Biogasanlagen mit einer elektrischen Leistung von 500 kW und 300 kW betrachtet werden. Für den Betrieb solcher Anlagen auf Basis von Gras werden ca. 13.400 t FM/a für die 500 kW_{el}-Anlage und für den Betrieb ca. 8.250 t FM/a für die 300 kW_{el}-Anlage benötigt. Am Substratbedarf und den Grünlanderträgen orientieren sich der Flächenbedarf sowie die Transportentfernung (Tabelle 6-2).

Tabelle 6-2: Transportentfernung und durchschnittliche Erträge verschiedener Biogasanlagenstandorte

BGA	Standort	Maximale Transportentfernung ^{a)} in km	Mittlere Transportentfernung ^{b)*} in km	Durchschnittlicher Ertrag bei der Ernte ^{c)} in t TM/ha	Notwendige Fläche ^{d)} in ha
300 kW _{el}	Fehrbellin	8	5	2,1	1.735
	Kremmen	11	8	2,0	1.842
	Friesack	13	9	1,6	2.201
	Neuruppin	16	11	2,0	1.842
	Rathenow	27	19	1,6	2.201
500 kW _{el}	Fehrbellin	11	8	2,0	2.874
	Kremmen	16	11	1,8	3.186
	Friesack	18	13	1,7	3.408
	Neuruppin	19	13	2,0	2.991

^{a)} Transportentfernung gem. Abbildung 6-8 ^{b)} Transportentfernung berechnet mit GIS ^{c)} entspricht dem erwarteten Grasertrag eines Schnittes, ohne Berücksichtigung der Ernteverluste ^{d)} unter der Voraussetzung, dass nur ein Schnitt in genannter Ertragshöhe für die Biogasproduktion verwendet wird; werden mehrere Schnitte eines Feldes als Biogassubstrat geerntet, reduziert sich die notwendige Fläche entsprechend

Entsprechend Tabelle 6-2 sowie folgender Abbildung 6-8, verfügt der Standort Fehrbellin über die höchsten Grünschnittpotenziale beziehungsweise über die geringsten Transportentfernungen um die erforderliche Menge bereitzustellen. Etwas weiter zerstreut liegen die überschüssigen Grünlandflächen um Kremmen und Friesack. Für die Substratbeschaffung am Standort Neuruppin besteht eine Entfernung von über 10 km zu den nächstgelegenen Grünlandflächen. Dabei muss bedacht werden, dass die Grünlanderträge sich nur auf den ersten Schnitt beziehen. Bei guter Substratqualität und leistungsfähiger Technologie kann gegebenenfalls ein zweiter Schnitt einbezogen werden, wodurch sich der Grünlandflächenbedarf und dadurch die mittlere Transportentfernung deutlich verringert.

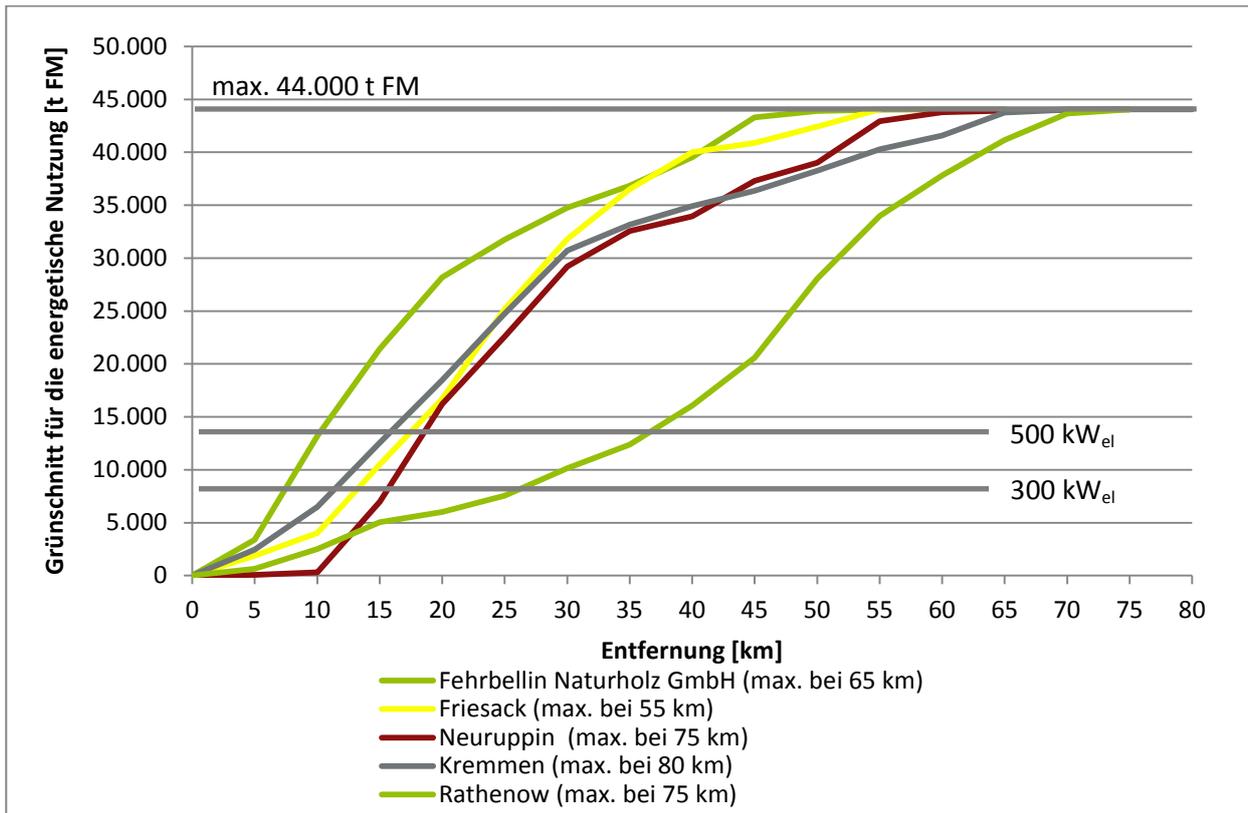


Abbildung 6-8: Standortspezifische Verfügbarkeit von Grünschnitt zur Biogasgewinnung (40 %) inkl. Bereitstellungsverluste (20 %) (Abbildung: DBFZ/ATB)

Der Standort Rathenow erweist sich mit einer durchschnittlichen Transportentfernung von maximal 37 km bei der 500 kW_{el}-Anlage als ungünstigster Standort. Daraus folgt, dass für den Standort Rathenow lediglich eine 300 kW-Anlage in Frage kommt, da sonst die Transportentfernungen keinen ökonomischen Anlagenbetrieb erwarten lassen (Tabelle 6-2). Für die restlichen vier Standorte können sowohl 300 kW_{el}-, als auch 500 kW_{el}-Anlagen geplant werden. Die gewählten Anlagengrößen und die vorhandenen Grünschnittüberschüsse erlauben es, in den ausgesuchten Standorten zur gleichen Zeit mehrere Biogasanlagen dieser Größenordnungen zu bauen.

Bereitstellungskosten des Grünschnittes

Aufgrund unterschiedlicher Biomasseerträge und Transportentfernungen müssen die Bereitstellungskosten für jeden Standort und die jeweilige Biogasanlage differenziert betrachtet und berechnet werden. Die Berechnung der Bereitstellungskosten wurde entsprechend dem Kapitel 5.3.2 durchgeführt. Zudem wurden speziell zur Grassilagebereitstellung unter anderem die Datensammlung des KTBL [9] zu Anschaffungspreisen, Nutzungsdauer, feste und variable Kosten landwirtschaftlicher Maschinen und Geräte herangezogen. In Tabelle 6-3 sind die Maschinenkombinationen aufgeführt, die für die Ernte und die Lagerung des Grünschnittes für die hier betrachteten Nutzungskonzepte zusammengestellt wurden.

Tabelle 6-3: Für die Bereitstellung des Grünschnittes eingesetzte Technik

Arbeitsgang	Maschine, Gerät
Mähen	Traktor 83 kW, Rotationsmäher 3,5 m
Wenden	Traktor 83 kW, Kreiselwender 7,5 m
Schwaden	Traktor 83 kW, Kreiselschwader 7,5 m ^{a)}
Häckseln	Häcksler 300 kW
Transportieren	Traktor 102 kW, zwei Kippanhänger (Doppelzug)
Verdichten des Substrates im Silo	Traktor 83 kW, Frontlader, Stalldungzange 1,5 m ³
Silage entnehmen und in Biogasanlage einbringen	Traktor 83 kW, Frontlader, Schneidzange 1,2 m ³

^{a)} Doppelschwad mit Seitenablage

Die Bereitstellungskosten wurden pro Tonne Substratinput frei Biogasanlage ermittelt, das heißt, unter Berücksichtigung der bei der Ernte und Silierung entstehenden Verluste. Nach Gesprächen mit Landwirten und Experten wurde angenommen, dass die Gesamtverluste bei 20 % der Trockenmasse liegen, wobei sich der Verlust auf 7 % auf dem Feld und auf 13 % während der Lagerung aufteilt. Der Zeitbedarf für Wartungsarbeiten und die Beseitigung von Störungen während der Durchführung von Feldarbeiten (inkl. Transport) wurde mit 40 % veranschlagt. Somit lag der Anteil der Hauptzeit (HZ) an der Gesamtarbeitszeit bei 60 %. Die Arbeitsgeschwindigkeit beim Mähen, Wenden und Schwaden wurde mit 8 km/h angesetzt. Der Massenstrom durch den Häcksler in der Hauptzeit wurde nach folgender Formel ermittelt, die aus Untersuchungen zur Ernte des Anwelkgutes mit einem 305-kW Häcksler stammt [178]:

$$\text{Massenstrom} \left[\frac{t_{TM}}{h_{HZ}} \right] = 4,76 * \text{Schwadstärke} \left[\frac{kg_{TM}}{m} \right] + 6,38$$

Die Schwadstärke lässt sich dabei aus den durchschnittlichen Erträgen unter Berücksichtigung der Feldverluste berechnen. Die Zeit für die Verdichtung des Welkgutes am Fahrsilo wurde mit 3,5 min/t gemäß Empfehlungen der DLG [179] gewählt. Der Arbeitszeitbedarf für die Entnahme der Grassilage aus dem Silo und das Befüllen der Biogasanlage beträgt 5,2 min/t [9].

In folgender Tabelle 6-4 sind die Verfahrenskosten der einzelnen Arbeitsschritte für die fünf gewählten Standorte dargestellt. Während die Kosten der Feldarbeiten bei den gewählten Standorten nur geringfügig voneinander abweichen, differieren die Transportkosten in beachtlichem Maß aufgrund der zum Teil gravierenden Unterschiede der Transportentfernung. Die Kosten des Einsilierens sind innerhalb einer Leistungsklasse identisch, da die Siloanlagen mit gleichen Abmessungen angenommen wurden. Für die Fahrsilos wurde angenommen, dass diese bereits bei den Betrieben vorhanden und abgeschrieben sind. Die Kosten des Einsilierens setzen sich folglich aus den Kosten für Verdichten, Nachwalzen, Abdecken des Siliergutes und den Kosten für Silofolien zusammen. Der Verbrauch und die Preise der Silofolie wurden dem DLG-Praxishandbuch für Futter- und Substrat-

konservierung entnommen [179]. Sollte ein landwirtschaftlicher Betrieb keine freien Silokapazitäten haben, müssen neue Siloanlagen geplant beziehungsweise ein alternatives Silierverfahren angewendet werden, was zu einer Steigerung der Silagekosten führt.

Tabelle 6-4: Bereitstellungskosten des Grünschnittes frei Biogasanlage in €/t FM Substratinput

Arbeitsgang	Standort	Fehrbellin	Kremmen	Friesack	Neuruppin	Rathenow
	Biogasanlage 500 kW _{el}					
Mähen		7,10	7,80	8,40	7,30	-
Wenden		3,50	3,90	4,20	3,70	-
Schwaden		4,10	4,50	4,80	4,20	-
Häckseln		6,80	7,30	7,60	7,00	-
Transport		8,40	10,80	12,30	12,20	-
Einsilieren ^{a)}		4,50				-
BGA beschicken ^{b)}		5,10				-
Gesamt:		39,50	44,00	47,00	44,10	-
Biogasanlage 300 kW _{el}						
Mähen		6,90	7,30	8,80	7,30	8,80
Wenden		3,40	3,70	4,40	3,70	4,40
Schwaden		4,00	4,20	5,00	4,20	5,00
Häckseln		6,70	7,00	7,90	7,00	7,90
Transport		6,20	8,50	9,40	10,70	16,90
Einsilieren ^{a)}		4,70				
BGA beschicken ^{b)}		5,10				
Gesamt:		37,00	40,50	45,30	42,70	52,70

^{a)} Einsilieren, inkl. Silofolien und Nachwalzen ^{b)} Entnahme der Silage aus dem Silo und Einbringung in den Fermenter

Die gesamten Bereitstellungskosten des Grünschnittes belaufen sich auf 39,50 bis 47,00 €/t FM für 500 kW_{el}-Anlagen und auf 37,00 bis 52,70 €/t FM für 300 kW_{el}-Anlagen. Den absolut höchsten Wert weist - wie erwartet - der Standort Rathenow auf, da hier gleichzeitig die geringsten Biomasseerträge vergleichbar mit dem Standort Friesack bei kleinerer Biogasanlage und die höchsten Transportentfernungen zu verzeichnen sind. Die Maissilage wird nach den Angaben vieler befragter Landwirte

im Havelland für den Preis von ca. 30,00, maximal aber 35,00 €/t geerntet, was auch den nach KTBL berechneten Kosten entspricht.

Maßgeblich für die Kosten der Substratbereitstellung ist auch die dabei anfallende Flächenprämie. Infolge der Reformierung der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU soll bis 2013 ein Umstieg auf eine allgemeine Flächenprämie erfolgen. Das heißt, dass Ackerfläche und Grünlandflächen hinsichtlich der Prämienhöhe angeglichen werden sollen. Fachleute rechnen mit einer Prämie in Höhe von 200 bis 240 €/ha [180], wobei diesbezüglich noch Unsicherheiten bestehen. Unter der Annahme, dass nur einer von zwei Schnitten der betrachteten Grünlandflächen für die Biogasproduktion verwendet wird, können 100 €/ha Flächenprämie für die Substratbereitstellung zur Biogaserzeugung angerechnet werden. Dadurch reduzieren sich die Bereitstellungskosten deutlich. Für 500 kW-Anlagen liegen sie dann im Bereich von 18,10 bis 21,80 € und für 300 kW-Anlagen zwischen 16,00 und 26,00 €/t Substratinput (FM). Die Gewährung von Flächenprämien hat demnach einen entscheidenden Einfluss auf die Bereitstellungskosten des Grünschnittes und somit auf die Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung aus diesem Rohstoff.

Nutzungskonzept I: Dezentrale Biogasanlagen auf Basis von Gras und Schilf

Für die Kalkulationen der 300 kW_{el} und der 500 kW_{el} Biogasanlagen werden in folgender Tabelle 6-5 die grundlegenden technischen Annahmen dargestellt, die aus Gesprächen mit Experten hervorgingen.

Tabelle 6-5: Angenommene Werte für die dezentrale Biogasproduktion

Parameter	Einheit	Wert
Biogasausbeute der Grassilage	m ³ _N /t oTM	480
	m ³ _N /t FM	150
Methangehalt	%	52
Ausfall der Biogasproduktion, störungsbedingt	%	5
BHKW-Wirkungsgrad (elektrisch/ thermisch)		
	bei 500 kW-Anlagen	38 / 43
bei 300 kW-Anlagen	37 / 42	
BHKW-Vollbenutzungsstunden	h/a	7.500

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind außer Substratbereitstellungskosten und Effizienz der Biogasgewinnung auch die jährlichen Fixkosten der Biogasanlagen von großer Bedeutung. In Tabelle 6-6 wurden übliche Werte aus Praxis und Literatur sowie aktuelle Marktpreise zusammengestellt. Die Tatsache, dass die geplanten Biogasanlagen ausschließlich mit Grünschnitt betrieben werden, spiegelt sich in den hohen Investitionskosten pro Kilowatt installierter elektrischer Leistung, der verkürzten Laufzeit der Biogasanlage und im erhöhten Eigenstromverbrauch für Antrieb der Pumpen und Rührwerke wider.

Tabelle 6-6: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitskalkulation der Biogasanlagen

Parameter	Einheit	Wert
Investitionskosten: Biogasanlage	€/kW _{el}	5.500 ^{a)} bzw. 6.000 ^{b)}
Nahwärmeleitung	€/m	90 ^{c)}
Hausübergabestation	€/Anschluss	1.700 ^{c)}
Zinssatz	%	5
Laufzeit: Biogasanlage	a	15
Nahwärmenetz	a	30
Reparatur/Wartung ^{d)} : Bauteile	%	1 ^{e)}
Technik, inkl. BHKW	%	4 ^{e)}
Nahwärmenetz	%	1
Arbeitszeitbedarf	Akh/kW _{el}	4,0 ^{a)} bzw. 4,6 ^{b)}
Lohnkosten	€/h	20
Stromverbrauch (Zukauf) ^{f)}	%	12
Strompreis	€/kWh _{el}	0,20
Versicherung, Laboranalysen, Sonstiges ^{d)} : Biogasanlage	%	2
Nahwärmenetz	%	1
Gärrestausbringung ^{g)}	€/t	4,50 ^{a)} bzw. 4,00 ^{b)}
Wärmeverkauf	€/kWh _{th}	0,06

^{a)} für 500 kW_{el}-Anlagen ^{b)} für 300 kW_{el}-Anlagen ^{c)} inkl. Zuschüsse ^{d)} bezogen auf die jeweilige Investition ^{e)} Investitionskosten für Biogasanlage: 55 % Gebäude und Bauteile, 45 % technische Ausrüstung ^{f)} bezogen auf gewonnene und eingespeiste Strommenge ^{g)} bei 60 %-iger Abbaurrate der Trockenmasse

Die Erlöse für Strom erzielt ein Anlagenbetreiber aus den Vergütungen nach EEG 2012, wobei für die Nutzung von Gras, im Sinne von Landschaftspflegegras, eine erhöhte Vergütung entsprechend der Einsatzstoffvergütungskategorie II nach BiomasseV 2012 gewährt wird [153]. Als Inbetriebnahmejahr wurde 2012 gewählt, was ebenfalls einen Einfluss auf die Höhe der Vergütung hat (jährliche Degression um 2 %). Voraussetzung für die EEG-Förderung ist u.a. eine mindestens 60 %-ige Nutzung der bei der Stromproduktion anfallenden Wärme. 25 % der anfallenden Wärme lassen sich zur Beheizung des Fermenters anrechnen. Die restlichen 35 % der Abwärme können verkauft werden, wofür ein Preis von 0,06 €/kWh_{th} unterstellt wurde. Mit dieser Wärme sollen nahe liegende Häuser zur Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung beliefert werden. Dafür ist eine Nahwärmeleitung mit Hausübergabestationen vorgesehen. Es wurde unterstellt, dass die Entfernung vom BHKW bis zum ersten angeschlossenen Haus etwa 300 m und zwischen den Häusern 30 m beträgt. Der Wärmebedarf eines Hauses wurde aus der Regionsanalyse (Tabelle 3-1) übernommen und beträgt rund 150 kWh_{th}/m²*a⁻¹. Die durchschnittliche Wohnfläche der Häuser im Untersuchungsgebiet wurde anhand statistischer Daten zur Wohnsituation und zum Wohnbestand [181] ermittelt und beläuft sich auf ca. 145 m². Aus diesen Angaben wurden die Zahl der beheizten Häuser sowie die Länge der Nahwärmeleitung errechnet.

Nutzungskonzept II: Umrüstung vorhandener Biogasanlagen

Eine Alternative zum Bau einer neuen Biogasanlage ist die Umrüstung einer bestehenden Anlage auf einen verstärkten Einsatz an Grüngut. Für die Bewertung dieses Nutzungskonzeptes wurde eine Biogasanlage mit den für das Havelland durchschnittlichen Parametern gewählt (siehe Kapitel 3.4.3). Diese beispielhafte Biogasanlage hat eine Leistung von 500 kW_{el} und wird mit den in Tabelle 6-7 dargestellten Substraten betrieben.

Tabelle 6-7: Substrate einer typischen 500 kW_{el} Biogasanlage im Havelland

Substrat	Masse [t FM/d]
Rindergülle	18,9
Maissilage	18,5
Grassilage	2,6
Getreidekorn	1,7
Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS)	1,3
Gesamt	43,0

Die aufgeführten Substratmengen wurden anhand der gewählten Anlagengröße (500 kW_{el}) sowie der Befragungsergebnisse, dargestellt in Abbildung 6-2, berechnet.

Es wurde angenommen, dass der Grünschnitt von überschüssigen Flächen einen Teil der Maissilage ersetzt. Die Substitution von Mais soll dazu dienen, die teilweise angespannte Situation („Vermassung der Landschaft“) sowie den ökonomischen Anlagenbetrieb zu verbessern. Um laufende Vergärungsprozesse im Fermenter nicht zu gefährden, sollte der Grassilageanteil stufenweise auf maximal 50 % der Maismenge erhöht werden. Sinnvoll für dieses Vorhaben erscheint die Nachrüstung einer bestehenden Biogasanlage mit einer Hydrolyse- und Versäuerungseinheit, die dem eigentlichen Prozess der Methanbildung im Fermenter vorgeschaltet wird. Die silierte halmgutartige Biomasse wird zuerst in den Hydrolysebehälter eingebracht, der aus Stahlbeton oder Edelstahl gebaut und mit Heiz- und Rührtechnik ausgestattet ist. Hier beginnt die erste Stufe des Biogasbildungsprozesses, die Hydrolyse. Dabei bauen aerobe Bakterien hochmolekulare organische Substanzen (Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße) mit Hilfe von Enzymen in niedermolekulare Verbindungen um. Auch die zweite Stufe, die Versäuerung, findet im Hydrolysebehälter statt, wobei aus den Produkten der Hydrolyse kurzkettige organische Säuren, Alkohole, Kohlenstoff und Wasserstoff entstehen. Mit Hilfe einer Pumpe und Rohrleitungen wird versäuerte Biomasse aus dem Hydrolysebehälter zur Beschickung des Fermenters geleitet, in welchem die beiden anschließende Stufen der Biogasgewinnung verlaufen – die Essigsäure- und die Methanbildung.

Bei den pflanzlichen Substraten, die einen hohen Zellulose- und Hemizellulosegehalt aufweisen, ist die Hydrolyse der geschwindigkeitsbestimmende Schritt im Entstehungsprozess des Biogases [75] und

spielt daher eine besonders wichtige Rolle. Durch räumliche Trennung der Hydrolyse und der Versäuerung einerseits sowie den nachfolgenden Abbaustufen andererseits werden optimale Lebensbedingungen (pH-Wert, Sauerstoffmenge, Temperatur) für die Bakterien der einzelnen Stufen gewährleistet, was zu einem besseren biologischen Aufschluss faserreicher Substrate und einer Reduzierung von Schwimmschichten im Fermenter führt.

In folgender Tabelle 6-8 werden die für die Biogasanlage getroffenen technischen Annahmen dargestellt.

Tabelle 6-8: Angenommene Werte für eine bestehende Biogasanlage

Parameter	Einheit	Wert
Massenanteil ^{a)} : Rindergülle	%	44
Maissilage	%	43
Grassilage	%	6
Getreidekorn	%	4
Getreide-GPS	%	3
Biogasausbeute: Rindergülle	m _N ³ /t oTM (m _N ³ /t FM)	380 (30)
Maissilage	m _N ³ /t oTM (m _N ³ /t FM)	600 (173)
Grassilage	m _N ³ /t oTM (m _N ³ /t FM)	480 (150)
Getreidekorn	m _N ³ /t oTM (m _N ³ /t FM)	730 (616)
Getreide-GPS	m _N ³ /t oTM (m _N ³ /t FM)	620 (194)
Methangehalt: Rindergülle	%	55
Mais- und Grassilage, Korn	%	52
Getreide-GPS	%	53
Ausfall der Biogasproduktion, störungsbedingt	%	5
BHKW-Wirkungsgrad (elektrisch/ thermisch)	%	38 / 43
BHKW-Vollbenutzungsstunden	h/a	7.500

^{a)} Massenanteil des jeweiligen Substrates an der gesamten Substratmischung, entstammt den durchgeführten Erhebungen zum Substrateinsatz in der Havelregion (vgl. Abbildung 6-2)

Die Umrüstung einer Anlage ist mit finanziellen Aufwendungen verbunden, die vor allem für den Bau des Hydrolyse-Behälters aufkommen. Aber auch weitere technische Ausrüstungskomponenten wie Heizung, Steuerung, Rohrleitungen und Pumpen müssen eingeplant werden. Die den ökonomischen Kalkulationen der Nachrüstung zugrunde liegenden Parameter sind der Tabelle 6-9 zu entnehmen.

Tabelle 6-9: Hauptbestandteile der jährlichen Kosten einer 500 kW_{el}-Biogasanlage

Parameter	Einheit	Wert
Investitionskosten: Biogasanlage	€/kW _{el}	3.500
Hydrolyse - Behälter	€	250.000
Hydrolyse - technische Ausrüstung	€	50.000
Zinssatz	%	5
Laufzeit: Biogasanlage	a	15
Hydrolyse - Behälter	a	20
Hydrolyse - technische Ausrüstung	a	10
Reparatur/Wartung ^{a)} : Bauteile, inkl. Hydrolyse - Behälter	%	1
Technik, inkl. BHKW und technische Ausrüstung der Hydrolyse	%	4
Arbeitszeitbedarf	Akh/kW _{el}	4,0
Lohnkosten	€/h	20
Stromverbrauch ^{b)} : ohne Hydrolyse	%	9,0
mit Hydrolyse	%	10,5
Strompreis	€/kWh _{el}	0,20
Versicherung, Laboranalysen, Sonstiges ^{c)} :	%	2
Gärrestausbringung ^{d)}	€/t	4,0

^{a)} bezogen auf die jeweilige Investition; Investitionskosten für Biogasanlage werden zu 55 % dem Gebäude und den Bauteilen und zu 45 % der technischen Ausrüstung zugewiesen ^{b)} zugekaufte Strommenge in Relation zur eingespeisten Strommenge
^{c)} betrifft nur die Investition in die Biogasanlage ^{d)} Abbaurate der Trockenmasse: Rindergülle 33 %, Maissilage 70 %, Grassilage und Getreide-GPS 60 %, Getreidekorn 81 % [182]

Die Vergütung des in einer bestehenden Biogasanlage produzierten Stroms erfolgt nach dem EEG 2009. Dabei stehen dem Anlagenbetreiber die Grundvergütung und der Bonus für nachwachsende Rohstoffe zzgl. einer erhöhten Vergütung für den Einsatz (über 30 Masse-%) von Gülle zu [EEG 2009]. Als Inbetriebnahmejahr wurde 2009 gewählt.

6.2.2 Bewertung der Nutzungskonzepte

Technische Bewertung

Die Verwertung halmgutartiger Biomasse für die Biogaserzeugung eröffnet gute Perspektiven zur energetischen Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe, stellt aber gleichzeitig hohe Ansprüche an die Verfahrenstechnik.

Bei der Ernte kann die zeitlich limitierte Befahrbarkeit von extensiven Grünlandflächen, die hin und wieder durch Überschwemmungen erschwert wird, einschränkend wirken. Dadurch verzögern sich die Erntetermine, was wiederum zu ungünstigen Vergärungseigenschaften und verminderten Gasausbeuten des Grünschnitts führt. Eine hohe Inhomogenität des Aufwuchses und häufig anzutreffende Unebenheiten der Feldoberfläche verursachen außerdem eine Verschmutzung des Materials mit Sand

und Steinen. Dem kann mit einer erhöhten Schnitthöhe von über 10 cm entgegengesteuert werden, was jedoch wiederum zu Ertragseinbußen führt. Die eventuell notwendigen niedrigen Arbeitsgeschwindigkeiten und häufigen Ausfälle können einzelne Erntevorgänge in die Länge ziehen, was im Endeffekt höhere Bereitstellungskosten des Substrates zur Folge hat. Hier empfiehlt sich der Einsatz moderner Landmaschinenteknik wie Mähwerke mit optimierter Boden Anpassung oder angepasste Zinkenformen bei Schwadern, um eine höhere Zuverlässigkeit und Qualität der Arbeit sicherzustellen.

Die Einlagerung von Anwelksilage muss zügig und verlustarm erfolgen, was eine gute Abstimmung zwischen den Arbeitsschritten Häckseln, Transport und Verdichten im Silo erfordert. Auch der Silierprozess an sich kann zu einer Herausforderung werden, wenn beispielsweise Zucker- oder Proteingehalte im Erntegut zu gering oder der Trockensubstanzgehalt zu hoch sind. Ersteres beeinträchtigt die Milchsäurebildung und somit die schnelle Konservierung der Silage. Ein zu hoher Trockensubstanzgehalt verursacht vor allem Probleme bei der Verdichtbarkeit des geernteten Materials. In diesen Fällen ist der Zusatz von Siliermitteln ratsam, um Fehlgärungen im Silo vorzubeugen. Eine luftdichte Abdeckung muss während der gesamten Lagerungszeit gewährleistet werden. Ein ausreichender Vorschub bei der Entnahme aus dem Silo sowie geeignete Entnahmegерäte wie Silage-Fräsen oder Silage-Schneidzangen verhindern eine schnelle Nachgärung der Silage.

Da Gras zu Verfilzung und Verklumpung neigt, ist mit Störanfälligkeiten in der Fördertechnik zu rechnen. Um diese Störungen zu minimieren, ist es wichtig, auf eine möglichst kurze Halmlänge des Grünguts zu achten. Die mechanische Zerkleinerung kann während der Ernte oder unmittelbar vor dem Zuführen des Substrates in die Biogasanlage erfolgen. Zusätzlich sollten bei höheren Grasanteilen robuste und verschleißfeste Eintragsysteme und Förderschnecken mit großem Durchmesser eingeplant werden. Auch die Überlaufrohre zwischen den Gär- und Lagerbehältern sollten etwas größer dimensioniert werden, als es bei Gülle basierten Biogasanlagen üblich ist. Das Mischen des Materials im Fermenter wird durch den hohen Fasergehalt erschwert. Daher erweisen sich langsam laufende, großflügelige Rührwerke als vorteilhaft. Insgesamt bedarf es mehreren technischen Erweiterungen für die Nutzung von Gras und Schilf. Dafür existieren bereits marktreife Ansätze, welche die damit verbundenen technischen Probleme hinreichend verringern. Der mit den erhöhten Anforderungen an die Anlagentechnik verbundene Mehraufwand an Geldmitteln und Prozessenergie bedarf jedoch einer wirtschaftlichen Überprüfung.

Bei der Umstellung einer Biogasanlage auf einen verstärkten Einsatz von faserreichem Grünschnitt muss beachtet werden, dass bei derzeitiger Aufbereitungstechnik die Gasausbeute gegenüber Mais-silage deutlich geringer ist. Daher müssen höhere Mengen an Grünschnitt in die Biogasanlage eingebracht werden, um gleich hohe Strommengen zu produzieren. Bei den in dieser Studie angenommenen Gasausbeuten von entsprechend 150 m_N^3 und $173 \text{ m}_N^3/ \text{ t FM}$ Gras- und Maissilage (vgl. Tabelle 6-8) werden $1,16 \text{ t FM}$ Grassilage benötigt, um 1 t FM Maissilage zu ersetzen. Damit einhergehend ist auch ein höherer Raumbedarf in Silo und Fermenter. Das dafür erforderliche Mehrvolumen des Fermenters kann allerdings bei einer vorgeschalteten Hydrolyse eingespart werden, denn dadurch werden die Abbauprozesse beschleunigt und die Verweilzeit des Substrates im Fermenter vermindert.

Ökonomische Bewertung

Nutzungskonzept I: Dezentrale Biogasanlagen auf Basis von Gras und Schilf

Die Wirtschaftlichkeitsbewertung der beiden Biogasanlagengrößen 500 kW_{el} und 300 kW_{el} an den fünf Standorten werden mittels einer Annuitätenrechnung miteinander verglichen. Die dafür erforderlichen Angaben sind bereits in Tabelle 6-6 dargestellt.

Für die wirtschaftliche Bewertung der Biogaserzeugung werden die Substratbereitstellungskosten sowie die Jahresergebnisse angegeben. Dabei erfolgt eine Darstellung einschließlich der Flächenprämie sowie auch ohne diese, da diese noch erheblichen Unsicherheiten unterliegen. Der niedrigste Wert entspricht den Substratbereitstellungskosten von Fehrbellin, der höchste den Substratbereitstellungskosten des ungünstigsten Standorts. Außer den Substratbereitstellungskosten bleiben die weiteren jährlichen Kosten und Erlöse über die einzelnen Standorte hinweg konstant.

Tabelle 6-10: Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung aus Gras an den gewählten Standorten (Angaben als Annuität)

Parameter	Einheit	500 kW _{el} - BGA	300 kW _{el} - BGA
Biogasanlage:			
Investitionskosten	€/a	264.930	173.250
Reparatur/Wartung	€/a	64.610	42.260
Lohnkosten	€/a	40.420	27.590
Stromkosten (Zukauf)	€/a	90.000	53.950
Versicherung, Analysen, Sonstiges	€/a	55.000	35.970
Wärmenetzkosten, gesamt	€/a	27.510	17.040
Gärrestausbringung	€/a	47.640	26.070
Gesamtkosten (ohne Substrat)	€/a	590.110	376.130
<hr/>			
Substratkosten: ohne Flächenprämie	€/a	529.670 – 629.730	305.310 – 434.860
mit Flächenprämie ^{a)}	€/a	242.300 – 291.600	131.780 – 214.780
<hr/>			
EEG-Grundvergütung	€/a	487.510	302.770
EEG-Zusatzvergütung ^{b)}	€/a	299.980	179.830
Wärmeverkauf	€/a	89.110	53.590
Gesamterlöse	€/a	876.600	536.190
<hr/>			
Ergebnis: ohne Flächenprämie	€/a	-243.180 - -343.240	-145.250 - -274.800
mit Flächenprämie ^{a)}	€/a	-5.110 - 44.190	-54.720 - 28.280
<hr/>			
Stromgestehungskosten:			
ohne Flächenprämie	ct/kWh _{el}	27,48 – 30,15	27,90 – 33,69
mit Flächenprämie ^{a)}	ct/kWh _{el}	19,82 – 21,14	20,19 – 23,90
<hr/>			
EEG-Vergütung	ct/kWh _{el}	21,00	21,47

^{a)} anteilige Flächenprämie von 100 €/ha ^{b)} Grünschnitt von maximal zweischürigem Grünland gilt als Einsatzstoff der Vergütungskategorie II gem. Anlage 3 der Biomasseverordnung [153], [157]

Aus Tabelle 6-10 ist ersichtlich, dass die Substratkosten im Durchschnitt genauso hoch sind wie die Anlagenkosten inklusive der Kosten für die Wärmeverteilung und die Gärrestausrückführung. Diese machen somit rund 50 % der jährlichen Kosten aus. Die Standortwahl hat somit einen großen Einfluss auf die gesamte Wirtschaftlichkeitsbewertung. Die Flächenprämien stellen eine Bedingung für den wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen dar. Bei einem Schnitt pro Jahr und der damit anteiligen 100 €/ha Flächenprämie erzielt die 500 kW_{el}-Anlage an den Standorten Fehrbellin nach der Annuitätenmethode einen Jahresüberschuss von 44.190 € beziehungsweise 15.990 € am Standort Kremmen. Bei einer 300 kW_{el}-Anlage verzeichnen drei Standorte einen positiven Jahresüberschuss: Fehrbellin mit 28.280 €, Kremmen mit 10.360 € und Friesack mit 6.700 €/a. Die Standorte Neuruppin und Rathenow erweisen sich aus wirtschaftlicher Sicht als ungeeignet für die Biogasproduktion aus Gras. In Friesack kann nur mit der kleineren Anlagegröße ein positiver Jahresüberschuss erzielt werden.

Ein wichtiger Kennwert der Wirtschaftlichkeitsbewertung von Energieerzeugungsanlagen sind außerdem die Stromgestehungskosten. Sie ergeben sich aus der Summe aller jährlichen Kosten, abzüglich der Wärmeerlöse, geteilt durch die im Jahr produzierte Strommenge [183]. Für den wirtschaftlich vorteilhaftesten Standort, Fehrbellin, ergeben sich unter Einbeziehung der Flächenprämie Stromgestehungskosten in Höhe von 19,8 ct/kWh bei der 500 kW_{el}-Biogasanlage. Bei der dafür relevanten EEG-Vergütung in Höhe von 21,0 ct/kWh liegen die jährlichen Erlöse somit bei 44.000 € über den entsprechenden Kosten. Am gleichen Standort liegen die Stromgestehungskosten der 300 kW_{el}-Biogasanlage bei 20,19 ct/kWh, denen 21,47 ct/kWh EEG-Vergütung gegenüberstehen.

Um darzustellen, wie groß der Einfluss einzelner Parameter auf die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion ist, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Beispielhaft wurde dafür die 500 kW_{el}-Anlage am Standort Kremmen gewählt, da sie über mittlere Kennwerte verfügt. Bei der Darstellung der Ergebnisse aus der Sensitivitätsanalyse wurden nur diejenigen Änderungen der Einflussparameter gezeigt, die deutliche Auswirkungen auf den Jahresüberschuss nach der Annuitätenmethode erwarten lassen. Dabei wurde jeder der betrachteten Parameter individuell verändert, während die weiteren Parameter konstant blieben (*ceteris paribus*) (Abbildung 6-9).

Der steile Verlauf der Bereitstellungskostengerade zeigt, dass der Einfluss der Substratkosten auf den wirtschaftlichen Erfolg der geplanten Anlagen am größten ist. Bereits eine 5 %-ige Minderung der Substratkosten führt zu einer Erhöhung des Jahresüberschusses um rund 25.000 €. Eine gegenteilige Entwicklung der Substratkosten verringert den zu erwartenden Jahresüberschuss entsprechend.

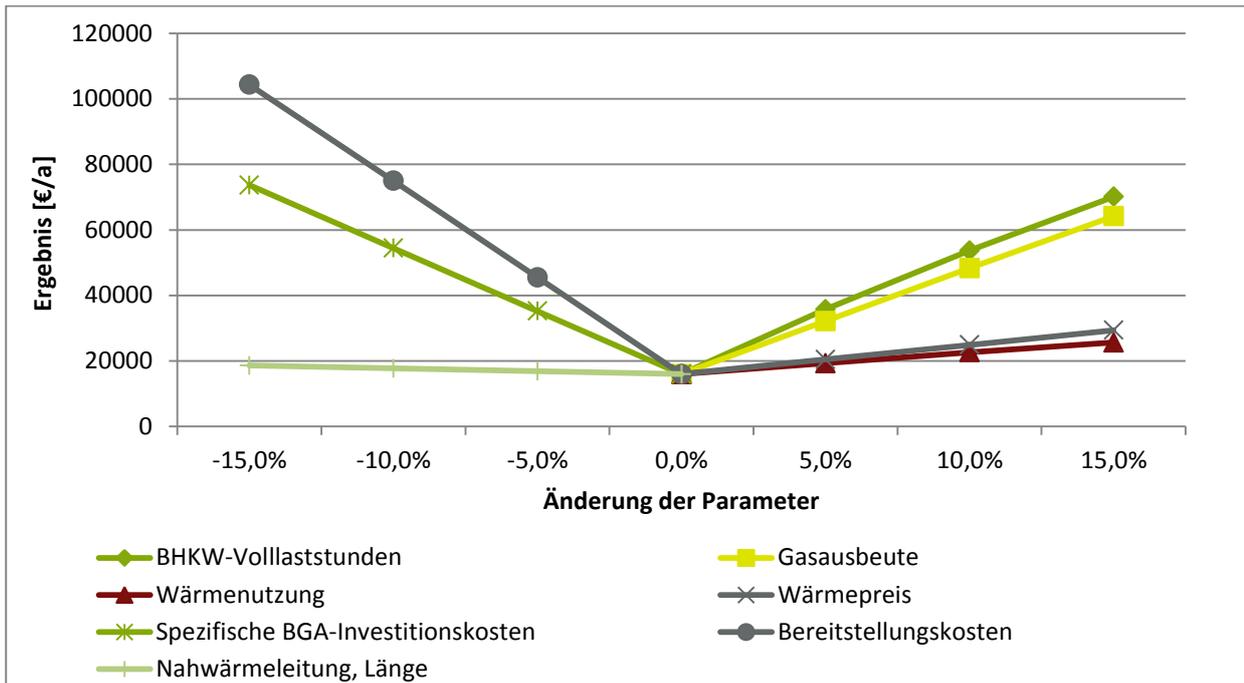


Abbildung 6-9: Einfluss ausgewählter Parameter auf die Wirtschaftlichkeit am Beispiel der 500 kW_{el}-Biogasanlage am Standort Kremmen

Für die wirtschaftliche Optimierung steht daher die Senkung der Substratkosten entsprechend Abbildung 6-9 im Vordergrund. Dabei sollten vor allem den folgenden Ansätzen nachgegangen werden:

- Flächenertrag steigern
- Qualität des Substrats erhöhen
- Maschinenkombination effizienter gestalten
- Transportdistanz reduzieren
- Gewinnungs- und Lagerverluste reduzieren

Einen etwas geringeren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben die Höhe der Investitionskosten, die Vollbenutzungsstunden des BHKW und die erzielten Gasausbeuten. Trotzdem bewirkt bereits eine 5 %-ige Änderung dieser Parameter eine Verdoppelung des ursprünglich erwarteten Jahresüberschusses. Die spezifischen Investitionskosten üben verständlicherweise einen umgekehrten Einfluss aus. Gelingt es einem Anlagenbetreiber die Investitionen in die Biogasanlage zu reduzieren, sei es mit hohem Engagement bei Planung und Genehmigungsverfahren oder durch Übernahme eines Eigenanteils bei den Bauarbeiten, werden die entsprechenden Annuitäten geringer, was zu einem höheren Jahresüberschuss führt.

Die durchgeführte Sensitivitätsanalyse zeigt auch, dass die Wärmeverwertung eine vergleichsweise geringe Bedeutung hat. Die Länge der Nahwärmeleitung, der Wärmepreis und der Anteil der Wärmenutzung haben einen vergleichsweise geringen Einfluss auf den durchschnittlichen Jahresüberschuss, was dem leicht geneigten Verlauf der entsprechenden Kurven auf Abbildung 6-9 zu entnehmen ist. Trotzdem sorgt auch hier eine 5 %-ige Steigerung der Wärmepreise beziehungsweise Wärmenutzung

für einen mehr als 20 % höheren Gewinn. Den geringsten Einfluss unter allen untersuchten Parametern haben die Baukosten der Nahwärmeleitung.

Nutzungskonzept II: Umrüstung vorhandener Biogasanlagen

Bei der ökonomischen Bewertung des Nutzungskonzepts II wurden die jährlichen Kosten der Biogasgewinnung vor und nach der Umrüstung ermittelt. Die jährlichen Erlöse bleiben auf gleichem Niveau, da sich die Größe der Anlage und die produzierte Methanmenge nicht ändern. Infolge der Inbetriebnahme einer Hydrolyse- und Versäuerungseinheit ist eine Steigerung der jährlichen Kosten um ca. 7 % zu verzeichnen. Da Mais das am meisten genutzte pflanzliche Substrat in Biogasanlagen ist, wurde die ökonomische Bewertung auf den Vergleich mit diesem Einsatzstoff begrenzt. Andere pflanzliche Substrate spielen im Havelland, wie auch bundesweit, eine deutlich geringere Rolle (vgl. Kapitel 6.1.4). Die Menge an eingesetztem Wirtschaftsdünger bleibt bei bestehenden Anlagen eher unverändert, da sie einen kostenneutralen Reststoff aus der Tierhaltung darstellen und positiv auf die Vergärungsprozesse im Fermenter wirken. Es sei denn, die Tierhaltung wurde im betreffenden Betrieb aufgegeben und es steht somit kein Wirtschaftsdünger mehr zur Verfügung.

Bei der Zuführung kleiner Grasanteile, bei denen keine technischen Anlagenerweiterungen notwendig sind, ist das Substitutionsverhältnis von Gras und Mais an den Gasausbeuten messbar. Die Gasausbeute aus Grünschnitt von extensiven Flächen ist geringer als die aus Mais. In der vorliegenden Studie beläuft sich die Gasausbeute aus Mais auf 86 % (vgl. Tabelle 6-8). Demzufolge macht die Substitution von Mais durch Gras aus betriebswirtschaftlicher Sicht nur Sinn, wenn der maximale Preis der Grassilage bei 86 % des Preises der Maissilage liegt. Dieses Preisverhältnis zwischen der Mais- und Grassilage ist in Abbildung 6-10 dargestellt. Der Status quo steht dabei für den theoretischen Fall, dass die Maissilage durch Grassilage ersetzt wird, ohne dass zusätzliche Aufwendungen in die technische Umrüstung beziehungsweise andere biologische oder chemische Verfahren unternommen wurden. In der Praxis ist das nur möglich, wenn lediglich geringe Mengen an Maissilage ersetzt werden und die Grassilage eine hohe Qualität hat. In diesem Fall darf der maximale Grassilagepreis 26 €/t FM bei Maissilagepreisen von 30 €/t FM beziehungsweise 35 €/t FM bei Maissilagepreisen von 40 €/t FM betragen (Abbildung 6-10).

Für höhere Grasanteile werden technische Umrüstungen nötig. Die Investitionen in die vorgeschaltete Hydrolyse und weitere technische Erweiterungen müssen sich durch günstigere Substratpreise von Gras gegenüber Mais bezahlt machen. Je mehr Grassilage anschließend verwendet wird, desto geringer darf die Differenz zwischen den Mais- und Grassilagepreisen ausfallen. Bei Maissilagepreisen von 30 €/t FM darf die Grassilage nicht teurer als 16 €/t FM frei Anlage sein, wenn 50 % der ursprünglichen Maismengen ersetzt werden¹³. Bei einem 25 %-igen Austausch der Maismengen darf der maximale Grassilagepreis bei 10 €/t FM liegen (Abbildung 6-10).

¹³ Bei der betrachteten Biogasanlage bedeutet ein 50 %-iger Austausch der Maismengen, dass täglich statt der ursprünglichen 18,5 t lediglich 9,3 t FM Maissilage verwendet werden. Die Grassilagemengen steigen von 2,6 auf 13,2 t FM/d. Somit liegt der tägliche Substratinput mit 44,4 t FM um 1,4 t FM höher als vor der Nachrüstung.

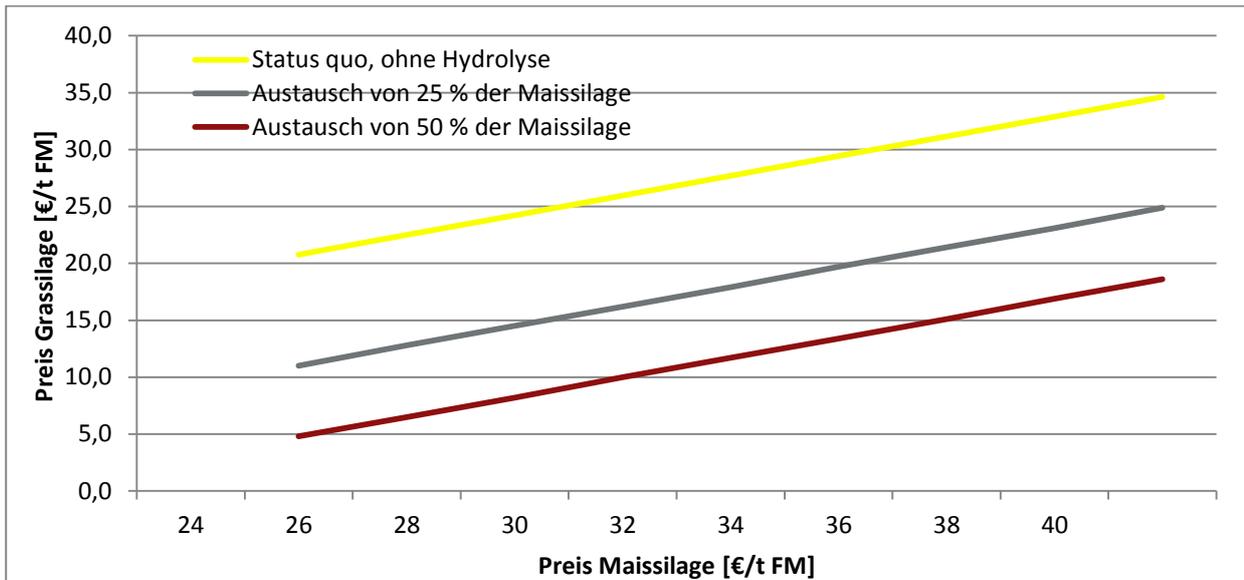


Abbildung 6-10: Maximale Zahlungsbereitschaft für Grassilage in Abhängigkeit vom Preis für Maissilage von einer bestehenden Biogasanlage (Abbildung: ATB)

Abbildung 6-10 macht deutlich, dass die Umrüstung einer Biogasanlage gerade bei steigenden Preisen für Maissilage rentabel sein kann. Bei derzeitigen Maissilagepreisen von rund 30 €/t FM lohnt sich die teilweise Substitution mit Gras von extensiven Flächen daher nur für den Fall, dass deren Beschaffungskosten unter 26 €/t FM liegen. Derzeit trifft dies nur auf wenige Flächen zu. Sollten die ursprünglichen Substrate wie Mais nicht mehr im gewünschten Maß vorhanden sein beziehungsweise deren Preis steigen, dann kann Gras von extensiven Flächen aus betriebswirtschaftlichen Gründen eine gute Option sein.

Bei zukünftig erwarteter Flächenprämie haben die Berechnungen der Bereitstellungskosten für Grassilage gezeigt, dass es möglich ist, Grassilage für einen Preis von unter 25 €/t FM frei Biogasanlage zu liefern. Wird also die Bewirtschaftung der überschüssigen Grünlandflächen subventioniert, ist es durchaus möglich, dass die Biogasanlagenbetreiber in die Umrüstung ihrer Anlagen investieren, um auch weiterhin ihre Anlagenkapazitäten auszuschöpfen.

Bewertung der Treibhausgasemissionen

Die energetische Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe trägt gegenüber der Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern zur Minderung von THG-Emissionen bei. Um diese Minderung zu quantifizieren, wurde das THG-Minderungspotenzial berechnet.

Berechnung der Treibhausgasemissionen

Die Berechnung der THG-Emissionen erfolgt weitestgehend analog zu Kapitel 5.3.2. Das im Rahmen des Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“ zusammengestellte Methodenhandbuch [167] empfiehlt, infrastrukturelle Aufwendungen, das heißt, die mit der Herstellung der Anlagen und Ausrüstungen verbundenen Emissionen nicht zu berücksichtigen. Eine Übersichtsrechnung hat in der Tat gezeigt, dass die THG-Emissionen durch die Herstellung technische Einrichtung und den Bau der

Biogasanlagen unter 1 % der Gesamtemissionen aus der Biogaserzeugung liegen und daher vernachlässigt werden können. Die bei der Biogasgewinnung entstehenden oder eingesparten Treibhausgasemissionen können danach in folgende fünf relevante Sparten unterteilt werden:

- Bereitstellung des Substrates und Gärrestausrückführung;
- Methanverluste während der Biogasproduktion;
- Direkte Lachgas-Emissionen von mit Gärrest-geprägten Böden (inkl. Emissionsgutschriften an Lachgas für eingesparte Mengen an auszubringendem mineralischem Stickstoff);
- Indirekte Lachgas-Emissionen durch Verflüchtigung und Auswaschung der stickstoffhaltigen Substanzen aus dem Gärrest (inkl. Gutschriften für eingesparte Emissionen durch Verflüchtigung und Auswaschung aufgrund verminderter Mengen an mineralischem Stickstoffdünger) und
- Düngergutschriften aus Reduzierung der Produktionsmengen an Stickstoffdünger Kalkammonsalpeter.

Für die Berechnungen der Substratbereitstellung wurde das Landbaugebiet II gewählt. Es ist für das Havelland typisch und beinhaltet verhältnismäßig gute Böden mit Ackerzahlen von 36 bis 45. Bei allen Kalkulationen zu Acker- und Grünlandbewirtschaftung wurde davon ausgegangen, dass keine Landnutzungsänderungen stattfinden. An den Grünlandstandorten wurden weder Nachsaat, noch Düngung oder Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) angenommen. Auch die Kalkung wurde nicht mit einbezogen, da die meisten Niedermoorstandorte Brandenburgs aufgrund ihrer Entstehung einen vergleichsweise hohen pH-Wert aufweisen [25]. Bei der Errechnung der THG-Emissionen aus dem Maisanbau wurde auf die im Land Brandenburg typischen Werte für Maiserträge und für verwendete Mengen an Saatgut, Düngemitteln, Kalk und PSM zurückgegriffen [25]. Die Berechnung der direkten und indirekten THG-Emissionen erfolgte nach den Vorgaben der IPCC-Richtlinien [184, vgl. 185]. Dabei wurden sowohl Emissionen von auszubringenden Gärresten als auch Gutschriften für die reduzierte Mengen an mineralischen Stickstoffdüngern¹⁴ berücksichtigt. Der durchschnittliche Gehalt am gesamten Stickstoff im Erntegut wurde mit 13,5 kg/t TM bei Mais und mit 18,0 kg/t TM bei Gras unterstellt. Die Emissionen aus der Bereitstellung des Grünschnittes und Ausbringung der Gärreste werden in Abbildung 6-11 am Beispiel einer Anlage am Standort Kremmen veranschaulicht.

¹⁴ Diese Gutschriften ergeben sich aus der verminderten Produktion des Kalkammonsalpeters sowie den Einsparungen an direkten und indirekten THG-Emissionen durch Ausbringung geringerer Düngermengen.

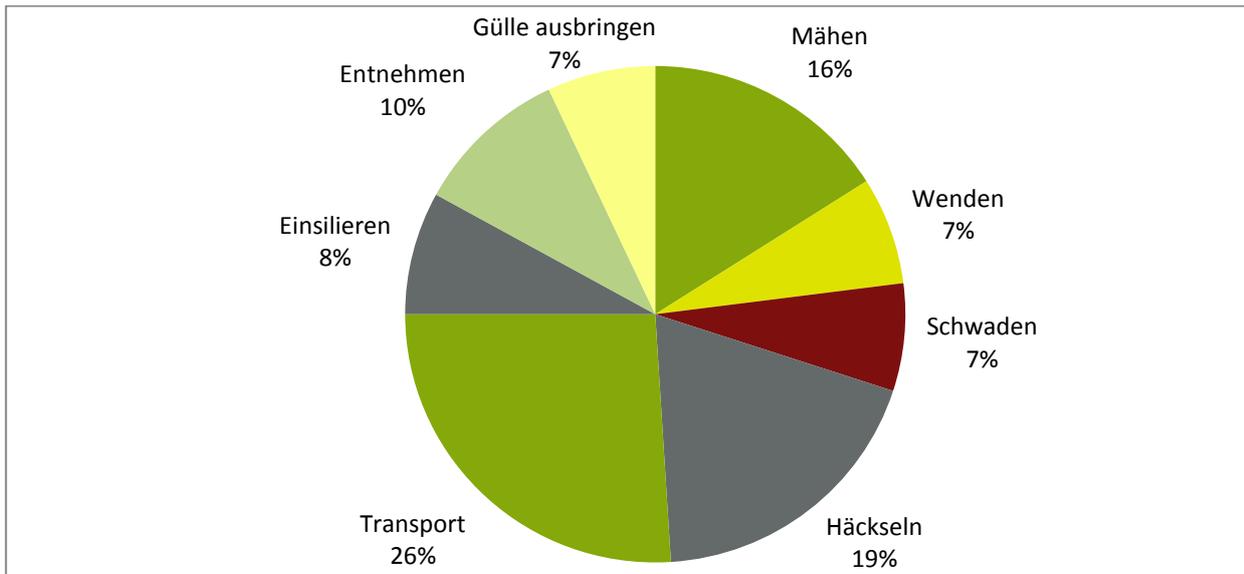


Abbildung 6-11: Dieselbezogene THG-Emissionen durch die Bereitstellung des Grüngutes und der Ausbringung der Gärreste (Nutzungskonzept I, 500 kW_{el}-Anlage am Standort Kremmen) (Abbildung: ATB)

Bei der 500 kW_{el}-Anlage am Standort Kremmen ist der Transport mit 26 % der größte Einflussfaktor auf die Entstehung von THG-Emissionen bei der Bereitstellung. Bei zunehmender Transportentfernung nimmt auch die Bedeutung dieses Einflussfaktors zu. Im Fall einer 300 kW_{el}-Anlage am gleichen Standort ist die Transportentfernung geringer und das Transportieren des Welkgutes trägt nur zu einem Fünftel zu den durch Diesel verursachten Emissionen bei. Dadurch steigt der Anteil aller übrigen Arbeitsgänge bei der Entstehung der Treibhausgase geringfügig an. Der zweitrelevante Einflussfaktor ist mit 19 % das Häckseln. Die modernen leistungsstarken Feldhäcksler haben hohe Schlagkraft, verbrauchen jedoch entsprechend hohe Mengen an Kraftstoff. Bei geringen Biomasserträgen werden große Maschinen allerdings nicht ausgelastet und verursachen im Vergleich zu kleineren Maschinen höhere spezifische Kosten und Emissionen. Ein praktizierender Landwirt entscheidet sich aus Flexibilitätsgründen dennoch oft für einen leistungsfähigeren Häcksler, vor allem um die Maisernte in kurzer Zeit sicher abschließen zu können. Die übrigen Futterpflanzen werden dann mit derselben Maschine geerntet. Der mit 16 % dritt wichtigste Einflussfaktor bei der Emissionsentstehung ist der Mähvorgang. Je mehr Hindernisse umfahren werden und je unebener die Feldoberfläche ist, desto langsamer muss gefahren werden, um einen qualitativ angemessenen Schnitt des Grüngutes zu gewährleisten und das Mähwerk nicht zu beschädigen. Diese verminderten Arbeitsgeschwindigkeiten bedeuten geringere Flächenleistungen und können letztlich zur Steigerung der THG-Emissionen führen. Die Bedeutung der übrigen Arbeitsgänge bei der Entstehung der Treibhausgase ist geringer und liegt bei unter 10 %.

Der Einsatz synthetischer Düngemittel lässt sich durch Ausbringung von Gärresten aus Biogasanlagen reduzieren oder sogar vollständig vermeiden, da Gärreste ein nährstoffhaltiger und wertvoller organischer Dünger sind. Durch die Rückführung vergorener Biomasse auf die Felder werden natürliche Stoffkreisläufe geschlossen und ein Beitrag zur Ressourceneffizienz und damit zum Klimaschutz geleistet.

Die direkten Lachgas-Emissionen aus den auszubringenden Gärresten sind fast genauso relevant wie die Emissionen aus der Substratbereitstellung. Sie werden jedoch durch gegengerechnete Gutschriften für eingesparte mineralische Stickstoffdünger um fast 40 % verringert und liegen somit bei 0,047 beziehungsweise 0,048 kg CO₂-äq/kWh_{el, th}. Gleich hoch, aber mit einem negativen Vorzeichen, sind die Emissionen aus der Düngergutschrift. Ein negatives Vorzeichen bedeutet, dass Treibhausgase nicht emittiert, sondern eingespart werden. Dies ist aufgrund der Tatsache möglich, dass weniger Kalkammonsalpeter zur Düngung produziert und verwendet wird. Nicht zu unterschätzen sind die Methanverluste während der Biogasgewinnung und die damit verbundenen Emissionswerte. Für die THG-Reduzierung sollten daher geeignete Maßnahmen getroffen werden, um der Entweichung des Methans aus den Gär- und Lagerbehältern sowie dem BHKW entgegenzuwirken.

Bei den betrachteten Konzepten der Biogaserzeugung handelt es sich um Stromgewinnung in Kraft-Wärme-Kopplung. Um die berechneten Emissionen auf die Strom- und Wärmeerzeugung aufzuteilen, wurde eine vereinfachte Methode der Energieallokation angewendet (vgl. [186]). Bei dieser Methode werden die gesamten Emissionen zwischen allen Endprodukten aufgeteilt. Als Basis gilt die erzeugte (und genutzte) Strom- und Wärmemenge. Die Vereinfachung besteht darin, dass elektrische Arbeit und Nutzwärme als gleichwertig angesehen werden und letztendlich den gleichen Emissionswert, bezogen auf die elektrische und thermische Energieerzeugung, aufweisen. Der Verteilungsschlüssel, auch Emissionsfaktor genannt, wird nach folgenden Formeln berechnet:

$$\varepsilon_{el} = n_{el} / (n_{el} + n_{th}) \quad \text{und}$$

$$\varepsilon_{th} = n_{th} / (n_{el} + n_{th})$$

Dabei gilt:

ε_{el} und ε_{th} : Verteilungsschlüssel für Strom und Wärme

n_{el} und n_{th} : Menge der genutzten elektrischen beziehungsweise thermischen Energie

Der Anteil der genutzten Wärme nach Abzug des Eigenwärmebedarfs der Biogasanlage liegt im Nutzungskonzept I (neue dezentrale Biogasanlagen) bei 35 %. Auf diesen Anteil werden auch die THG-Emissionen umgelegt. Im Nutzungskonzept II (Nachrüstung) wurde keine thermische Nutzung unterstellt, da für bestehende Anlagen kein Mindestanteil der Wärmenutzung durch das EEG 2009 vorgeschrieben ist. Die THG-Emissionen gehen daher vollständig zu Lasten der Stromerzeugung.

Die errechneten Emissionen aus der Biogasproduktion wurden anschließend mit den Emissionen fossiler Referenzsysteme verglichen. Dabei wurden für die Stromproduktion zwei Emissionsfaktoren in Erwägung gezogen. Der erste steht für Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2011 und beläuft sich gemäß Schätzungen des Umweltbundesamtes (UBA) auf 0,566 kg CO₂-äq/kWh_{el} 15 [187]. Wählt man als Referenzsystem die Stromerzeugung ausschließlich aus fossilen Energieträgern, so steigt der

¹⁵ UBA Berechnungen unter Berücksichtigung des Stromhandelssaldos

Emissionsfaktor auf 0,783 kg CO₂-äq/kWh_{el} 16 [188]. Für die Wärmeproduktion wurde der Emissionsfaktor der Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung für deutsche Haushalte berechnet¹⁷. Dieser liegt bei 0,328 kg CO₂-äq/kWh_{th}.

In Tabelle 6-11 sind die Anhaltswerte zusammenfassend dargestellt, die den THG-Kalkulationen zugrunde gelegt wurden.

Tabelle 6-11: Annahmen zur Berechnung des THG-Minderungspotenzials

Parameter	Einheit	Wert
Emissionsfaktor pro kg Methan	kg CO ₂ -äq	25
Emissionsfaktor pro kg Lachgas	kg CO ₂ -äq	298
Emissionsfaktor pro l Diesel	kg CO ₂ -äq	3,92
Emissionsfaktor pro kg Silofolie	kg CO ₂ -äq	2,50
Emissionsfaktor pro kg N-Dünger (KAS) ^{a)}	kg CO ₂ -äq	2,072
Emissionsfaktor pro kg P-Dünger (TSP) ^{b)}	kg CO ₂ -äq	0,694
Emissionsfaktor pro kg K-Dünger (Kali 60) ^{c)}	kg CO ₂ -äq	0,667
Emissionsfaktor pro kg Kalk ^{d)}	kg CO ₂ -äq	0,967
Emissionsfaktor pro kg PSM ^{e)}	kg CO ₂ -äq	5,38
Emissionsfaktor pro kWh _{el} :		
deutscher Strommix	kg CO ₂ -äq	0,566
fossiles Referenzsystem	kg CO ₂ -äq	0,783
Emissionsfaktor pro kWh _{th}		
fossiles Referenzsystem	kg CO ₂ -äq	0,328
Methanschlupf während der Produktionskette ^{f)}	%	1,0

^{a)} Kalkammonsalpeter (74 % NH₄NO₃, 26 % CaCO₃), inkl. Produktion und nach dem Ausbringen entstehenden CO₂-Emissionen aus CaCO₃ ^{b)} Triple-Super-Phosphat ^{c)} bezogen auf 1 kg K₂O ^{d)} bezogen auf 1 kg CaO ^{e)} bezogen auf 1 kg Wirkstoff des Pflanzenschutzmittels ^{f)} bezogen auf die insgesamt entstandene Methanmenge

¹⁶ Laut Informationen des UBA [188] substituierte Biogas im Jahr 2011 die Stromerzeugung aus Braunkohle zu 5,6 %, aus Steinkohle zu 63,6 % und aus Gas zu 30,8 %. Die Emissionsfaktoren (inkl. Vorketten) dieser fossilen Energieträger wurden dabei mit 1,085 kg CO₂-äq/kWh_{el} für Braunkohle; 0,923 kg CO₂-äq/kWh_{el} für Steinkohle und 0,439 kg CO₂-äq/kWh_{el} für Erdgas angegeben.

¹⁷ Nach Angaben des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft [189] setzte sich der Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im Jahr 2007 zu 48 % aus Erdgas, zu 30 % aus Mineralöl, zu 13 % aus Strom, zu 7 % aus Fernwärme und zu 2 % aus Kohle zusammen. Gemäß UBA [188] lagen die gesamten Emissionsfaktoren (mit Vorketten) für die Wärmebereitstellung im Jahr 2011 bei folgenden Werten [in kg CO₂-äq/kWh_{Endenergie}]: 0,248 für Erdgas; 0,314 für Heizöl; 0,640 für Stromheizung; 0,323 für Fernwärme; 0,419 für Steinkohle und 0,429 für Braunkohle.

Um die THG-Emissionen weiter zu reduzieren, können unter anderem folgende Maßnahmen ergriffen werden: die Minderung der Ernte- und Lagerungsverluste der Biomasse, die Erhöhung des Aufschlusses und somit der Gasausbeute der halmgutartigen Substrate, die Reduzierung der Methanverluste in der Prozesskette der Biogaserzeugung, höhere Wirkungsgrade und eine bessere Auslastung des BHKW sowie ein optimiertes Ausbringverfahren der Gärreste mit einer unverzüglichen Einarbeitung in den Boden.

Treibhausgasemissionen von Nutzungskonzept I

Der Einfluss der für die THG-Emissionen relevanten fünf Sparten sind in folgender Abbildung 6-12 zusammenfassend beispielhaft für den Standort Kremmen dargestellt und der alternativen Strom- und Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern beziehungsweise dem deutschen Strommix gegenübergestellt.

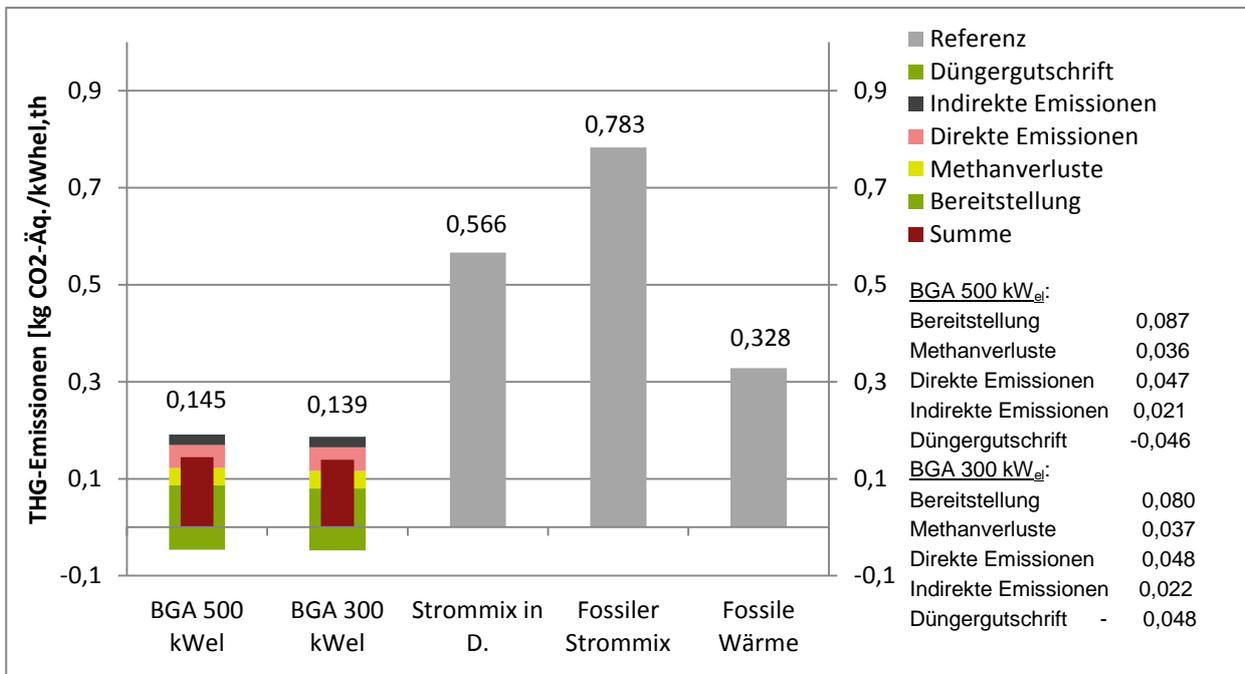


Abbildung 6-12: THG-Emissionen aus der Vor-Ort-Verstromung von Biogas nach der energetischen Allokationsmethode am Beispiel von Nutzungskonzept I, Standort Kremmen (Abbildung: ATB)

Entsprechend dem Standort Kremmen in Abbildung 6-12 sind auch die Ergebnisse der weiteren Standorte in Tabelle 6-12 zusammengefasst dargestellt. Die Emissionen aus der Bereitstellung des Substrats für die Biogaserzeugung unterscheiden sich in erster Linie in Abhängigkeit von der Transportentfernung. Die spezifischen Emissionen aus dem Betrieb der Biogasanlagen sind für jede Leistungsklasse konstant, da es sich um gleiche Mengen an vergorener Grassilage handelt. Sie liegen die THG-Emissionen ohne die vorhergehende Substratbereitstellung bei der 500 kW_{el}-Anlage mit ausschließlichem Substrateinsatz von Gras und Schilf bei 304.300 kg CO₂-äq/a und bei der 300 kW_{el}-Anlage bei 187.350 kg CO₂-äq/a.

Tabelle 6-12: THG-Emissionen der Strom- und Wärmebereitstellung im Nutzungskonzept I

BGA	Standort	Feld-Hof-Entfernung	THG-Emissionen		
			aus Bereitstellung	gesamt	Spezifisch für Wärme- und Stromerzeugung
		km	kg CO ₂ -Äq/a	kg CO ₂ -Äq/a	kg CO ₂ -Äq/kWh _{el, th}
500 kW _{el}	Fehrbellin	8	398.330	702.640	0,134
	Kremmen	11	453.420	757.720	0,145
	Friesack	13	490.820	795.120	0,152
	Neuruppin	13	463.330	767.630	0,147
300 kW _{el}	Fehrbellin	5	221.990	409.340	0,130
	Kremmen	8	250.260	437.610	0,139
	Friesack	9	280.640	467.990	0,149
	Neuruppin	11	271.380	458.730	0,146
	Rathenow	19	351.260	538.610	0,171

Berechnet pro Kilowattstunde Strom und Wärme liegen die Emissionen über fast alle Standorte hinweg in einem vergleichbaren Bereich von 0,130 bis 0,152 kg CO₂-Äq. Lediglich die Biogasanlage in Rathenow fällt mit 0,171 kg CO₂-Äq/kWh auf. Der Grund für die vergleichsweise hohen Emissionen liegt in der langen Transportentfernung und der damit verbundenem hohen Dieselverbrauch. Die Treibhausgasminderung durch Biogasstrom liegt zwischen 70 % und 77 % im Vergleich zum deutschen Strommix und zwischen 78 % und 83 % im Vergleich zu Strom aus ausschließlich fossilen Energieträgern. Insgesamt trägt die Stromerzeugung gekoppelt mit der Wärmeerzeugung zu einer 48 %-igen bis 60 %-igen Treibhausgaseinsparung bei.

Treibhausgasemissionen von Nutzungskonzept II

Die Treibhausgasemissionen bei Nutzungskonzept II entsprechen weitestgehend denen von Nutzungskonzept I (vgl. Abbildung 6-12). Durch die ausschließliche Betrachtung von Strom und somit ohne die Verwendung der energetischen Allokationsmethode fallen die THG-Emissionen für die reine Stromerzeugung aus Biogas um ca. 40 % höher aus. Ein Durchschnittswert aus allen betrachteten Standorten und Anlagengrößen liegt bei 0,204 kg CO₂-Äq/kWh_{el}. Dieser Wert kann zum Vergleich der Biogasgewinnung aus Gras- und Maissilage im Nutzungskonzept II herangezogen werden. Die ermittelten THG-Emissionen für Strom aus Maissilage im Landbaugebiet II liegen bei 0,346 kg CO₂-Äq/kWh_{el}. Das bedeutet, dass jede Kilowattstunde des aus der halmgutartigen Biomasse gewonnenen Stroms eine Einsparung von 0,142 kg CO₂-Äq/kWh_{el} gegenüber dem Strom aus Maissilage herbeiführt. Dieser Effekt resultiert vor allem aus der extensiven Grünlandbewirtschaftung, bei der keine mineralischen Düngemittel verwendet werden.

Gegenüberstellung der beiden betrachteten Nutzungskonzepte

In Abbildung 6-12 sowie aus dem vorhergehenden Abschnitt wurde deutlich, dass gegenüber den fossilen Energiesystemen die Strom- und Wärmeerzeugung aus Biogas bei beiden Nutzungskonzepten und über fast alle Standorte sehr gut abschneiden. Die THG-Emissionen des deutschen Strommix und des fossilen Stroms liegen bei weitem über denen des Biogasstroms. Auch die Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern kann mit der gekoppelten Biogasabwärme nicht konkurrieren. Bei geringem Anteil von Ackerfrüchten in der Biogasanlage des Nutzungskonzepts II liegen die THG-Emissionen beider Nutzungskonzepte in der gleichen Größenordnung. Durch die Allokation der THG-Emissionen aus der Strom- und Wärmeerzeugung liegen die spezifischen THG-Emissionen beim Nutzungskonzept I deutlich niedriger. Zusätzlich können sich die Emissionen in Abhängigkeit von den verwendeten Substraten bei Nutzungskonzept II nochmals erhöhen. Daher ist aus dieser Perspektive ein möglichst hoher Grasanteil zu empfehlen und entsprechend Nutzungskonzept I dem Nutzungskonzept II vorzuziehen. Um die spezifischen Treibhausgasemissionen in Nutzungskonzept II zu senken, sollte eine Nutzung der anfallenden Wärme etabliert und der Anteil von Dünger-aufwändigen Ackerfrüchten minimiert werden.

6.3 Fazit

Die Nutzung von halmgutartiger Biomasse zur Biogaserzeugung trifft auf einen breiten Interessentenkreis. An vielen Standorten Deutschlands gibt es große Mengen organischer Reststoffe aus der Landwirtschaft und der Landschaftspflege, die derzeit nur in begrenztem Umfang verwertet werden. Oft verbleiben sie auf den Flächen und verrotten oder müssen sogar kostenpflichtig entsorgt werden.

Gras sowohl aus Intensivgrünland als auch aus der Landschaftspflege und Naturschutz kann in Biogasanlagen eingesetzt werden. Bei entsprechenden technischen Einrichtungen kann der Grasanteil an den Einsatzstoffen sogar 100 % betragen. Wichtig sind robuste Technik und geeignete Vorbehandlungsmethoden. Die Vergärung im Garagenverfahren kann als Sonderweg für entsprechendes Material gesehen werden. Hier sind jedoch noch technische Entwicklungen nötig, um die Anlagen- und Umweltsicherheit zu garantieren. Die Erfahrungen aus der Grasvergärung sind auf andere halmgutartige Einsatzstoffe aus der Landschaftspflege und dem Naturschutz wie Schilfgräser und spät geschnittenes Gras grundsätzlich übertragbar. Jedoch liegen bisher nur wenige echte Erfahrungen vor. Es wurden zwar einige Laborversuche zur Biogasausbeute von Landschaftspflegegut durchgeführt, jedoch ist deren Übertragbarkeit in der Praxis noch äußerst mangelhaft [190]. Lediglich in der Anlage Hof Wendbüdel wurde bisher 100 % Landschaftspflegegut zur Vergärung eingesetzt [191]. Ansonsten wurden meist nur kleinere Mengen als Co-Substrat dem Prozess beigefügt.

Eine erfolgreiche Etablierung der Gasgewinnung aus landwirtschaftlichen Reststoffen bedarf dennoch gezielter Unterstützungsmaßnahmen. Die Stromvergütungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes allein reichen nicht aus, um die Kosten der Substratbereitstellung und Biogasproduktion zu decken. Zusätzliche Subventionen wie Flächenprämien oder Boni für den Einsatz schwer vergärbare Substrate müssen gewährt werden. Für einen wirtschaftlichen Betrieb der betrachteten Anlagen muss der Betreiber die Nutzung der anfallenden Wärme sorgfältig planen, um die notwendigen Erlöse aus dem Wärmeverkauf zu erwirtschaften. Für die Substitution in bestehenden Anlagen konnte aufgezeigt werden, dass unter bestimmten Voraussetzungen Biogasanlagen mit verstärktem Graseinsatz

wirtschaftlich betrieben werden können. Der dafür notwendige finanzielle und arbeitstechnische Mehraufwand lohnt sich vor allem dann, wenn energiereichere pflanzliche Substrate, wie Mais, knapp und/oder teurer werden. Dies kann aufgrund von Verknappungen der Anbauflächen für Energiepflanzen bei sehr vielen Biogasanlagen in einer Region oder bei Ertragsausfällen sowie jährlichen Preisschwankungen der Substrate oder bei zukünftig erwarteten Umstrukturierungen bei der Gewährung von Flächenprämien besonders relevant werden.

An geeigneten Standorten können bei den betrachteten Biogas-Nutzungskonzepten im Havelland mehr als 80 % der THG-Emissionen im Vergleich zur Strom- und mehr als 50 % der THG-Emissionen im Vergleich zur Wärmeerzeugung basierend auf fossilen Brennstoffen eingespart werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass es vielversprechende Ansätze zur Nutzung von spät geschnittenem Gras und Schilf gibt. Um einen technisch kontinuierlichen Anlagenbetrieb garantieren zu können, sind hierfür jedoch noch weitere Praxisversuche und technische Optimierungen nötig. Die betrachteten Konzepte eignen sich sehr gut für die Versorgung von großen Wärmeabnehmer ($> 1.000 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{a}$).

7 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Für die Ableitung von Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für die Nutzung von Grüngut zur dezentralen Energiebereitstellung werden die entwickelten Analysemethoden und die betrachteten Nutzungskonzepte im Rahmen des Forschungsvorhabens vergleichend bewertet. Dazu erfolgt zunächst eine Einschätzung der Umsetzbarkeit von entsprechenden Nutzungskonzepten an unterschiedlichen Standorten. Anschließend werden die wirtschaftlichen, ökologischen und strukturellen Anforderungen an die möglichen Nutzungskonzepte dargestellt und anzutreffende Schwierigkeiten und Lösungswege aufgezeigt. Daraus abgeleitet folgen Handlungsempfehlungen für die regionalen Akteure aus dem Bereich der Biomassebereitstellung, der Wärmeabnehmer sowie der Projektentwicklung. Abschließend wird der konkrete Forschungs- und Handlungsbedarf dargestellt.

7.1 Regionale Übertragbarkeit des Vorgehens

Zentrales Anliegen im Forschungsvorhaben war die Entwicklung von übertragbaren Analysemethoden und Nutzungskonzepten. Bei der Entwicklung von Analysemethoden zur Ermittlung von Mengen und Qualitäten von extensivem Grüngut besteht eine wesentliche Herausforderung zum einen darin, angesichts der nur mäßig geeigneten Datengrundlagen eine räumlich differenzierte und realitätsnahe Abbildung der häufig kleinräumigen Aufkommen und heterogenen Qualitäten der betrachteten Einsatzstoffe zu erreichen. Zum anderen sollten die Wärmesenken möglichst standortgenau ermittelt und analysiert werden.

Im Rahmen des Projekts war grundlegend festzustellen, dass die benötigten Informationen und Daten für die Analysen in der Bundesrepublik sehr heterogen vorliegen und unterschiedlich gut verfügbar sind. Zudem zeigten die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung sowie der Treibhausgasemissionsbewertung der entwickelten Nutzungskonzepte eine starke Abhängigkeit von örtlichen Gegebenheiten. Daher bleibt eine individuelle Anpassung der übertragbaren Grundstruktur der Analysemethoden und Nutzungskonzepte unverzichtbar. Spezielles Augenmerk ist hierbei auf die nachfolgend aufgeführten Aspekte zu legen.

Datengrundlagen

Für die Analyse von Biomassepotenzialen und Wärmesenken wurde im Projekt eine flexible Methode entwickelt, die es erlaubt je nach Datenlage verschiedene Indikatoren zur Bestimmung der Einflussfaktoren heranzuziehen. Darüber hinaus wird die Möglichkeit eröffnet, die regionale Analyse gegebenenfalls durch erweiterte Befragungen oder eigene Bestandsaufnahmen im Gelände weiter zu qualifizieren.

Diese Methodik ermöglicht es auch in der Analyse individuelle Schwerpunkte zu setzen. So können Projektentwickler beispielsweise bei Bedarf genauere Aussagen zu räumlichen Aufkommen generieren, wenn die Datengrundlagen kleinräumig differenzierter vorliegen.

Menge, Qualität und Verteilung des Biomasseaufkommens

Großen Einfluss auf die Ausgestaltung von Nutzungskonzepten haben die Verteilung und Größe des potenziell nutzbaren Biomasseaufkommens sowie dessen Qualität. Beeinflusst durch unterschiedliche Faktoren (vgl. Kapitel 2.3) sind verglichen mit dem großen Aufkommen im Havelland in anderen Regionen deutliche Unterschiede zu erwarten, was wiederum große Auswirkungen auf die Realisierbarkeit von Nutzungskonzepten erwarten lässt.

Die in möglichst geringer Transportentfernung bestehende **Verfügbarkeit der betrachteten Gras- und Schilfsortimente**, gemessen in durchschnittlicher Transportentfernung, ist von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Bei der beispielsweise in Kapitel 6.2.2 dargestellten Biogasanlage am Standort Kremmen machen die Transporte jeweils rund 25 % der Kosten für die Substratbereitstellung sowie der Treibhausgasemissionen aus. Wäre hier die gemittelte Transportdistanz um 10 % geringer, würde dieses eine Minderung der Stromgestehungskosten von 0,9 % und der Treibhausgasemissionen der gesamten Biogasanlage um 1,6 % bewirken. Bei den Heuheizwerken wirkt sich die Transportentfernung vergleichbar stark auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage aus, da ein Großteil der Kosten auf die Bereitstellung des Brennstoffs zurückzuführen ist. Allerdings ist der Einfluss auf die Treibhausgasemissionen deutlich geringer. Die Bereitstellung der Brennstoffe beim Nutzungskonzept I in Rathenow, trägt nur mit einem Anteil von 8 % zur THG-Bilanz bei, wovon wiederum nur ca. 25 % dem Transport zuzuschreiben sind (vgl. Kapitel 5.3.2).

Zu beachten sind letztlich auch die spezifischen geographischen Bedingungen des Biomasseaufkommens. Während im Havelland die Beschaffungskosten maßgeblich durch die Entfernung und lang anhaltende Vernässung bestimmt sind, hat in anderen Regionen zudem auch die Hanglage maßgeblichen Einfluss auf die Kosten der Biomassebereitstellung. Die zeitlich eingeschränkte Befahrbarkeit der Flächen, beispielsweise aufgrund lang anhaltender Vernässung, kann zu höheren Lagerkosten und gegebenenfalls schlechteren Substratqualitäten führen. Weiterhin können aus der Vernässung oder starken Hanglagen besondere Anforderungen an die Erntetechnik resultieren. So ist beispielsweise die Verringerung der Fahrgeschwindigkeiten nötig oder eine speziell an das Terrain angepasste, teurere Erntetechnik muss eingesetzt werden.

Die **Qualität der eingesetzten Substrate** hat erhebliche Auswirkungen auf die Durchführbarkeit und den Erfolg der Nutzungskonzepte. Optimaler Weise sollte bei Biogasanlagen kontinuierlich Substrat gleicher Qualität zugeführt werden, damit die einzelnen Komponenten daraufhin abgestimmt werden können. Aufgrund der hohen Heterogenität und der in dieser Hinsicht geringen Qualität des Grüngutes von extensiv bewirtschaftetem Grünland und aus der Gewässer- oder Biotoppflege (vgl. Tabelle 5-17) sind an die Verwertungstechnologien besondere Anforderungen zu stellen. Allgemein steigt mit geringerer Substratqualität das technische Ausfallrisiko der Anlage und der Gasertrag sinkt. Diese kann erheblich negative wirtschaftliche Konsequenzen mit sich bringen. Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass die für eine energetische Nutzung besonders ungünstigen Eigenschaften möglichst vermieden werden. Beispielsweise können hohe Ligningehalte im Substrat die Leistungsfähigkeit der Aufbereitungstechnologie überschreiten, so dass möglichst frühe Erntetermine anzustreben sind, an denen der Aufwuchs noch vergleichsweise geringe Ligninanteile aufweist. Das heißt, das Nutzungskonzept ist streng auf die Substrataufkommen in der Region auszurichten. Für bestehende

Biogasanlagen sind beispielsweise zusätzliche Schritte zur Substrataufbereitung, wie zum Beispiel Hydrolysen vorzusehen oder der Einsatz von stark ligninhaltigem Gras als Co-Substrat gering zu halten.

Für die Verbrennung ist es bei der Qualität des Brennstoffs von besonderer Bedeutung, dass die Einsatzstoffe niedrige Gehalte an emissionsrelevanten Elementen wie Kalium, Chlor, Schwefel und Stickstoff sowie eine geringe Feuchtigkeit aufweisen. Andernfalls können die bei der Verbrennung entstehenden Emissionen - vor allem Feinstaub - die Grenzwerte einschlägiger Richtlinien (maßgeblich 1. und 4. BImSchV) meist nicht einhalten. Bei der Konzeptentwicklung zur Wärmebereitstellung ist die Qualität der potenziell verwertbaren Biomasse folglich ein entscheidendes Kriterium.

Bedingungen der Bereitstellung

Weitere wesentliche Auswirkungen auf die Treibhausgasbilanz und die Wirtschaftlichkeit von Heizwerken und Biogasanlagen haben die logistischen Erfordernisse und Möglichkeiten der Biomassebereitstellung. Für die Berechnung der Bereitstellungskosten und Emissionen wurden überwiegend großtechnische Maschinenkombinationen herangezogen, wie sie im Havelland üblicherweise zur Grüngutbergung eingesetzt werden. Die Bereitstellung der benötigten Biomasse kann gegenüber den hier gemachten Annahmen durch die Nutzung von spezielleren Maschinen für die Heu- und Silageernte noch optimiert werden. Beispielsweise bedeutet die Nutzung eines Ballensammelwagens für die Heuballenbergung gegenüber der Verwendung eines Frontladers, einen erhebliche Effizienzsteigerung. Die wirtschaftliche Nutzung bedarf jedoch einer hohen Auslastung der Maschinen, welche durch die vorhandenen einschlägigen Biomassepotenziale häufig nicht gedeckt werden. Sollten größere Biogasanlagen oder Heuheizwerken zum Einsatz kommen, wofür entsprechend größere Mengen geerntet werden müssen, könnte durch eine veränderte, effizientere Verfahrens- und Maschinenauswahl somit wirtschaftliche Vorteile generiert sowie Treibhausgasemissionen eingespart werden. Kleinere oder weniger spezielle Maschinen zur Heu- und Silageernte, wie sie beispielsweise in Süddeutschland häufig anzutreffen sind, erfordern eine häufigere Befahrung der Flächen mit entsprechenden Auswirkungen auf die spezifischen Bereitstellungskosten und die Treibhausgasbilanz. Bei der Maschinenauswahl sollte zudem auf geringe Verlustraten bei der Ernte geachtet werden, damit die derzeit gewöhnlichen Verluste von 30 % reduziert werden.

Neben der richtigen Maschinenauswahl muss auch auf eine effiziente Organisation der Ernteabläufe und der Lagerung geachtet werden. Es bedarf einer Optimierung hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Beschaffung und der dabei entstehenden Treibhausgasemissionen, aber auch in Bezug auf die Qualität des Einsatzstoffs. Bei der Lagerung von Heuballen muss zwischen einer günstigen Lagerung mit hohen Verlusten (unter Folie) und einer teureren Lagerdauer mit geringen Qualitäts- sowie Masseverlusten (Lagerhalle) abgewogen werden. Die Lagerung als Miete ohne Folie wurde im Projekt nicht berücksichtigt, da von einem zu hohen Feuchtigkeitsgehalt ausgegangen wurde. Zu beachten ist darüber hinaus auch die Dauer der Lagerung. Bei der Lagerung in der Feldmiete unter Folie verschlechtert sich die Qualität bei zunehmender Lagerungsdauer und höhere Masseverluste sind die Folge. Bei der Lagerung in einer Lagerhalle steigen, je nach deren alternativen Nutzungsmöglichkeiten, die Lagerungskosten mit zunehmender Lagerungsdauer an.

Wärmebedarf

Bei **Heizwerken** ist die Auslastung von zentraler Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit. Bei der Konzeption ist darauf zu achten, dass der Wärmebedarf mit der Anlagengröße übereinstimmt. Optimalerweise sollte ein kontinuierlich großer Wärmebedarf über das ganze Jahr hinweg vorliegen. Die wirtschaftlichen Effekte einer zu geringen Auslastung sind anlagenspezifisch und können nicht pauschalisiert werden. Bei den im Vorhaben betrachteten Varianten zur Wärmebereitstellung wurde je nach Nutzungskonzept und Heizkessel eine Auslastung zwischen 1.200 und 1.750 Vollbenutzungsstunden pro Jahr für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen herangezogen. Sie stellen tendenziell die Untergrenze der möglichen Auslastung dar. Eine höhere Auslastung der Anlagen, zum Beispiel durch die Kombination mit einem Spitzenlastkessel, hat im Wesentlichen deutliche wirtschaftliche Vorteile (vgl. Kapitel 5.3.2).

Die Wirtschaftlichkeit von Nutzungskonzepten ist in hohem Maße von der Effizienz der Anlagen abhängig. Bei der **Biogasanlage** muss 60 % des Stroms in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt werden um die EEG-Festvergütung nach EEG 2012 zu erhalten, so dass eine weitreichende Nutzung der Abwärme geboten ist. Für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb ist der Bezug der EEG-Vergütung unverzichtbar. Eine darüber hinaus gehende Wärmenutzung würde die Wirtschaftlichkeit der Anlage weiter verbessern. Die Wärmeabnahme sollte möglichst konstant über das Jahr hinweg erfolgen. Dadurch kann notwendige Infrastruktur wie beispielsweise ein Nahwärmenetz, besser ausgelastet werden. Insgesamt besitzen die Erlöse aus dem Verkauf der Wärme einen zwar vergleichsweise geringen Anteil an den Gesamterlösen der betrachteten Biogasanlagen, dennoch sind sie wichtig für deren Wirtschaftlichkeit (vgl. Kapitel 6.2.2).

7.2 Abschließende Bewertung der Nutzungskonzepte

Zentrale Anforderung war es, auf der Grundlage von Biomassehotspots und dezentralen Wärmesenken möglichst standortangepasste Nutzungskonzepte für Biomasseanlagen zu entwickeln. Dabei erfordern die im Vergleich häufig geringen Biomasseaufkommen einen Fokus auf den Einsatz von Anlagen mit kleinerem Substratbedarf und entsprechend geringer Leistung oder Konzepte zur Verwertung der Biomasse als Co-Substrat. Grundsätzlich existieren für beide Konversionspfade, Biogaserzeugung und Feststoffverbrennung, technologische Verfahren zur Strom- und Wärmeerzeugung. Ein direkter Vergleich der Konversionspfade ist schwer möglich, da sie je nach Einsatzbereich unterschiedliche Vorzüge besitzen. Der Einsatzbereich definiert sich dabei hauptsächlich durch das Einsatzstoffangebot (Menge und Qualität) und den Grad der Wärmeverwendung (Art und Menge). In den nachfolgenden Abschnitten werden die Konzepte hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und ökologischen Wirkung sowie der Umsetzbarkeit bewertet.

Wirtschaftlichkeit

Die grundsätzlich sehr preisgünstigen Rohstoffsportimente wie Gras von extensiven Grünlandflächen oder Biomasse aus der Gewässerunterhaltung lassen in Kombination mit erwarteten zunehmenden Wärmebezugspreisen zunächst eine wirtschaftliche Nutzung erwarten. Tatsächlich müssen die Substrate jedoch meist aufwändig geborgen und gegebenenfalls aufbereitet werden, um sie energetisch nutzen zu können. Unter sehr guten Rahmenbedingungen, wie beispielsweise

Wärmesenken mit hohem, über das Jahr hinweg konstantem Wärmebedarf, weisen der Großteil der hier betrachteten Konzepte im Vergleich zu alternativen Wärmeerzeugungsanlagen niedrigere Wärmegestehungskosten auf. Bei der energetischen Nutzung dieses Materials müssen jedoch neue Technologiekomponenten verwendet werden, bei denen eine vergleichsweise geringe Betriebs erfahrung vorliegt. Eine Investition in entsprechende Anlagen ist folglich noch mit einem erhöhten ökonomischen Risiko verbunden. Gleichzeitig gibt es derzeit jedoch mehrere Forschungseinrichtungen und Firmen die sich intensiv mit der technologischen Weiterentwicklung befassen, so dass von einer zunehmenden technischen Reife auszugehen ist.

Für die bedarfsgerechte Wärmeerzeugung, speziell von einzelnen Objekten wie einem landwirtschaftlichen Maststall oder einem Gewerbebetrieb, bieten sich besonders **Heuheizwerke** an. Für einen ökonomischen Anlagenbetrieb sollten vor allem Anlagen im Leistungsbereich ab 150 kW_{th} herangezogen werden. Für diese Anlagen sind die spezifischen Investitionskosten, vor allem für die nötige Abscheidetechnologie, deutlich geringer als bei kleineren Anlagen. Bei großen saisonalen Unterschieden im Wärmebedarf ist aus wirtschaftlicher Sicht zudem die Kombination mit einem Gas- oder Heizölspitzenlastkessel empfehlenswert. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass sich die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu einem monovalenten Heizwerk erhöhen.

Den größten Teil der berechneten Wärmegestehungskosten machen die Bereitstellungskosten der Brennstoffe aus. Vor diesem Hintergrund empfiehlt sich bei kurzen Transportentfernungen und großem Platzangebot in der Anlagenumgebung die Installation eines Heuballenheizwerks. Durch den Verzicht auf die Pelletierung können mehr als 50 % der Brennstoffbeschaffungskosten und rund 60 % der Treibhausgasemissionen gegenüber der Heupelletnutzung eingespart werden. Vor der Installation einer solchen Anlage muss allerdings sichergestellt werden, dass die Anlage für den Brennstoff Heu geeignet ist und die Emissionsgrenzwerte eingehalten werden können. Der Betrieb einer solchen Anlage ist mit dem einer Holzhackschnitzelanlage in Abhängigkeit vom Brennstoffangebot abzuwägen. Besonders, wenn der Anlagenbetreiber beispielsweise über eine gesicherte Versorgung mit Heu aus kürzester Transportentfernung verfügt, während die lokale Verfügbarkeit von Holz eher gering ist, wäre das Heuballenheizwerk zu empfehlen. Nutzungskonzepte die Heupellets als Brennstoff nutzen, sollten vor allem dann eingesetzt werden, wenn längere Transportentfernungen (> 10km) des Brennstoffs nötig sind und das Platzangebot in der Anlagennähe gering ist. In Verbindung mit einem fossil befeuerten Spitzenlastkessel lassen Heizwerke dieses Typs deutliche wirtschaftliche Vorteile gegenüber anderen Heizwerken gleicher Größe erwarten.

Die betrachteten **Biogasanlagenkonzepte** weisen bei optimalen Bedingungen und unter Berücksichtigung von höheren Aufbereitungskosten Stromgestehungskosten auf, die unterhalb der EEG-Erlöse beziehungsweise den alternativen Erlösen bei konventionellen, mit Mais betriebenen Biogasanlagen liegen. Die Gewinnmarge bei der Substitution von Mais ist unter den angenommenen Bedingungen jedoch relativ gering, sodass sich dieses Verfahren nur in Gebieten mit hohem Preisunterschied von Mais- und Grassilage empfiehlt. Bei ausschließlich mit Grassilage betriebenen Biogasanlagen bedarf es weitgehend optimale Voraussetzung. Es ist zunächst auf ein hohes erschließbares und vertraglich gesichertes Graspotenzial in direkt Anlagennähe zu achten. Außerdem sollte eine robuste Technik eingesetzt werden, um unerwartete Ausfallzeiten zu minimieren. Letztlich bedarf es einer adäquaten Wärmesenke in der direkten Anlagenumgebung.

Ökologische Wirkungen

Die extensive Nutzung von Grünlandflächen ist grundsätzlich im Sinne des Naturschutzes. Daher werden den Landwirten im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen Prämien für angepasste Nutzung dieser Flächen gezahlt. Um den Charakter von extensivem Grünland zu erhalten bestehen häufig Auflagen, denen eine intensive Nutzung oder ertragssteigernde Maßnahmen, wie beispielsweise zusätzliche Düngung, entgegenstehen. Eine energetische Verwertung des Aufwuchses ermöglicht eine Verwertung des Schnittgutes, ohne dass eine Intensivierung der Nutzung erforderlich wird. Dabei ist auch zu gewährleisten, dass keine Befahrung der Flächen bei starker Vernässung oder zu Zeiten sensibler Entwicklungsstadien seltener Pflanzen oder Tiere stattfindet. Durch den Abtransport des Schnittgutes findet gleichzeitig ein Nährstoffentzug statt, der sich in der Regel positiv auf die naturschutzfachlichen Funktionen der Grünlandflächen und Gewässer auswirkt. Dieser positive Effekt darf jedoch nicht dadurch aufgehoben werden, dass Gärreste in konzentriertem Maße auf die extensiven Grünlandflächen ausgebracht werden.

Hinsichtlich der Treibhausgasemissionen zeigten sich bei allen Nutzungskonzepten erhebliche Einsparpotenziale gegenüber der Strom- und Wärmeerzeugung auf Basis fossiler Brennstoffe. So werden bei der Wärmeerzeugung in den Verbrennungskonzepten rund 80 bis 90 % und bei der Stromerzeugung in den Biogaskonzepten 70 bis 80 % der Treibhausgasemissionen¹⁸ eingespart. Hinzu kommt, dass ohnehin anfallende Vorstufen zur Bereitstellung des Brennstoffs/des Substrats, wie beispielsweise die Mahd gemäß der Auflagen durch die Agrarumweltmaßnahmen, mit in die Erfassung der Treibhausgasemissionen einbezogen wurden. Aufgrund einer geringeren Anzahl an Bereitstellungsschritten im Vergleich zur energetischen Nutzung von Anbaubiomasse ist die Treibhausgasbilanz bei der Grasnutzung deutlich günstiger.

Für die ökonomische Bewertung des THG-Minderungspotenzials werden die THG-Vermeidungskosten berechnet [4]. Zur Berechnung der THG-Vermeidungskosten wird die Differenz der Strom-/ beziehungsweise Wärmegestehungskosten der betrachteten Anlage gegenüber einer Referenzanlage ins Verhältnis zur Differenz der THG-Emissionen der beiden betrachteten Anlagen gestellt [192]. Für 500 kW_{el}-Biogasanlagen an geeigneten Standorten im Havelland betragen diese rund 25 ct/CO₂-Äq.¹⁹ und sind somit deutlich niedriger als die THG-Vermeidungskosten von 32 ct/CO₂-Äq.²⁰ der im Havelland typischen Biogasanlagen auf Basis von Mais, GPS und Rindergülle. Bei den berechneten Heuheizwerken bestehen neben den geringeren THG-Emissionen auch geringere Wärmegestehungskosten gegenüber eines Heizwerks auf Basis von fossilen Brennstoffen wie Öl, weshalb sich negative THG-Vermeidungskostenberechnung zwischen -11 und -5 ct/CO₂-Äq. entsprechen der Angaben in Kapitel 5.3.2 ergeben, weshalb diese Berechnung hier nicht angewendet werden kann. Für die detaillierte Berechnung sei auf den Anhang A 11 verwiesen.

¹⁸ Hierbei sei auf die vereinfachte Allokationsmethode für die Strom- und Wärmeerzeugung, dargestellt in Kapitel 6.2.2, hingewiesen.

¹⁹ Bei der Berechnung wurden Stromgestehungskosten von 4,5 ct/kWh_{el} in Steinkohlekraftwerken angenommen [192]. Die weiteren Parameter der Berechnung entstammen den Ergebnissen in Kapitel 6.2.2.

²⁰ Bei der Berechnung wurden Stromgestehungskosten in 500 kW_{el}-Biogasanlagen mit Wärmeverkauf (35 % KWK-Anteil) auf Basis von 60 Ma.-% Mais, 20 Ma.-% GPS und 20 Ma.-% Rindergülle von rund 18,6 ct/kWh_{el} angenommen. Die weiteren Parameter der Berechnung entstammen den Ergebnissen in Kapitel 6.2.2.

Umsetzbarkeit

Die Umsetzbarkeit der entworfenen Nutzungskonzepte wird nachfolgend hinsichtlich der Einsatzstoffbeschaffung, der Anlagentechnik (Biogasanlage und Heizwerk) sowie der Wärmenutzung bewertet.

Generell vorteilhaft bei der **Einsatzstoffbeschaffung** sind die derzeit begrenzten alternativen Verwendungsmöglichkeiten von Gras und anderen halmgutartigen Biomassen von extensiv bewirtschaftetem Grünland sowie aus der Gewässer- und Biotoppflege. Die direkte Konkurrenz durch etwaige stoffliche Nutzung oder der Verarbeitung zu Nahrungs- oder Futtermitteln ist als gering zu bewerten. Da die Nutzung des Grünguts häufig mit Naturschutzzieleinhergeht und keine Ackerflächen genutzt werden, die eine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion erzeugen, ist von einer hohen Akzeptanz seitens der Bevölkerung für die betrachteten Nutzungskonzepte auszugehen. Hinsichtlich der Integration der Nutzungskonzepte in die landwirtschaftlichen Betriebsabläufe sind vor allem Biogasanlagen und Heuballenheizwerke hervorzuheben. Bei diesen Nutzungen bedarf es keiner größeren zusätzlichen Infrastruktur zur Brennstoffaufbereitung. Somit besteht eine geringere Abhängigkeit des Anlagenbetreibers. Bei landwirtschaftlichen Anlagen kann je nach Besitzverhältnissen oder Pachtvertragskonstellationen von einer gesicherten Einsatzstoffbeschaffung ausgegangen werden.

Bei den auf Heupellets basierenden Nutzungskonzepten ist der Zwischenschritt der Pelletierung nachteilig für den Ablauf der Einsatzstoffbereitstellung. Die Heupellets lassen sich nur zu den im Projekt kalkulierten Kosten herstellen wenn eine Mindestmenge produziert wird. In diesem Projekt wurde davon ausgegangen, dass jährlich 5.000 t Heu pelletiert werden. Dies setzt wiederum voraus, dass mehrere Akteure in der Region Brennstoff Heupellets nachfragen. Der Vorteil von Heupellets wird bei der Nutzung in Wärmesenken deren Anlagen sich nicht in direkter Nähe zu den beernteten Grünlandflächen befinden und ein längerer Transportweg (> 10 km) zurückgelegt werden muss deutlich. Dies trifft auch auf Anlagen zu, die in der direkten Anlagenumgebung keine geeigneten Lagerkapazitäten aufweisen können. Die Entfernung für den Transport der Pellets hat im Gegensatz zum Heuballen- oder Grassilagetransport nur einen geringen Einfluss auf die Wärmegestehungskosten und Treibhausgasemissionen des betrachteten Nutzungskonzepts.

Bei **Heuheizwerken** ist die Beseitigung der **technischen** Hemmnisse die entscheidende Voraussetzung für eine praktische Umsetzung von Nutzungskonzepten. Die Ergebnisse zeigen, dass für bestimmte Anlagenkonzepte eine gute Wirtschaftlichkeitsbewertung und hohe Treibhausgasminderungspotenziale erwarten werden können. Allerdings können die einzusetzenden Brennstoffe bei herkömmlichen Anlagen zu Verschlackung sowie Korrosion und damit zu einem hohen Verschleiß führen. Zudem treten regelmäßig Emissionen auf, die zu einer Überschreitung der gesetzlichen Grenzwerte führen. Vor allem Brennstoff mit hohen Kalium-, Chlor-, Schwefel- oder Stickstoffanteilen gelten als problematisch, während sich die ligninreiche Graschargen energetisch betrachtet sehr gut für den Verbrennungsprozess eignen. Die chemische Zusammensetzung und die daraus resultierenden Verbrennungseigenschaften des Heus sind stark von den Standortbedingungen und vornehmlich von der Nährstoffversorgung geprägt. Die Verbrennungsversuche bei Heupellets im Rahmen des Projekts haben gezeigt, dass Verschlackungen sowie Korrosionen durch die Beimischung von Additiven auch bei kleinen Anlagen eingedämmt und folglich das Abbrandverhalten verbessert

werden kann. Entsprechende Heupellets besitzen gute physikalisch-mechanischen Eigenschaften. Allerdings konnten in den Versuchsanlagen die Grenzwerte für Feinstaub- und Dioxin/Furan-Emissionen nach 1. BImSchV meist nicht eingehalten werden. Nach aktuellem Stand lassen sich Heupellets daher vorerst nicht in Kleinanlagen ($< 100 \text{ kW}_{\text{NWL}}$) einsetzen, wobei die Nutzung der Heupellets in Heizkesseln dieser Anlagengröße von zukünftiger Bedeutung sein kann. Bei größeren Anlagen ($> 100 \text{ kW} \leq 50 \text{ MW}$) kann von einer Einhaltung der Emissionsgrenzwerte ausgegangen werden, sofern entsprechende Abscheidetechnik wie beispielsweise Zyklon-, Elektro- oder Gewebefilter, Rauchgaswäsche oder Adsorptionsverfahren zum Einsatz kommen. In diesem Leistungsbereich sind kaum Praxisbeispiele zu Heupelletheizwerken bekannt, allerdings gibt es mehrere Hersteller und Praxisbeispiele im Bereich der Strohballenverbrennung (vgl. Angaben der Firmen Linka, Reka, Herlt und Passat Energi A/S). Aufgrund der verbrennungstechnisch vergleichbaren Eigenschaften von Stroh und Heu kann erwartet werden, dass sich diese Anlagenkonzepte auch für die Nutzung von Heuballen eignen. Mehrere Hersteller beziehungsweise deren Vertriebspartner (Herlt, Linka) haben dies bestätigt und gaben an, dass eine Nutzung von Heu anstatt Stroh nach kleineren Umstellungen problemlos möglich sei. Größere Anlagen, vor allem Heuballenheizwerke, werden daher als praxisreif betrachtet.

Bei **Biogasanlagen** liegen die **technischen** Herausforderungen vor allem in der Aufbereitung von ligninreichem Substrat. Pflanzen mit hohem Ligningehalt wie spät im Jahr gemähtes Gras oder Schilf eignen sich für traditionelle Anlagenkonzepte nur sehr eingeschränkt und führen zu Problemen bei der Zuführung zum Fermenter sowie bei der Gasproduktion. Um diesen Nachteilen entgegen zu treten, müssen ausreichend robuste Anlagenteile verbaut werden. Die Teile sollten über eine geringe Korrosionsanfälligkeit verfügen und das Substrat verstopfungsfrei in den Fermenter leiten können. Außerdem ist es empfehlenswert das schwierige Substrat in einer Vorstufe (Hydrolyse oder mechanische Zerkleinerung) so aufzubereiten, dass im weiteren Verfahrensablauf eine hohe Gasausbeute erreicht werden kann. Unter diesen Voraussetzungen wird bereits in mehreren Nassfermentationsanlagen Gras eingesetzt. Es besteht also bereits eine Vielzahl von Praxiserfahrungen, die für die Konzeption von Neuanlagen sowie der Aufrüstung von klassischen Biogasanlagen genutzt werden können. Die meisten Erfahrungen beschränken sich jedoch auf die Nutzung von Gas als Co-Substrat, wo vielfach gute Erfahrungen mit den verfügbaren Aufbereitungstechnologien gemacht wurden (vgl. Kapitel 6.1.3 und 6.1.3). Auch die ausschließliche Nutzung von Gras ist technisch möglich. Bisher sind jedoch nur wenige Trockenfermentationsanlagen bekannt, die ausschließlich Gras einsetzen (beispielsweise die Anlage auf dem Hof Wendbüdel [191]).

Die umfassende **Wärmenutzung** ist eine wesentliche Voraussetzung für den wirtschaftlichen Anlagenbetrieb. Für Biogasanlagenkonzepte spielt sie darüber hinaus eine wesentliche Rolle für die Erreichung möglichst geringer Treibhausgasemissionen. Allgemein sollte gewährleistet sein, dass über die Dauer der Anlagenlaufzeit eine ausreichend hohe Auslastung der Anlage besteht (bei Heuheizwerken beispielsweise > 1.200 beziehungsweise > 1.750 Vollbenutzungsstunden). In der Umfrage unter den Wärmesenken im Havelland (vgl. Tabelle 3-11) haben vor allem Kirchengemeinden, Reiterhöfe, Gartenbau- und Landwirtschaftsbetriebe ihr Interesse an einer heubasierten Wärmeversorgung geäußert. Für die drei letztgenannten Betriebsarten, eignet sich vor allem der Einsatz eines Heuballenheizwerks oder bei ausreichender Einsatzstoffversorgung und hohem Wärmebedarf auch eine Biogasanlage, die in den betrieblichen Ablauf integriert werden können. Sofern Einrichtungen, wie Kirchengemeinden nicht an ein Nah-/ Fernwärmenetz angeschlossen sind,

kann der Einsatz eines Pelletheizwerks attraktiv werden. Die Umsetzung von Konzepten zur Verbrennung von Heupellets bleibt unter derzeitigen Bedingungen nur bei größeren Anlagen ($> 100 \text{ kW}_{\text{th}}$) empfehlenswert. Es ist daher zu überprüfen, ob der vorhandene Wärmebedarf zu einer ausreichenden Auslastung einer solchen Anlage führt.

Die **Kombination von Heuheizwerken und Biogasanlagen** schient in den meisten Situationen nicht sinnvoll. Dies ist jedoch stark abhängig von der individuellen Situation. So kann bei ausreichender Verfügbarkeit von Gras für die energetische Nutzung das Gras entsprechend seiner Qualität den Heizwerken beziehungsweise den Biogasanlagen zugeordnet werden. So würde beispielsweise der erste Schnitt, mit geringem Ligninanteil, zu Grassilage und die späteren Schnitte, mit hohem Ligninanteil, zu Brennstoffen verarbeitet und entsprechend genutzt werden. Da die Aufteilung der Einsatzstoffqualität zu den grundsätzlichen Konversionspfaden nur näherungsweise erfolgen kann und es einen großen Übergangsbereich gibt, kann dies auch zu einer Konkurrenzsituation führen. Außerdem ist durch die Kombination keine deutliche Verringerung der Bergungskosten zu erwarten, da nur für wenige Bereitstellungsschritte die gleiche Maschinenkombination eingesetzt wird. Aus der Perspektive der Wärmenutzung ergibt sich durch die Kombination der Wärmeerzeugung in Biogasanlagen und in Heuheizwerken nur sehr selten eine günstige Situation. Eine Kombination impliziert -sofern die thermische Leistung der Biogasanlage die Leistung zur Deckung des Grundwärmebedarfs übersteigt- die Wärmegrundversorgung mit einer Biogasanlage und die Spitzenlast mit einem Heuheizwerk. Dabei ist zu erwarten, dass die Heuheizwerke nur eine geringe Auslastung aufweisen und sich ihr Anlagenbetrieb aufgrund der vergleichsweise hohen Investitionskosten somit teurer als alternative Wärmeerzeugungsmöglichkeiten darstellt.

Zusammenfassende Bewertung

Die fünf exemplarisch untersuchten Nutzungskonzepte werden in der folgenden Tabelle 7-1 im Überblick dargestellt. Ein Vergleich der Bewertungen der Wirtschaftlichkeit, der ökologischen Auswirkungen sowie der Umsetzbarkeit der Konzepte macht deutlich, dass die größte Herausforderung für eine energetische Nutzung in der Einhaltung wirtschaftlicher und technischer Anforderungen bestehen. Bei allen Nutzungskonzepten vorteilhaft sind die hohen THG-Einsparungspotenziale gegenüber den Referenzvarianten. Gleiches trifft auch für die THG-Vermeidungskosten bei der Stromerzeugung aus Gras in Biogasanlagen und der Wärmeerzeugung aus Heu in Heuheizwerken zu, welche häufig geringer sind, als bei der Stromerzeugung in Wasser- und Windkraftanlagen beziehungsweise der Wärmeerzeugung in Solar- und Geothermieanlagen [vgl. 192,193]. Auch gegenüber Biogasanlagen, die mit Mais und GPS-beschickten werden, bestehen in dieser Hinsicht deutliche Vorteile. Hemmnisse einer zeitnahen Umsetzung von Pelletierungs-/Verbrennungskonzepten bestehen im Wesentlichen aufgrund unzureichender technischer Filterlösungen für Kleinanlagen unter $100 \text{ kW}_{\text{th}}$, die es ermöglichen, die Grenzwerte des Bundesimmissionsschutzgesetzes einzuhalten. Dagegen wird die Umsetzung von Verwertungskonzepten mit Biogasanlagen maßgeblich durch die hohen Kosten der Substratgewinnung und -aufbereitung erschwert.

Tabelle 7-1: Vergleich der fünf Nutzungskonzepte, wobei grün = gute Bewertung, orange = Optimierungsbedarf

Nutzungskonzepte	Wirtschaftlichkeit	Ökologische Auswirkungen (THG-Minderungspotenzial)	Umsetzbarkeit
Heizwerk I: Stationäre Lohnpelletierung und Nutzung in Heupelletkessel	Wärmegestehungskosten (7,2 bis 16,8 ct/kWh _{th}) günstiger als Referenzanlagen (Holzpellet- und Heizölheizwerk)	Treibhausgasminderungspotenzial von rund 80 % im Vergleich zur Wärmeerzeugung mit fossilen Brennstoffen	Pelletiertechnik seit vielen Jahren im Einsatz, Umstellung auf Energiepellets nötig, Heizwerk sollte technisch möglich sein, jedoch kaum Praxisanlagen bekannt, Pelletierung nötig, daher Abhängigkeit
Heizwerk II: Stationäre eigene Pelletierung und Nutzung in Heupelletkessel	Wärmegestehungskosten (8,8 bis 12,6 ct/kWh _{th}) teilweise günstiger als Referenzanlagen (Holzpellet- und Heizölheizwerk)	Treibhausgasminderungspotenzial von rund 80 % im Vergleich zur Wärmeerzeugung mit fossilen Brennstoffen	Pelletiertechnik bereits seit vielen Jahren im Einsatz, Heizwerk sollte technisch möglich sein, jedoch kaum Praxisanlagen bekannt, bedarf dem Zwischenschritt Pelletierung, daher Abhängigkeit
Heizwerk III: Heuballenheizwerk	Wärmegestehungskosten (7,7 bis 8,0 ct/kWh _{th}) teilweise günstiger als Referenzanlagen (Hackschnitzelheizwerk)	Treibhausgasminderungspotenzial von rund 93 % im Vergleich zur Wärmeerzeugung mit fossilen Brennstoffen	Heizwerk technisch umsetzbar, Strohballenheizwerke bestehen bereits seit mehreren Jahren, Umstellung auf Heu sollte möglich sein, im Einzelfall muss Einhaltung der Grenzwerte nach 4. BImSchV geprüft werden, Anlage gut in landwirtschaftlichen Betrieb integrierbar
Biogasanlage I: Biogasanlage mit 100 % Gras	Stromgestehungskosten (19,8 – 23,9 ct/kWh _{el}), teilweise niedriger als EEG-Erlöse	Treibhausgasminderungspotenzial von rund 78 bis 83 % im Vergleich zur Wärmeerzeugung mit fossilen Brennstoffen	Biogasanlage technisch weitestgehend umsetzbar, aber nur eine Praxisanlage bekannt, Anlage gut in landwirtschaftlichen Betrieb integrierbar, große Wärmesenke nötig
Biogasanlage II: Beimischung von Gras in bestehenden Anlagen	Zahlungsbereitschaft für Grassilage von 7 bis 26 €/t FM bei Maissilagepreis von 30 €/t FM, an manchen Standorten wirtschaftlich attraktiv	Treibhausgasminderungspotenzial von rund 74 % im Vergleich zur Wärmeerzeugung mit fossilen Brennstoffen	Biogasanlage technisch umsetzbar, mehrere Praxisanlage bekannt, flexibel in Substrateinsatz. Anlage gut in landwirtschaftlichen Betrieb integrierbar, Wärmenutzung nach EEG 2009 nicht zwingend

7.3 Ausblick zur praktischen Umsetzung der Nutzungskonzepte

Es bleibt festzuhalten, dass die Erarbeitung eines passenden Nutzungskonzeptes für die energetische Verwertung von Biomassereststoffen aus der extensiven Nutzung von Grünlandflächen sowie der Gewässerunterhaltung oder Biotoppflege immer sehr differenziert im Hinblick auf die konkreten Bedingungen vor Ort erfolgen muss und in der Regel keine pauschalisierten Standardlösungen möglich sind. Hierzu wird in Abbildung 7-1 eine Übersicht gegeben unter welchen prinzipiellen Bedingungen sich welche Nutzungskonzepte eignen können:

Bei der Entwicklung von geeigneten Nutzungskonzepten muss zunächst nach der **Einsatzstoffqualität** unterschieden werden. Gras mit hohem Ligningehalt und Schilf mit relativ niedrigen Konzentrationen von verbrennungstechnisch schwierigen Elementen wie K, Cl, und N eignen sich eher für die Nutzung in Heizwerken, während sich ligninarmes Gras eher für die Nutzung in Biogasanlagen eignet. Nach Einschätzung des derzeitigen Stands der Technik muss daher eine Festlegung auf die grundsätzlichen Konversionspfade Biogas und Verbrennung in Abhängigkeit der Substratqualität, vor allem bei sehr hohen Lignin- beziehungsweise Konzentrationen von verbrennungstechnisch schwierigen Elementen erfolgen. Wobei beachtet werden muss, dass diese Differenzierung nach den Konversionspfaden mit technologischem Fortschritt zunehmend unschärfer wird, da sich das Spektrum der nutzbaren Einsatzstoffqualitäten beider Konversionspfade ausdehnt und sich somit auch der Übergangsbereich vergrößert.

Nach dem derzeitigen **technischem Stand** ist die Nutzung von Gras und Schilf zur Energieerzeugung in Heuheizwerken sowie in Biogasanlagen möglich. Für Heuheizwerke bestehen Erfahrungswerte vor allem für Ganzballenfeuerungen mit Strohballen. In den letzten Jahren wurden mehrere Anlagen dieses Feuerungstyps (meist zwischen 300 und 1.200 kW thermischer Leistung) installiert. Einigen Anbietern zu Folge, können diese Anlagen auch mit Heu geringer Konzentrationen verbrennungstechnisch schwieriger Elemente betrieben werden. Praktische Erfahrungen zu Heupelletheizwerken bestehen in Deutschland jedoch kaum. Vor allem der Einsatz in kleineren Anlagen (< 100 kW_{NWL}) zur dezentralen Nutzung von Heu, wofür sich vor allem Pellets eignen würden, gelten derzeit als nicht marktreif, da der erforderliche Nachweis zur Einhaltung der Grenzwerte (1. BImSchV) nach dem derzeitigen Wissensstand noch aussteht. Für die Nutzung von Gras in Biogasanlagen existieren bereits marktreife technische Lösungen für Neuanlagen sowie für die Um- oder Aufrüstung von Bestandsanlagen. Hierzu gibt es bereits praktische Erfahrungen von mehreren Anlagen in Deutschland, die Gras als Co-Substrat einsetzen (vgl. Kapitel 6.1.3). Für den ausschließlichen Einsatz von Gras zur Biogaserzeugung bestehen jedoch nur wenige praktische Erfahrungen. Für diese Biogasanlagentypen, besteht hinsichtlich der effizienten Substratausnutzung noch Optimierungsbedarf. Hier wird seitens mehrerer Biogasanlagenhersteller intensiv an der Nutzbarmachung des Substrats Gras gearbeitet.

Mit der Festlegung auf einen Konversionspfad bestimmt sich auch der **Flächenbedarf an Grünland**. Bei der Nutzung von Gras in der Biogasanlage ist neben der Erzeugung von Wärme vor allem die Erzeugung von Strom vorgesehen. Hingegen wurde bei den hier betrachteten Nutzungskonzepten mit Verbrennungsanlagen nur die Wärmeerzeugung berücksichtigt. Bei der gekoppelten Wärme und Stromerzeugung in Biogasanlagen ist der Einsatzstoffbedarf und dadurch auch der Grünlandflächenbedarf deutlich höher als bei der ausschließlichen Erzeugung von Wärme in Heuheizwerken bei gleicher thermischer Leistung.

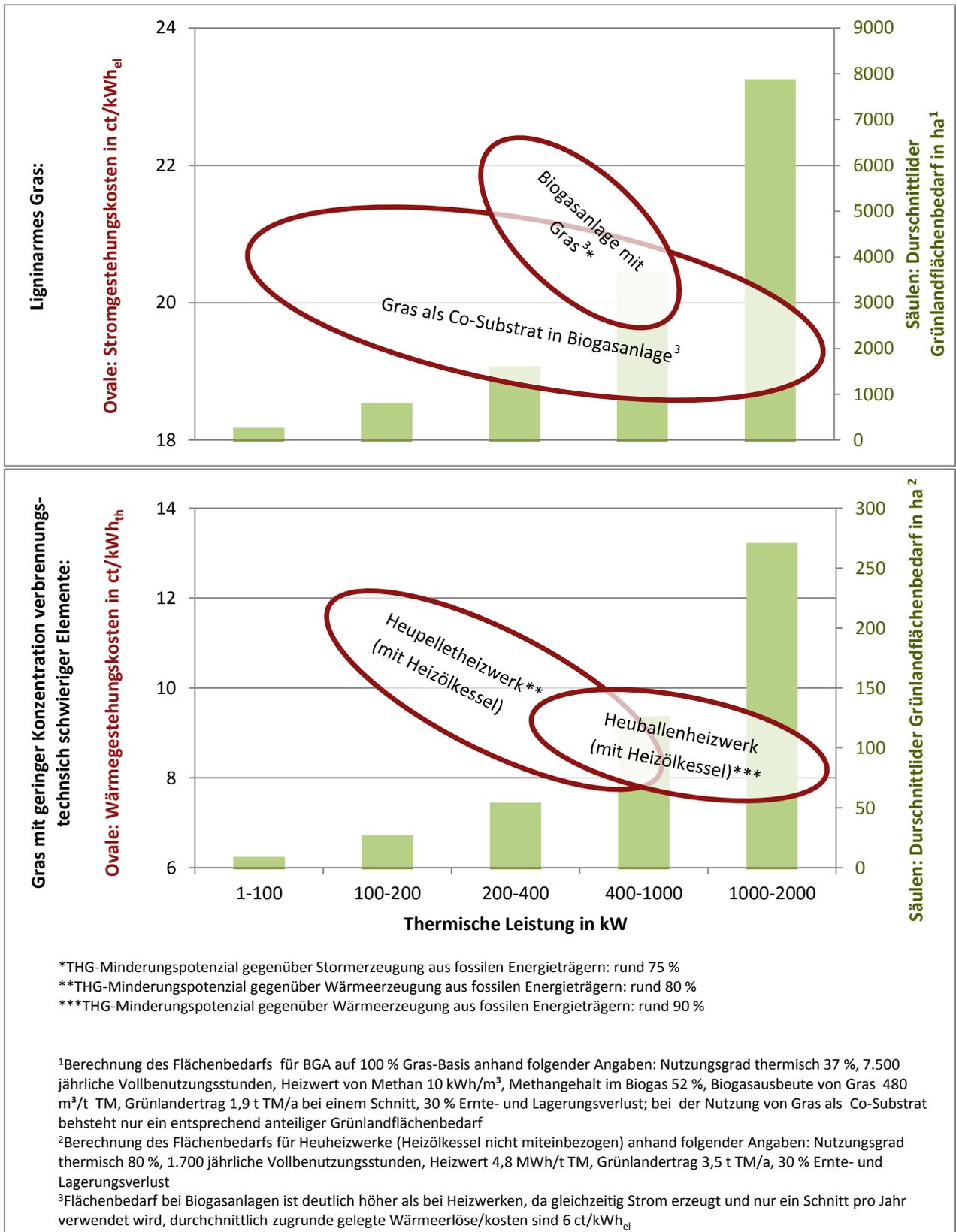


Abbildung 7-1: Schematische Darstellung zur Anwendung der Nutzungskonzepte in Abhängigkeit vom Wärmebedarf potenzieller Wärmenutzer, den Wärme- beziehungsweise Stromgestehungskosten sowie von der verfügbaren Grünlandfläche und der Einsatzstoffqualität (Lignin- und Nährstoffgehalt (N, K, Cl)) (Abbildung: DBFZ)

Die Festlegung auf einen Konversionspfad stellt gleichzeitig auch wesentliche **Bedingungen an die Wärmenutzung** dar. Während bei der Biogasanlage die kontinuierliche Stromerzeugung von wirtschaftlich höherer Bedeutung ist als die Wärmeerzeugung, steht diese im Vordergrund. Um die damit einhergehende kontinuierlich erzeugte Wärme weitestgehend zu nutzen, sollte die Wärmeabnahme entsprechend kontinuierlich erfolgen. Sehr gut geeignete Einsatzgebiete sind beispielsweise die Brauchwasserversorgung von Haushalten, Wärmenutzung für die Kälteerzeugung von Kühlhäusern oder die ganzjährige Nutzung in Trocknungsanlagen. Heuheizwerke können hingegen, vor allem in Kombination mit einem Spitzenlastkessel auf Basis von fossilen Brennstoffen wie Heizöl, eine an die saisonalen Bedarfsschwankungen angepasste Wärmeerzeugung bewerkstelligen. Diese Anlagen weisen einen wesentlich geringeren Platzbedarf auf und sind somit auch für die dezentrale Wärmeversorgung in dichter bebauten Gebieten geeignet.

Grundsätzlich kann die **Wärmeversorgung** mit beiden Konversionspfaden in nahezu allen dargestellten **Leistungsklassen** bewerkstelligt werden. Einschränkungen bestehen bei Heuheizwerken $< 100 \text{ kW}_{\text{NWL}}$, deren Nachweis zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte nach 1. BImSchV noch aussteht.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich der Einsatz von Heupellets zur dezentralen Wärmebereitstellung in kleinen Anlagen ($< 100 \text{ kW}_{\text{th}}$) derzeit nicht eignet. Zur Wärmeerzeugung aus Heu eignen sich vor allem größere, speziell auf Heu eingestellte, marktreife Strohballenheizwerke. Die Wärmeerzeugung aus Heuheizwerken in Kombination mit einem Spitzenlastkessel stellt eine an die Last angepasste Wärmeerzeugungsmöglichkeit dar wobei in vielen Fällen niedrige Wärmegestehungskosten zu erwarten sind. Der Einsatz von Grüngut in Biogasanlagen ist aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll und technisch weitestgehend realisierbar. Wesentliche Voraussetzung für ein erfolgreiches Konzept stellt jedoch die genaue Betrachtung und Analyse des Anlagenstandortes dar. Die Nutzung von Gras in Biogasanlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung geht mit einem deutlich höheren Grünlandflächenbedarf einher und eignet sich vor allem für eine kontinuierliche Wärmeversorgung.

7.4 Weiterer Forschungs- und Handlungsbedarf

Im Projekt „Grünlandenergie Havelland“ wurden wesentliche Forschungsfragen hinsichtlich der Entwicklung von Nutzungskonzepten für eine energetische Verwertung von Gras und Schilf beantwortet. Während der Bearbeitung wurden weiterführende zentrale Herausforderungen für eine erfolgreiche und effiziente Umsetzung von entsprechenden Konzepten herausgearbeitet. Besonders hinsichtlich der technischen Weiterentwicklung im Bereich der Ernte und Bergung von Material, der Verbrennungstechnik sowie der Substratvorbehandlung in Biogasanlagen zeigte sich konkreter Forschungsbedarf. Zudem wurden wesentliche Informations- und Datenlücken bezüglich der Substrataufkommen und -eigenschaften deutlich.

Hervorzuheben sind folgende Bereiche mit vordringlichem Forschungs- und Handlungsbedarf:

- Datengrundlagen zur Zuteilung spezieller Grassortimente und Substrate aus der Gewässerunterhaltung zu den Nutzungspfaden Biogas und Verbrennung
- Entwicklung geeigneter Technik zur Bergung, Trocknung und Säuberung von Materialien aus der Gewässerunterhaltung

- Substrat-/ Brennstoffaufbereitung der Materialien der Gewässerpflege
- Weiterentwicklung und Erprobung der Vorbehandlungstechnik (beispielsweise Hydrolyse) für Biogasanlagen
- Weiterentwicklung der Verbrennungs- und Abscheidetechnik
- Installation von Pilot- und Demonstrationsanlagen

Die **Biomasseaufkommen** von Grünland aus der Gewässerunterhaltung sowie von besonderen Biotopen sind sehr heterogen und ihre **Eigenschaften** wesentlich vom Standort und der Bewirtschaftung abhängig. Um allgemeingültige Empfehlungen zu deren Nutzung in bestimmten Anlagentypen (Biogas oder Verbrennung) aussprechen zu können, müssen ihre Qualitäten, beispielsweise der Ligninanteil oder Chlor- und Stickstoffgehalte berücksichtigt werden. Aus diesem Grund bedarf es bei der Potenzialanalyse entsprechende, flächenbezogene Informationen, die jedoch überwiegend fehlen. Zur besseren Abschätzung inwieweit das vorhandene Substrat sich für die Biogasanlage beziehungsweise für das Heizwerk eignet, bedarf es daher einer konkreten Ausformulierung von Anforderungen an die Qualität der Einsatzstoffe. Darauf aufbauend muss dann eine Analyse der energetisch, ökologisch und wirtschaftlich optimalen Zuordnung des vorhandenen Grünguts zu den geeignetsten Verwertungswegen erfolgen. Um dies vornehmen zu können, bedarf es der Ermittlung und Kartierung der relevanten Informationen über die vorherrschenden Pflanzenarten, die Bewirtschaftungsformen und die herrschenden Standortbedingungen (Klima, Boden).

Das Material aus der Gewässerunterhaltung wurde im Rahmen der Potenzialanalyse ermittelt und eignet sich im Allgemeinen zur energetischen Nutzung. Die derzeitigen Unterhaltungsmaßnahmen bieten aufgrund der gängigen Technik jedoch keine Möglichkeit der kosteneffizienten Bergung des Biomassepotenzials. Dieses erfordert neue **Techniken**, um das Material nicht nur effizient zu mähen sondern auch zu bergen, zu transportieren und aufzubereiten (Häckseln, Trocknen, Pelletieren etc.). Im Bereich der Erntetechnik existieren bereits einzelne Prototypen mit hoher Eignung für entsprechende Aufgaben. Es wird empfohlen spezielle Maschinen und Verfahren im Rahmen von Erprobungsvorhaben (weiter-)zu entwickeln.

Die **Substrate aus der Gewässerunterhaltung** stellen gleichzeitig besonders hohe Anforderungen an die Konversionstechnik. Das Material ist häufig sehr heterogen und weist zum Teil einen hohen Anteil mineralischer Stoffe auf. Um es, wie angestrebt verstärkt nutzen zu können, bedarf es der Weiterentwicklung gängiger Konversionstechnologien. Für den Einsatz in Biogasanlagen forschen gegenwärtig einige Firmen (beispielsweise die Bionova Biogas GmbH) intensiv an entsprechenden Verfahren. Hier bedarf es allerdings noch weiterer Anstrengung um die Nutzung dieser Materialien zeitnah in die Praxisreife zu überführen. In diesem Zusammenhang ist die gezielt Förderung von Pilot- und Demonstrationsanlagen (Biogasanlagen und Heuheizwerke) zu empfehlen.

Der Einsatz von Grüngut in der Biogasanlage erfordert es Neuanlagen gezielt auf diese Substrate zuzuschneiden oder Altanlagen entsprechend nachzurüsten. In beiden Fällen bedarf es gegenwärtig vornehmlich der Erprobung entwickelter Technik und iterativer Weiterentwicklung der Verfahren. Maßgeblich erscheint die Erweiterung von traditionellen Biogasanlagen um Vorbehandlungsstufen zum besseren Aufschluss von halmgutartigem Material.

Für den **Einsatz von Heu in Verbrennungsanlagen** sind Anpassungen und Optimierungen bei der Brennstoffaufbereitung und der Kesseltechnik erforderlich, um einen Einsatz unter positiven ökologisch und ökonomischen Gesichtspunkten zu ermöglichen. Maßgeblich ist die Entwicklung von Anlagen mit einer thermischen Leistung unter 100 kWh die sich zur Verbrennung von entsprechenden Holzpellets eignen und nicht auf DIN-Holzpellets angewiesen sind. Weiterhin ist aufgrund der Abhängigkeit der Brennstoffeigenschaften von Standortbedingungen und Bewirtschaftungsmethoden eine frühzeitige Anpassung der für die Verbrennung relevanten Eigenschaften notwendig. Dies kann beispielsweise durch die Zugabe von Additiven erfolgen. Hierbei besteht hinsichtlich der einfachen und schnellen Ermittlung kritischer Eigenschaften direkt im Aufbereitungsprozess und eine, darauf aufbauende automatisierte Regelung der Additivzugabe noch Entwicklungsbedarf.

Ein Ansatz zur Brennstoffentwicklung ist das „Scheffer-Prinzip“, bei dem ein kombiniertes Verfahren für die Herstellung von Einsatzstoffen zur energetischen Nutzung in Biogas- und Verbrennungsanlagen angewandt wird. Dabei wird frisch gemähtes Gras genutzt und in eine wässrige Lösung gegeben. Nährstoffe und weitere Spurenelemente sollen dabei ausgespült werden. Das Gras wird anschließend gepresst, bis ein, für die Verbrennung ausreichend, niedriger Wassergehalt besteht. Der dabei gewonnene Presssaft soll einer Biogasanlage zugeführt werden, während der Trockenanteil pelletiert und einem Heizwerk zugeführt werden soll. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass es das Lignin (in der trockenen Phase) von dem Biogassubstrat abscheidet und gleichermaßen problematische Nährstoffe und Spurenelemente wie Chlor und Stickstoff von der Trockenphase, die für die Verbrennung bestimmt ist, trennt. Damit wären die Eigenschaften des Substrats für die Biogasanlage und die des Brennstoffs für die Verbrennung deutlich optimiert. Nachteilig zeigt sich hierbei der hohe Energieaufwand für das Pressen. Diesem oder ähnlichen Aufbereitungsverfahren wurde unter anderem in dem Projekt PROGRASS an der Universität Kassel nachgegangen. Wenige Firmen wie die Bi.En GmbH & Co. KG in Kiel oder auch die Florafuel AG in München arbeiten derzeit an ersten Demonstrationsanlagen für neue Aufbereitungsverfahren (vgl.[162][163][194]). Aufgrund der großen Bedeutung der Einsatzstoffeigenschaften für die Umsetzbarkeit von Nutzungskonzepten wird empfohlen, entsprechende Verfahren zur Brennstoffaufbereitung weiterzuentwickeln.

Nach Auswertung der befragten Betriebe und Einrichtungen im Havelland haben viele Akteure ihr grundsätzliches Interesse zur Nutzung von Heu als Brennstoff geäußert (Kapitel 3.5). Dem gegenüber steht eine große Unsicherheit hinsichtlich der Eignung von Heu in Verbrennungsanlagen und der Erfüllung rechtlicher Vorschriften beziehungsweise der Eignung von Gras von extensiven Flächen und Schilf in Biogasanlagen. Um diese Kluft schließen zu können sollten **Pilot- und Demonstrationsanlagen** für die entsprechend gut geeigneten Nutzungskonzepte installiert werden. Dran können Langzeitversuche zum Einsatz von Heu in Verbrennungsanlagen, respektive Gras in Biogasanlagen durchgeführt werden. Bei entsprechender Eignung können diese Anlagen dann auch für die Weiterbildung von Projektentwicklern, Energieberater und Anlagenbetreibern genutzt werden, um letztlich die Kluft des Interesses zum Einsatz von Heu und Gras zur Energieerzeugung und der gegenüberstehenden Unsicherheit zu schließen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Abgrenzung des Untersuchungsgebiets „Havelland“ (Abbildung: Bosch & Partner)....	4
Abbildung 2-1: Übersicht zur Gliederung des Kapitels 2 Potenzialanalyse (Abbildung: Bosch & Partner)	7
Abbildung 2-2: Methodengerüst zur Analyse von Biomassepotenzialen (Abbildung: Bosch & Partner)	10
Abbildung 2-3: Schematische Darstellung der Potenzialanalyse von Grünlandbiomasse in zwei Stufen (theoretisches und energetisch nutzbares Potenzial) (Abbildung: Bosch & Partner)	14
Abbildung 2-4: Parameter und Einflussfaktoren der Stufe 1 für Grünlandbiomasse (Abbildung: Bosch & Partner)	17
Abbildung 2-5: Parameter und Einflussfaktoren der Stufe 2 für Grünlandbiomasse (Abbildung: Bosch & Partner)	18
Abbildung 2-6: Schematische Darstellung der Potenzialanalyse aus der Gewässerunterhaltung (theoretisches und energetisch nutzbares Potenzial) (Abbildung: Bosch & Partner)	20
Abbildung 2-7: Parameter und Einflussfaktoren für Biomasse aus der Gewässerunterhaltung (Abbildung: Bosch & Partner)	22
Abbildung 2-8: Schematische Darstellung der Grobanalyse von besonderen Biotopen (theoretisches Potenzial) (Abbildung: Bosch & Partner).....	23
Abbildung 2-9: Grünlandflächen im Havelland (Foto: Bosch & Partner).....	24
Abbildung 2-10: Nutzung der landwirtschaftlichen Fläche im Untersuchungsgebiet, dargestellt in den Kategorien Acker und Grünland (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB]).....	25
Abbildung 2-11: Verrottende Heuballen am Rand einer Grünlandfläche im Havelland (Foto: Bosch & Partner)	26
Abbildung 2-12: Verteilung der Maisanbauflächen nach Feldblöcken von niedrig 0 ha/Gemeinde und hoch 3.840 ha/Gemeinde (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB])	35
Abbildung 2-13: Gemeinden mit negativer Maisbilanz (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [LGB])	36
Abbildung 2-14: Räumliche Verteilung der Standorttypen auf der landwirtschaftlichen Fläche im Untersuchungsgebiet (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, MMK, LGB])	38
Abbildung 2-15: Nutzungsintensität der Grünlandflächen im Untersuchungsgebiet, dargestellt anhand des Feldblockanteils intensiver und extensiver Nutzung in Prozent (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB])	39
Abbildung 2-16: Verteilung des theoretischen Biomassepotenzials im Untersuchungsgebiet (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, MMK, LGB])	40
Abbildung 2-17: Ausprägung des Gesamtbiomasseertrags der Gemeinden aufgeschlüsselt nach der Nutzungsintensität (intensiv oder extensiv) (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB, MMK]).....	41

Abbildung 2-18: Gemeinden in denen überschüssige Biomasse von extensiv genutzten Grünflächen zur möglichen energetischen Nutzung vorhanden ist (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB])	42
Abbildung 2-19: Gemeinden in denen überschüssige Biomasse von intensiv genutzten Grünflächen zur möglichen energetischen Nutzung vorhanden ist (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB])	43
Abbildung 2-20: Unterhaltungsmaßnahme „Sohlkrautung“ am Gewässer II. Ordnung, Brandenburg (Foto: Bosch & Partner).....	44
Abbildung 2-21: Gewässerabschnitt II. Ordnung nach der Unterhaltung, Brandenburg (Foto: Bosch & Partner)	45
Abbildung 2-22: Gewässernetz I. und II. Ordnung im Untersuchungsgebiet (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [WBV, LGB]).....	48
Abbildung 2-23: Punktquellen von Biomasse aus der Gewässerunterhaltung im Untersuchungsgebiet (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [WBV, LGB]) .	51
Abbildung 2-24: Ausschnitt der kleinflächigen, besonderen Biotope und deren dezentrale räumliche Verteilung im Untersuchungsgebiet (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [LGB, LUGV]).....	54
Abbildung 2-25: Übersicht der Kompensationspools im Untersuchungsgebiet (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [Flächenagentur Brandenburg 2010])	55
Abbildung 2-26: Biomasseaufkommen von landwirtschaftlichem Grünland innerhalb eines 2 km Radius (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB]).....	59
Abbildung 2-27: Biomasseaufkommen von landwirtschaftlichem Grünland innerhalb eines 10 km Radius (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB])	60
Abbildung 2-28: Biomasseaufkommen von landwirtschaftlichem Grünland innerhalb eines 2 km Radius, von besonderen Biotopen und Punktquellen an Gewässern (Abbildung: Bosch & Partner, nach Daten von [2, LGB, WBV, LUGV])	61
Abbildung 3-1: Anlagenstandorte von Biomasseheizkraftwerke (BMHKW) und Biomasseheizwerke (BMHW) (Abbildung: DBFZ, nach Daten von [52,53, DBFZ-Datenbank, telefonische Befragung])	85
Abbildung 3-2: Biogasanlagen im Untersuchungsgebiet (Abbildung: ATB)	87
Abbildung 3-3: Überblick aller Wärmesenken, ohne Wärmebedarf aus privaten Haushalten (Mittelwerte) (Abbildung: DBFZ)	88
Abbildung 3-4: Überblick aller Wärmesenken, inklusive privater Haushalte (Mittelwerte) (Abbildung: DBFZ).....	89
Abbildung 4-1: Kartographische Gegenüberstellung von Grüngutpotenzialen und bestehenden Wärmesenken (Abbildung: DBFZ)	95
Abbildung 5-1: Fließbild einer Pelletproduktion (Abbildung: DBFZ)	99
Abbildung 5-2: Wirkungsweise verschiedener Ballenauflöser (Abbildung: [75])	100
Abbildung 5-3: Schematische Darstellung von Hammermühle (A) und Schneidmühle (B) (Abbildung: [77]).....	101
Abbildung 5-4: Konditionierer im Technikum des DBFZ (Foto: DBFZ)	102
Abbildung 5-5: Arbeitsweise von Flach- (A) und Ringmatrizenpressen (B) (Abbildung: [75]).....	104

Abbildung 5-6: Zweistufige Zerkleinerung von Heu 1163; (A) Ausgangsmaterial aus Ballen, (B) nach Grobzerkleinerung, (C) nach Feinzerkleinerung (Fotos: DBFZ)	108
Abbildung 5-7: Pelletieranlage RMP 250 im Aufbereitungstechnik des DBFZ; (A) Gesamtanlage, (B) 6x30 mm Ringmatrize, (C) Pressraum und Koller (Fotos: DBFZ)	109
Abbildung 5-8: Pelletchargen, hergestellt mit verschiedenen Ausgangswassergehalten; (A) 10 Ma.-%, (B) 18 Ma.-% (Fotos: DBFZ)	109
Abbildung 5-9: Einfluss des Ausgangswassergehalt auf die physikalisch-mechanischen Eigenschaften und den Energieeintrag der Charge 1162 (Abbildung: DBFZ).....	112
Abbildung 5-10: Mech. Festigkeit und Schüttdichte in Abhängigkeit des Ausgangswassergehalts der untersuchten Chargen (Abbildung: DBFZ).....	113
Abbildung 5-11: Schematischer Aufbau einer Anlage zur Heupelletierung (Abbildung : [116])	116
Abbildung 5-12: Untersuchte Varianten der Pelletierung (Abbildung: DBFZ)	117
Abbildung 5-13: Anlage zur Pelletierung von Halmgut bei der Firma Agrarhandel Müller GbR in Dietingen-Böhringen (Foto: [117])	118
Abbildung 5-14: Zusammensetzung der Kosten (Annuität) für die Produktion von einer Tonne Pellets in einem eigenen, stationären Pelletwerk (insgesamt: 86,30 €/tPellets) (Abbildung: DBFZ).....	119
Abbildung 5-15: Beispiel für eine Anlage ohne Peripherie-Geräte: Easypell 100 der Firma Michael Schmitt - Nutzung erneuerbarer Energiequellen aus Saarlouis, Leistung: 100 bis 150 kg/h (Foto: [121]).....	120
Abbildung 5-16: Mobile Pelletiereinheit der Firma BauerPower (Foto: [122])	125
Abbildung 5-17: Zusammensetzung der Kosten für die Produktion von einer Tonne Pellets durch einen mobilen Lohnpelletierer (Insgesamt: 101,90 €/tPellets) (Abbildung: DBFZ) .	126
Abbildung 5-18: Versuchsanlage der Universität Rostock (Abbildung: [142])	138
Abbildung 5-19: Prinzipskizze des Vergaserheizkessels der Fa. Herlt (Abbildung : [143])	139
Abbildung 5-20: Prinzipskizze des Strohheizwerks in Schkölen (Abbildung : [146])	141
Abbildung 5-21: Prinzipskizze des Bioheizwerks Jena (Abbildung : [148])	142
Abbildung 5-22: Prinzipskizze des Strohheizkessels der Firma Passat Energi A/S (Abbildung : [149])	143
Abbildung 5-23: Prinzipskizze der Strohverbrennungsanlage der Gemeinde Dobersberg (Abbildung: [150])	144
Abbildung 5-24: Schema des geplanten Stroh-Heizkraftwerkes in Emlichheim (Abbildung: [152])	145
Abbildung 5-25: CO-Emissionen der Versuchsbrennstoffe in zwei Kesselanlagen (Abbildung: DBFZ)	157
Abbildung 5-26: Org.-C-Emissionen der Versuchsbrennstoffe in zwei Kesselanlagen (Abbildung: DBFZ)	158
Abbildung 5-27: NO _x -Emissionen der Versuchsbrennstoffe in zwei Kesselanlagen (Abbildung: DBFZ)	159
Abbildung 5-28: SO ₂ -Emissionen der Versuchsbrennstoffe in zwei Kesselanlagen (Abbildung: DBFZ)	160
Abbildung 5-29: HCl-Emissionen der Versuchsbrennstoffe in zwei Kesselanlagen (Abbildung: DBFZ)	161

Abbildung 5-30: Dioxine und Furane der Versuchsbrennstoffe (Abbildung: DBFZ)	162
Abbildung 5-31: Feinstaubemissionen der Versuchsbrennstoffe in zwei Kesselanlagen (Abbildung: DBFZ).....	163
Abbildung 5-32: Zusammensetzung der Feinstäube der Brennstoffvariante 1 % Kaolin in zwei Kesselanlagen (EC/OC-Analysen des Feinstaubes aus Kessel 1 konnten nicht durchgeführt werden) (Abbildung: DBFZ)	164
Abbildung 5-33: Standorte für die Ermittlung der Biomassebereitstellungskosten (Abbildung: DBFZ).....	171
Abbildung 5-34: Standortbezogene Verteilung der technischen Grünschnittpotenziale für die Verbrennung (60 %) inkl. Bereitstellungsverluste (30 %) (Abbildung: DBFZ).....	172
Abbildung 5-35: Einzelprozesse der modellierten Bereitstellungskette und jeweilige Frischmasseverluste (Abbildung: DBFZ [in Anlehnung an 9])	173
Abbildung 5-36: Maschineneinsatz und Stoffstrom am Beispiel eines Anlagenbedarfs von 5.000 t FM (Abbildung: DBFZ [in Anlehnung an 9])	174
Abbildung 5-37: Standortbezogene Bereitstellungskosten für die sechs untersuchten Standorte (Abbildung: DBFZ).....	177
Abbildung 5-38: Kosten der Einzelprozesse bei der Bereitstellung von 5.000 t FM in Fehrbellin in €/t FM (Abbildung: DBFZ)	178
Abbildung 5-39: Stoffströme für die Bereitstellung von Grünschnitt zur Verbrennung für drei Nutzungskonzepte (Abbildung: DBFZ)	180
Abbildung 5-40: Verfügbarkeit von 5.000 t FM für die Pelletierung für das Nutzungskonzept I - stationäre Lohnpelletierung an den Standorten Fehrbellin und Selbelang (Abbildung: DBFZ).....	181
Abbildung 5-41: Liefergebiet für Pellets um den Standort Fehrbellin (Nutzungskonzept I - stationäre Lohnpelletierung) (Abbildung: DBFZ)	182
Abbildung 5-42: Aufteilung des Pelletpreises auf die Kosten der einzelnen Prozessschritte in Nutzungskonzept I - stationäre Lohnpelletierung am Standort Fehrbellin (Abbildung: DBFZ).....	183
Abbildung 5-43: Sensitivitätsanalyse der Heupelletnutzung entsprechend Nutzungskonzept I - stationäre Lohnpelletierung in einer bestehenden Anlage in Fehrbellin, K1: 75 kW-Kessel, K2: 150 kW-Kessel, K3: 450 kW-Kessel, bivalent (Abbildung: DBFZ)	184
Abbildung 5-44: Verfügbarkeit von 5.000 t FM für die Pelletierung für das Nutzungskonzept II - Neubau stationäre Pelletierung an den Standorten Rathenow beziehungsweise Fehrbellin (Abbildung: DBFZ).....	186
Abbildung 5-45: Liefergebiet für Pellets um den Standort Rathenow (Nutzungskonzept II - Neubau stationäre Pelletierung) (Abbildung: DBFZ)	187
Abbildung 5-46: Aufteilung des Pelletpreises entsprechend Nutzungskonzept II - Neubau stationäre Pelletierung in Rathenow auf die einzelnen Prozessschritte (Abbildung: DBFZ).....	188
Abbildung 5-47: Sensitivitätsanalyse der Heupelletnutzung entsprechend Nutzungskonzept II - Neubau stationäre Pelletierung in Rathenow, K1: 75 kW-Kessel, K2: 150 kW- Kessel, K3: 450 kW-Kessel, bivalent (Abbildung: DBFZ).....	189

Abbildung 5-48: Verfügbarkeit von 350 t FM für die Heuballenfeuerung an den Standorten Neuruppin und Brandenburg entsprechend Nutzungskonzept III – Ganzballenfeuerung (Abbildung: DBFZ).....	191
Abbildung 5-49: Sensitivitätsanalyse der Heuballennutzung entsprechend Nutzungskonzept III - Ganzballenfeuerung, 400 kW Heuballenfeuerung + 400 kW Heizöl-Kessel, bivalent, K4: Neuruppin, K5: Brandenburg (Abbildung: DBFZ).....	193
Abbildung 5-50: Annuitäten und Wärmegestehungskosten der Heuverbrennung und der Referenzkonzepte entsprechend Nutzungskonzept I - stationäre Lohnpelletierung in Fehrbellin; Kxa: Heupellets, Kxb: Holzpellets, Kxc: Heizöl (Abbildung: DBFZ).....	194
Abbildung 5-51: Annuitäten und Wärmegestehungskosten der Heuverbrennung und der Referenzkonzepte entsprechend Nutzungskonzept II - Neubau stationäre Pelletierung in Rathenow; Kxa: Heupellets, Kxb: Holzpellets, Kxc: Heizöl (Abbildung: DBFZ).....	195
Abbildung 5-52: Annuitäten und Wärmegestehungskosten der Heuverbrennung und der Referenzkonzepte entsprechend Nutzungskonzept III - Heuballenverbrennung; Kxa: Heuballen, Kxb: Holzhackschnitzel, Kxc: Heizöl, K4: Neuruppin, K5: Brandenburg (Abbildung: DBFZ).....	196
Abbildung 5-53: THG-Emissionen aus der energetischen Nutzung von Heu auf Basis einer mobilen Lohnpelletierung für drei Standorte (in kg CO ₂ -Äq./kWh _{th}) (Abbildung: DBFZ).....	199
Abbildung 5-54: THG-Emissionen aus der energetischen Nutzung von Heu auf Basis einer stationären Pelletierung für drei Standorte (in kg CO ₂ -Äq./kWh _{th}) (Abbildung: DBFZ).....	200
Abbildung 5-55: THG-Emissionen aus der energetischen Nutzung von Heuballen für zwei Standorte (in kg CO ₂ -Äq./kWh _{th}) (Abbildung: DBFZ).....	202
Abbildung 5-56: Vergleich der THG-Emissionen unterschiedlicher Standorte und Nutzungskonzepte zur Produktion von Wärme auf Basis von Heu (in kg CO ₂ -Äq./kWh _{th}) (Abbildung: DBFZ).....	203
Abbildung 5-57: Einfluss der Variation der Distributionsentfernung auf die THG-Emissionen pro MJ Wärme aus Heupellets aus stationärer Pelletierung am Standort Fehrbellin (Abbildung: DBFZ).....	204
Abbildung 6-1: Relative Einsatzhäufigkeit der Substrate im Havelland und in Deutschland (Abbildung: ATB, für Deutschland nach Daten von [177]).....	213
Abbildung 6-2: Massenanteile der in Biogasanlagen im Havelland und in Deutschland eingesetzten Substraten in % FM (Abbildung: ATB [eigene Angaben und [177]])	214
Abbildung 6-3: Grassilage unterschiedlicher Qualitäten: zu nass, verschimmelt, qualitativ angemessen (Fotos: ATB).....	214
Abbildung 6-4: Biogasanlage in Nennhausen mit überwiegender Grasvergärung (Foto: ATB).....	215
Abbildung 6-5: Nass-Zerkleinerer (hier RotaCut von Vogelsang): Schneidmesser und Schneidsieb (links) und das in ein Pump- und Leitungssystem eingebaute Gerät (rechts) (Foto: ATB).....	216

Abbildung 6-6: Grassilage von Flächen mit Naturschutzauflagen: erster, spät gemähter Aufwuchs für Mutterkühe (links) und zweiter Aufwuchs für die Biogasanlage (rechts) (Foto: ATB)	217
Abbildung 6-7: Potenzielle Standorte für neue dezentrale Biogasanlagen (Abbildung: ATB/DBFZ)	219
Abbildung 6-8: Standortspezifische Verfügbarkeit von Grünschnitt zur Biogasgewinnung (40 %) inkl. Bereitstellungsverluste (20 %) (Abbildung: DBFZ/ATB).....	221
Abbildung 6-9: Einfluss ausgewählter Parameter auf die Wirtschaftlichkeit am Beispiel der 500 kW _{el} -Biogasanlage am Standort Kremmen	232
Abbildung 6-10: Maximale Zahlungsbereitschaft für Grassilage in Abhängigkeit vom Preis für Maissilage von einer bestehenden Biogasanlage (Abbildung: ATB).....	234
Abbildung 6-11: Dieselbezogene THG-Emissionen durch die Bereitstellung des Grüngutes und der Ausbringung der Gärreste (Nutzungskonzept I, 500 kW _{el} -Anlage am Standort Kremmen) (Abbildung: ATB).....	236
Abbildung 6-12: THG-Emissionen aus der Vor-Ort-Verstromung von Biogas nach der energetischen Allokationsmethode am Beispiel von Nutzungskonzept I, Standort Kremmen (Abbildung: ATB)	239
Abbildung 7-1: Schematische Darstellung zur Anwendung der Nutzungskonzepte in Abhängigkeit vom Wärmebedarf potenzieller Wärmenutzer, den Wärme- beziehungsweise Stromgestehungskosten sowie von der verfügbaren Grünlandfläche und der Einsatzstoffqualität (Lignin- und Nährstoffgehalt (N, K, Cl)) (Abbildung: DBFZ) ...	254

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Eckdaten zur Flächennutzung, Bevölkerungsanzahl und Bevölkerungsdichte im Untersuchungsgebiet [1]	5
Tabelle 1-2: Grünlandfläche, gegliedert nach deren Bewirtschaftungsintensität im Untersuchungsgebiet und aufgeteilt nach den Landkreisen (kreisfreie Städte wurden nicht berücksichtigt) [2].....	6
Tabelle 2-1: Überblick der hier verwendeten Daten mit Bezug auf den Einflussfaktor	27
Tabelle 2-2: Standorttypen der Grünlandflächen	29
Tabelle 2-3: Bewirtschaftungstypen des Grünlands	30
Tabelle 2-4: Erwartete Graserträge nach Standort- und Bewirtschaftungstyp im Untersuchungsgebiet [3,8, Ertragsdatenbank, siehe A 2]	31
Tabelle 2-5: Tierbestände im Untersuchungsgebiet und angenommene Grundfutterrationen in kg TM/(Tier*Tag).....	34
Tabelle 2-6: Berechnung der Maismengen im Untersuchungsgebiet.....	35
Tabelle 2-7: Übersicht zum theoretischen Biomassepotenzial von Grünland in t TM/a.	40
Tabelle 2-8: Bilanzierung der Grasmenge im Untersuchungsgebiet.....	42
Tabelle 2-9: Ermittelte Datengrundlagen zur Gewässerunterhaltung im Untersuchungsgebiet.....	46
Tabelle 2-10: Erträge der Punktquellen von Biomasse aus der Gewässerunterhaltung im Untersuchungsgebiet	49
Tabelle 2-11: Erträge der Netzquellen* von Biomasse aus der Gewässerunterhaltung im Untersuchungsgebiet	52
Tabelle 2-12: Datengrundlagen der besonderen Biotope im Untersuchungsgebiet	56
Tabelle 2-13: Übersicht zum theoretischen Biomassepotenzial von besonderen Biotopen in t TM/a	57
Tabelle 2-14: Überblick des Biomassepotenzials in t TM/a	58
Tabelle 3-1: Übersicht zum spezifischen Wärmebedarf pro Wohnfläche von privaten Haushalten ...	71
Tabelle 3-2: Übersicht zum spezifischen Wärmebedarf von Bildungseinrichtungen.....	72
Tabelle 3-3: Übersicht zum spezifischen Wärmebedarf von Krankenhäuser/Vorsorgeeinrichtungen	73
Tabelle 3-4: Übersicht zum spezifischen Wärmebedarf von Schwimmbädern	74
Tabelle 3-5: Übersicht zum spezifischen Wärmebedarf vom Beherbergungsgewerbe	75
Tabelle 3-6: Übersicht zum spezifischen Wärmebedarf von Gartenbaubetrieben, unterteilt in die Temperaturbereiche kalt, temperiert und war	76
Tabelle 3-7: Identifizierte Wärmesenken im Untersuchungsgebiet, für Haushalte werden die Einwohner (EW) und die bewohnte Wohnfläche (Wfl.) je Landkreis (LK) angegeben [1]	77
Tabelle 3-8: Biomasseheizwerke (BMHKW) und Biomasseheizwerke (BMHW) in der Untersuchungsregion [52,53, DBFZ-Datenbank, telefonische Befragung].....	84
Tabelle 3-9: Installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen im Untersuchungsgebiet (ATB-Daten)	86

Tabelle 3-10: Übersicht zum Befragungs- und Berechnungsergebnis des Wärmebedarfs in der Untersuchungsregion	90
Tabelle 3-11: Übersicht für das Befragungsergebnis zur Akzeptanz zum Einsatz von Heu als Brennstoff	91
Tabelle 5-1: Ausgewählte normative Anforderungen gemäß DIN EN 14961-6	98
Tabelle 5-2: Allgemeine Merkmale von Ring- und Flachmatrizenpressen	103
Tabelle 5-3: Rohstoff- und Prozessparameter der Pelletiersuche	107
Tabelle 5-4: Ergebnisse der Pelletiersuche mit Wassergehaltsvariation	111
Tabelle 5-5: Ergebnisse der Pelletiersuche mit Additiven: Schüttdichte, Verdichtungsfaktor und mechanische Festigkeit	115
Tabelle 5-6: Mögliche Alternativprodukte zur Erhöhung der Auslastung einer zentralen Pelletieranlage.....	119
Tabelle 5-7: Bewertung von Variante 1: Aufbau eines eigenen stationären Pelletwerkes.....	120
Tabelle 5-8: Bewertung von Variante 2: Betrieb kleiner dezentraler Einheiten	122
Tabelle 5-9: Bewertung von Variante 3: Lohnpelletierung in einem bestehenden stationären Pelletwerk	124
Tabelle 5-10: Bewertung von Variante 4: Mobile Lohnpelletierung.....	126
Tabelle 5-11: Zusammenfassende Bewertung der Pelletierungsvarianten 1 bis 4.....	127
Tabelle 5-12: Bewertung der Flexibilität der Pelletierungsvarianten 1 bis 4	128
Tabelle 5-13: Brennstoffdaten des Heus und Vergleich mit verschiedenen Strohsorten und Fichtenholz [73,75].....	130
Tabelle 5-14: Emissionsgrenzwerte für die Verbrennung von Stroh beziehungsweise Heu als strohähnlicher Regelbrennstoff [132,133]	133
Tabelle 5-15: Normative Anforderungen an nicht-holzartige Pellets entsprechend der DIN EN 14961-6.....	134
Tabelle 5-16: Emissionen (Halbstundenmittelwerte) beim Abbrand von Heuballen im HERLT-Ganzballenvergaser HSV 145 der Wiesenburger Land e. G. im Jahr 2003 im Vergleich zu den Grenzwerten der TA Luft, alle Angaben auf 11 Vol.-% Sauerstoff im Abgas bezogen [16,133].....	140
Tabelle 5-17 Übersicht der Analysen der zur Verfügung gestellten Heuchargen im Vergleich mit Literaturwerten von Fichtenholz [75].....	148
Tabelle 5-18: Übersicht der hergestellten Pelletchargen mit jeweiligem Additiv	150
Tabelle 5-19: Messgrößen, Messbereiche und Messfehler des verwendeten FTIR Gasmet CX 4000	152
Tabelle 5-20: Brennstoffzusammensetzung der verschiedenen Chargen	154
Tabelle 5-21: Chemische Zusammensetzung der Brennstoffpellets.....	155
Tabelle 5-22: Untersuchte Konzepte zur energetischen Nutzung des Heus in Verbrennungsanlagen.....	169
Tabelle 5-23: Maschinenkosten [9, eigene Berechnungen]	176
Tabelle 5-24: Investitionen, Annuität der jährlichen Kosten und Wärmegestehungskosten für die verschiedenen Verbrennungskonzepte entsprechend Nutzungskonzept I - stationäre Lohnpelletierung in einer bestehenden Anlage in Fehrbellin	183

Tabelle 5-25: Investitionen, Annuität der jährlichen Kosten und Wärmegestehungskosten für die verschiedenen Verbrennungskonzepte entsprechend Nutzungskonzept II - Neubau stationäre Pelletierung in Rathenow	188
Tabelle 5-26: Investitionen und wirtschaftliche Kennzahlen für das Nutzungskonzept III - Ganzballenfeuerung im Vergleich zu den Referenzkonzepten (K4: Standort Neuruppin, K5: Standort Brandenburg).....	192
Tabelle 5-27: THG-Emissionen aus der energetischen Nutzung von Heu auf Basis einer mobilen Lohnpelletierung für drei Standorte (in kg CO ₂ -Äq./kWh _{th})	198
Tabelle 5-28: THG-Emissionen aus der energetischen Nutzung von Heu auf Basis einer stationären Pelletierung für drei Standorte (in kg CO ₂ -Äq./kWh _{th}).....	200
Tabelle 5-29: THG-Emissionen aus der energetischen Nutzung von Heuballen für zwei Standorte (in kg CO ₂ -Äq./kWh _{th}).....	201
Tabelle 6-1: Beispiele für Biogasanlagen mit hohem Grasanteil in den Einsatzstoffen.....	212
Tabelle 6-2: Transportentfernung und durchschnittliche Erträge verschiedener Biogasanlagenstandorte.....	220
Tabelle 6-3: Für die Bereitstellung des Grünschnittes eingesetzte Technik.....	222
Tabelle 6-4: Bereitstellungskosten des Grünschnittes frei Biogasanlage in €/t FM Substratinput.....	223
Tabelle 6-5: Angenommene Werte für die dezentrale Biogasproduktion	224
Tabelle 6-6: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitskalkulation der Biogasanlagen.....	225
Tabelle 6-7: Substrate einer typischen 500 kW _{el} Biogasanlage im Havelland	226
Tabelle 6-8: Angenommene Werte für eine bestehende Biogasanlage	227
Tabelle 6-9: Hauptbestandteile der jährlichen Kosten einer 500 kW _{el} -Biogasanlage	228
Tabelle 6-10: Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung aus Gras an den gewählten Standorten (Angaben als Annuität).....	230
Tabelle 6-11: Annahmen zur Berechnung des THG-Minderungspotenzials.....	238
Tabelle 6-12: THG-Emissionen der Strom- und Wärmebereitstellung im Nutzungskonzept I.....	240
Tabelle 7-1: Vergleich der fünf Nutzungskonzepte, wobei grün = gute Bewertung, orange = Optimierungsbedarf	252
Tabelle 7-2: Bedeutung des Einflussfaktors Werbungs- und Lagerungsverluste	298

Literaturverzeichnis

- [1] Statistische Ämter des Bundes und der Länder: Regionaldatenbank Deutschland; (Zugegriffen 12.5.2010 auf: <https://www.regionalstatistik.de>)
- [2] InVeKoS: Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem; ausgewählte Landkreise Brandenburgs, LELF; 2009
- [3] Fechner, M. u. a.; Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (MELF), (Hrsg.): *Grünland in Brandenburg. Standortgerecht - umweltverträglich - kostengünstig bewirtschaften*; LVGF-Paulinenaue, Potsdam, 1994, 1. Aufl.
- [4] Thrän, D.; Pfeiffer, D. (Hrsg.): *Methodenhandbuch Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseffekte*; Leipzig, 2012, Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, Band 04. ISSN 2192-1806
- [5] Grünlandrunde.: Grünlandenergie Havelland – Biomasse von Grünlandflächen, Interview mit havelländischen Landwirten am 20. Oktober 2010 in Nauen; 2010
- [6] Käding, H.; Petrich, G.: Jährliche Schwankungen der Grünlanderträge; *Die Zukunft von Praxis und Forschung in Grünland und Futterbau - 50. Jahrestagung der AGGF*, S. 51–55, Lerchl-Druck, Freising, 2006, 1. Aufl., 17
- [7] Käding, H.; Petrich, G.; Werner, A.: *Modell zur Errechnung von Ertrag und Futterqualität des Grünlandes in Nordostdeutschland anhand von Standort- und Bewirtschaftungsmerkmalen - Handbuch für Modellanwender*; Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie, Müncheberg, 2005
- [8] Hertwig, F.; Priebe, R.: Futterqualität und Ertrag von extensiv bewirtschaftetem Grünland; Fleischrindertag am 03. November 2009, Götz, 2009
- [9] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), (Hrsg.): *Betriebsplanung Landwirtschaft 2010/11*; KTBL, Darmstadt, 2010, 22. Aufl., Ausgabe 2010, (ISBN: 978-3-941583-38-2)
- [10] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), (Hrsg.): *Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen*; KTBL, Darmstadt, 2010, 2. Aufl., (ISBN: 978-3-941583-42-9)
- [11] Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, (Hrsg.): *Viehbestände im Land Brandenburg am 3. Mai 2007*; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, Potsdam, 2007, Statistischer Bericht C III 1 – 4j / 07
- [12] Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, (Hrsg.): *Rinder im Land Brandenburg am 3. Mai 2010*; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, Potsdam, 2010, Statistischer Bericht C III 9 – hj 1 / 10
- [13] Mietz, O.; Vedder, F.: Energetische Nutzung von Schilf und Makrophyten in Seen und Fließgewässern; Forum Nachhaltiger Gewässerschutz und Gewässerrestoration - Energetische Nutzung von Gewässern am 03. Oktober 2010, Seddiner See, 2010

- [14] Löhr, A.: Energetische Verwertung von Schnitt- und Mähgut im Rahmen der naturnahen Gewässerunterhaltung; Forum 5 auf der Konferenz „Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial“ am 01. März 2011, Berlin, 2011
- [15] Jandewerth, M.: Einsatz von Geoinformationstechnologien zur räumlichen Analyse von Potenzialen aus der Straßenbegleitpflege sowie der Gewässerunterhaltung; Forum 5 auf der Konferenz „Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial“ am 01. März 2011, Berlin, 2011
- [16] Kiewewalter, S. u. a.: *Nutzungsalternativen von Grünlandaufwüchsen in sächsischen Vorgebirgslagen – Ein Beitrag zur Erhaltung der Kulturlandschaft und des ländlichen Raums*; 2007, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 2/2007
- [17] Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), (Hrsg.): *Landwirtschaftliche Biomasse - Potenziale an Biomasse aus der Landwirtschaft des Freistaates Sachsen zur stofflichenergetischen Nutzung*; Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Dresden, 2006
- [18] Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, (Hrsg.): *Bodennutzung der landwirtschaftlichen Betriebe im Land Brandenburg 2009: Anbau auf dem Ackerland – endgültiges Ergebnis*; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, Potsdam, 2009, Statistischer Bericht C I 1 – j / 09
- [19] Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, (Hrsg.): *Größenstruktur der landwirtschaftlichen Betriebe im Land Brandenburg 2007*; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, Potsdam, 2008, Statistischer Bericht C IV 7 - 2j / 07.
- [20] Empfehlung 2008/48 „Landschaftspflege-Bonus im Sinne des § 27 Abs. 4 Nr. 2 i.V. m. Anlage 2 EEG 2009“; 2009, (Zugegriffen 2.12.2010 auf: <http://www.clearingstelle-eeg.de/EmpfV/2008/48>)
- [21] Reinhard Priebe.: Persönliche Mitteilung im November 2010 von Reinhard Priebe, Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF); Referat Ackerbau und Grünland; 2010
- [22] Geißler, B.: *Fütterung und Rationsgestaltung für Rindern in Brandenburg*; Bericht, Landesanstalt für Landwirtschaft, Abt. Tierzucht und Tierhaltung, Groß Kreutz, 2001
- [23] Kirchgeßner, Manfred: *Tierernährung*; DLG-Verlag-GmbH, Frankfurt am Main, 2004, 11. Aufl.
- [24] Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (MLUV), (Hrsg.): *Produktions- und Reproduktionsleistungen in Brandenburger Mutterkuhbeständen*; 2006, Bd. 7 Heft VI, Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Abteilung Landwirtschaft und Gartenbau, Reihe Landwirtschaft
- [25] Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MIL); Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, (Hrsg.): *Datensammlung für die Betriebsplanung und die betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg Ackerbau / Grünlandwirtschaft / Tierproduktion Ausgabe 2010*; 2010, Bd. 11, Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Abteilung Landwirtschaft und Gartenbau, Reihe Landwirtschaft 7

- [26] Sadau, A.: Persönliche Mitteilung im November 2010 von Antje Sadau, Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg (LELF); Referat Tierzucht, Tierhaltung, Fischerei; 2010
- [27] Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (MIL) und Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF): *Agrarbericht 2010 des Landes Brandenburg (Berichtszeitraum: Kalenderjahr 2009)*; Potsdam, 2010, (http://www.mil.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.229765.de/bbo_products_list_product)
- [28] Amt für Landwirtschaft, Veterinär- und Lebensmittelüberwachung, Landkreis Havelland: *Jahresbericht 2008*; Amt für Landwirtschaft, Veterinär- und Lebensmittelüberwachung, Nauen, Mai 2009, (<http://www.havelland.de/Landwirtschaft.6.0.html>)
- [29] Amt für Landwirtschaft, Veterinär- und Lebensmittelüberwachung, Landkreis Havelland: *Jahresbericht 2009*; Amt für Landwirtschaft, Veterinär- und Lebensmittelüberwachung, Landkreis Havelland, Mai 2010, (<http://www.havelland.de/Landwirtschaft.6.0.html>)
- [30] Gewässerrunde.: Fachgespräch am 26. Mai 2010 in Nauen: Grünlandenergie Havelland – Biomasse aus der Gewässerunterhaltung; 2010
- [31] Knappe, F. u. a.; Umweltbundesamt, (Hrsg.): *Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle*; Dessau, 2007, UBA-Texte 04/07
- [32] Nierobis, L.: Dämmstoff: natürliche Dämmstoffe: Schilf, Stroh, Miscanthus; Internetseite, 2011, (Zugegriffen 23.3.2011 auf: <http://www.waermedaemmstoffe.com/html/schilf.htm>)
- [33] Wichmann, S. u. a.: *Energiebiomasse aus Niedermooren – ENIM*; Endbericht, Institut für Botanik und Landschaftsökologie (IfBL), Universität Greifswald, Greifswald, 2009, (http://www.paludikultur.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/pub/enim_endbericht_2009.pdf)
- [34] Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV): Geschützte Biotope in Brandenburg; Internetseite, 2011, (Zugegriffen 16.3.2011 auf: <http://www.mugv.brandenburg.de/cms/detail.php/5lhm1.c.156878.de>)
- [35] Hochberg, H. u. a.: *Optimierung der nachhaltigen Biomassebereitstellung von repräsentativen Dauergrünlandtypen für die thermische Verwertung (GNUT-Verbrennung)*; Endbericht, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena, August 2011
- [36] Blesl, M. u. a.: *Wärmeatlas Baden-Württemberg*; Institut für Energiewirtschaft Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, Stuttgart, Februar 2008, (<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/90488/BWK25007SBer.pdf?command=downloadContent&filename=BWK25007SBer.pdf&FIS=203>)
- [37] Landesbetrieb für Datenverarbeitung und Statistik, (Hrsg.): *Statistische Berichte - Wohnungs- und Wohngebäudebestand im Land Brandenburg*; Potsdam, 2005, Statistischer Bericht FI 1-j/05
- [38] Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, (Hrsg.): *Allgemeinbildende Schulen des Landes Brandenburg*; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, Potsdam, 2009, Schuljahr 2008/2009

- [39] Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, (Hrsg.): *Berufliche Schulen des Landes Brandenburg*; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, Potsdam, 2009, Schuljahr 2008/2009
- [40] Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, (Hrsg.): *Krankenhäuser und Vorsorge- oder Rehabilitationseinrichtungen im Land Brandenburg*; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, Potsdam, 2009
- [41] Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg: Übersicht Hallenbäder; Internetseite, 2010, (Zugegriffen 2.7.2010 auf: <http://www.mbjs.brandenburg.de/sixcms/media.php/bb2.a.5813.de/Baederbestand1207.pdf>)
- [42] Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union.: Richtlinie 2008/1/EG Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung; 2008
- [43] Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg: IVU-Anlagen im Land Brandenburg; 2009, (Zugegriffen 14.6.2010 auf: http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/2320/ivu_anl.pdf)
- [44] IHK Potsdam: IHK Zuliefer-Datenbank; 2010, (Zugegriffen 2.6.2010 auf: http://www.bb-subcontractor.de/register/index_old.cfm)
- [45] Snoopmedia GmbH: Betriebsnummern von Lebensmittelproduktionsbetrieben; Internetseite, *das ist drin*, 2010, (Zugegriffen 2.7.2010 auf: <http://das-ist-drin.de/glossar/betriebsnummern/>)
- [46] Milchindustrie-Verband (MIV): Marktdaten; 2010, (Zugegriffen 11.6.2010 auf: http://www.milchindustrie.de/de/miv/miv_einleitung.html)
- [47] Bundesverband Deutscher Milchviehhalter e.V. (BDM): Brandenburg; Internetseite, 2010, (Zugegriffen 21.6.2010 auf: <http://bdm-verband.org/html/index.php?module=Content&func=view&cat=33&pid=38>)
- [48] Verband der Deutschen Milchwirtschaft e.V. (VDM): Mitglieder VDM; Internetseite, 2010, (Zugegriffen 21.6.2010 auf: <http://www.vdm-deutschland.de/derverband/mitglieder.html>)
- [49] Bundesverband Molkereiprodukte e.V.: Mitgliederliste; Internetseite, 2010, (Zugegriffen 21.6.2010 auf: <http://mopro.de/wb/pages/mitglieder.php>)
- [50] Landesverband - Gartenbau Brandenburg e.V.: Gartenbaubetriebe; 2010, (Zugegriffen 3.6.2010 auf: <http://www.gartenbau-brandenburg.de/cms/gartenbaubetriebe/>)
- [51] TMB Tourismus-Marketing Brandenburg GmbH: Reiseland Brandenburg; Internetseite, 2010, (Zugegriffen 23.6.2010 auf: <http://www.reiseland-brandenburg.de/infocenter/impressumdatenschutz.html>)
- [52] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: Datenbank FNR; (Zugegriffen 21.5.2010 auf: <http://www.bio-kraftstoffe.info/index.php?id=1149&GID=0&KID=1&OID=594>)
- [53] Brandenburgische Energie Technologie Initiative: ETI-Brandenburg Datenbank; (Zugegriffen 19.5.2010 auf: <http://eti-brandenburg.de/energieatlas-alt/biofestbrennstoffe.html>)

- [54] Schlomann, B. u. a.: *Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)*; Karlsruhe, Berlin, Nürnberg, München, Leipzig, 2004
- [55] Frondel, M. u. a.: *Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für das Jahr 2005*; Endbericht, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI Essen) und forsa Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH, Essen, 2005, (<http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/endbericht-erhebung-des-energieverbrauchs-private-haushalte-2005,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>)
- [56] Zeine, C. u. a.: *Verbrauchskennwerte 2005: Energie- und Wasserverbrauchskennwerte in der Bundesrepublik Deutschland*; Gesellschaft für Energieplanung und Systemanalyse m.b.H.(ages), Münster, 2005
- [57] Heisel, J.P.: *Planungsatlas*; Bauwerk Verlag GmbH, Kiel, 2004
- [58] Verein deutscher Ingenieure (VDI), (Hrsg.): *VDI 3807 Energieverbrauchswerte für Gebäude; Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte*; VDI, Düsseldorf, 1998, VDI 3807
- [59] Ministerium des Inneren (Land Brandenburg): *Zusammenfassender Bericht zur überörtlichen Prüfung, Energiemanagement in den Landkreisen und kreisfreien Städten des Landes Brandenburg*; Land Brandenburg, Ministerium des Innern, Potsdam, 2006
- [60] Stadt Heidelberg Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie: *Energiebericht 2008, Klima sucht Schutz in Heidelberg auch in städtischen Liegenschaften*; Amt für Umweltschutz, Stadt Heidelberg, Heidelberg, 2009
- [61] Stadt Karlsruhe, Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft, Stadt Karlsruhe, (Hrsg.): *Energiebericht 2009, Fortschreibung 2008 / 2009*; Köln, 2009
- [62] Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung im ITB: *Machbarkeitsstudie Holznahwärme am Schulzentrum „Auf dem Füllkasten“ in Simmern*; Trippstadt, 2005
- [63] Kreisverwaltung Mayen-Koblenz: *Energiebericht für die Schulen in der Trägerschaft des Landkreises Mayen-Koblenz für das Verbrauchsjahr 2008*; Mayen-Koblenz, 2009
- [64] Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft, Stadt Karlsruhe, (Hrsg.): *Energiebericht, Fortschreibung 2006/2007*; Karlsruhe, 2008
- [65] Stadt Karlsruhe, Amt für Hochbau und Gebäudewirtschaft, Stadt Karlsruhe: *Energiebericht 2007, Fortschreibung 2006 / 2007*; Karlsruhe, 2008
- [66] Statistisches Bundesamt: *Monatserhebung im Tourismus, Jahreszusammenfassung 2008*; GENESIS-Datenbank, *Publikationen im Bereich Tourismus*, 2010, (Zugegriffen 2.8.2010 auf: <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/BinnenhandelGastgewerbeTourismus/Tourismus/MonatserhebungTourismus.html>)
- [67] Hamele, H.; Eckardt, S.: *Umweltleistungen europäischer Tourismusbetriebe, Instrument, Kennzahlen und Praxisbeispiele*; ECOTRANS e.V. und Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, Saarbrücken, 2006

- [68] Stadt Heidelberg, Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie: *Energiebericht 2008, Klima sucht Schutz in Heidelberg auch in städtischen Liegenschaften*; Stadt Heidelberg Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie, Heidelberg, 2009
- [69] Eckhardt, S.: *Energie- und Umweltmanagement in Hotels und Gaststätten: Entwicklung eines Softwaretools zur systematischen Prozessanalyse und Managementunterstützung*; Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER), Stuttgart, 2007, Bd. 100, Schriftenreihe: Forschungsbericht / Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
- [70] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., (Hrsg.): *Leitfaden - Bioenergie im Gartenbau*; Gülzow, 2006, (ISBN: 978-3-00-020655-9)
- [71] Hack.: Persönliche Mitteilung im November 2010 von Frau Hack, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen; 2010
- [72] Uckert, G.; Siebert, R.; Specht, K.: *Zustandsbericht zur aktuellen Umsetzung von Bioenergie auf landwirtschaftlichen Betrieben – eine Befragung Brandenburger Landwirte*; Zustandsbericht, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V., Müncheberg, 2009
- [73] FNR: *Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen*; Gülzow, 2007
- [74] Obernberger, I.: *Herstellung und energetische Nutzung von Pellets : Produktionsprozess, Eigenschaften, Feuerungstechnik, Ökologie und Wirtschaftlichkeit*; BIOS Bioenergiesysteme, Graz, 2009, 1. Aufl., (ISBN: 9783950198058)
- [75] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H.: *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren*; Springer, 2009, (ISBN: 9783540850946)
- [76] Ruttloff, C.; Beer, M.; Ecks, W.: *Technologie Mischfuttermittel : Grundlagen, Tierernährung, Komponenten, Maschinen, Verfahren, Qualitätskontrolle, Betriebswirtschaft, Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz. Ein Lehr- und Fachbuch*; Fachbuch-Verlag, Leipzig, 1981, 1. Aufl.
- [77] Kranert, M.; Cord-Landwehr, K., (Hrsg.): *Einführung in die Abfallwirtschaft*; Vieweg Teubner, Wiesbaden, 2010, 4. Aufl., (ISBN: 9783835100602)
- [78] Pahl, M.: *Zerkleinerungstechnik*; Fachbuchverlag TÜV Rheinland, Leipzig, Köln, 1993, 2. Aufl., (ISBN: 9783343008438)
- [79] Schubert, H.: *Handbuch der mechanischen Verfahrenstechnik Partikeleigenschaften, Mikroprozesse, Makroprozesse, Zerteilen, Agglomerieren, Trennen, Mischen, Schüttgut*; Wiley-VCH, Weinheim, (ISBN: 9783527305773)
- [80] Kersten, J.; Rohde, H.-R.; Nef, E.: *Mischfutter Herstellung: Rohware, Prozesse, Technologie*; Agrimedia, 2004, 2. Aufl., (ISBN: 3860372335)
- [81] Heinze, G.: *Handbuch der Agglomerationstechnik*; Wiley-VCH, Weinheim, 2000, (ISBN: 9783527297887)
- [82] Pietsch, W.: *Agglomeration processes - phenomena, technologies, equipment*; Wiley-VCH, Weinheim, 2002, (ISBN: 978-3527303694)

- [83] Döring, S.: *Pellets als Energieträger: Technologie und Anwendung*; Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2010, 1. Aufl., (ISBN: 3642016235)
- [84] Kaliyan, N.; Vance Morey, R.: Factors affecting strength and durability of densified biomass products; *Biomass and Bioenergy*, Bd. 33 (2009), Nr. 3, S. 337–359, (doi:10.1016/j.biombioe.2008.08.005)
- [85] Kaliyan, N.; Morey, V.: Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets mad from corn stover and swichgrass; Bd. 101 (2010), S. 1082–1090
- [86] Serrano, C. u. a.: Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets; *Fuel Processing Technology*, Bd. 92 (2011), Nr. 3, S. 699–706, (doi:10.1016/j.fuproc.2010.11.031)
- [87] Sixta, H.: *Handbook of Pulp*; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006, 1. Aufl., (ISBN: 3527309993)
- [88] Gilbert, P. u. a.: Effect of process parameters on pelletisation of herbaceous crops; *Fuel*, Bd. 88 (2009), Nr. 8, S. 1491–1497, (doi:10.1016/j.fuel.2009.03.015)
- [89] Samson, R.; Duxbury, P.: *Assessment of Pelletized Biofuels*; Resource Efficient Agricultural Production-Canada, Quebec, Kanada, April 2000, (http://www.reap-canada.com/online_library/feedstock_biomass/15%20Assessment%20of.PDF)
- [90] Pilz, A. u. a.: Pelletization of Miscanthus - the optimisation of process parameters for the production of standardised fuel; *EU BC&E Proceedings 2012*, S. 1502 – 1507, Milano, Italy, 2012, (ISBN: 978-88-89407-54-7)
- [91] Kiesewalter, S.; Röhricht, C.: *Entwicklung einer wirtschaftlichen Prozesskette zur energetischen Nutzung von halmgut- und holzartiger Biomasse im Freistaat Sachsen*; Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Freistaat Sachsen, Dezember 2002, (<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13576>)
- [92] Kiesewalter, S.; Röhricht, C.: Pelletierung von Stroh und Heu; World Sustainable Energy Days - European Pellets Conference am 03. März 2004 in Wels, Österreich, 2004
- [93] Kiesewalter, S.: Untersuchung zur Verbrennung von halmgutartiger Biomasse; 3. Mitteldeutscher Bioenergietag. Festbrennstoffe in und aus der Landwirtschaft am 25. September 2006 in Bernburg, 2006
- [94] Teipel, U. u. a.: Aufbereitung von nachwachsenden Rohstoffen durch Zerkleinerung; *Chemie Ingenieur Technik*, Bd. 81 (2009), Nr. 6, S. 759–766, (doi:10.1002/cite.200900004)
- [95] Kirsten, C. u. a.: Optimierung der Pelletierung von Miscanthus und Anpassung des Brennstoffs zur Eignung in Kleinf Feuerungsanlagen; *20 Jahre Miscanthus*, S. 29–35, Rheinbach, 2012, (ISBN: 978-3-941766-14-3)
- [96] Wagenführ, A.; Cong, N.T.: *Alternatives Verfahren für KMU – Zerfaserung von Einjahrespflanzen*; Institut für Holz- und Papiertechnik, Technische Universität Dresden, Dresden, 2011, Innovative Holztechnologien, (http://tu-dresden.de/forschung/wissens-_und_technologietransfer/dresdner_transferbrief/DTB03_05/DTB_3.05_11.pdf)

- [97] Narra, S. u. a.: Pelletisation of cereal straw a source for Energy after specific comminution processes; 18th European Biomass Conference am 04. Mai 2010 in Lyon, 2010
- [98] Adapa, P.K. u. a.: Pelleting characteristics of fractionated sun-cured and dehydrated alfalfa grinds; *Applied Engineering in Agriculture*, Bd. 20 (2004), Nr. 6, S. 813–820
- [99] Adapa, P.K. u. a.: Pelleting Characteristics of Fractionated Alfalfa Grinds: Hardness Models; *Powder Handling and Processing*, Bd. 18 (2006), Nr. 5, S. 294–299
- [100] Larsson, S.H. u. a.: High quality biofuel pellet production from pre-compacted low density raw materials; *Bioresource Technology*, Bd. 99 (2008), Nr. 15, S. 7176–7182, (doi:10.1016/j.biortech.2007.12.065)
- [101] Lenz, V. u. a.: *Biobrennstoffdesign mit Mischungen aus landwirtschaftlichen Reststoffen unter Berücksichtigung der Austauschbarkeit der Brennstoffkomponenten nach regionalem Aufkommen und der Endnutzung in kleinen Anlagen*; Zwischenbericht, Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ) [u.a.], Leipzig [u.a.], 2011, (<http://opac.tib.uni-hannover.de/DB=1/SET=1/TTL=5/SHW?FRST=5>)
- [102] Friedrich, W.: Warum ist Dampfzugabe beim Pelletieren wirtschaftlicher als Wasser; *Mühle und Mischfuttermitteltechnik*, Bd. 120 (1983), Nr. 14, S. 173–178
- [103] Tabil, L.G.: Binding and pelleting characteristics of alfalfa; 1996, (Zugegriffen 13.4.2011 auf: <http://library2.usask.ca/theses/available/etd-10202004-235937/>)
- [104] Gilpin, A.S. u. a.: Feed moisture, retention time, and steam as quality and energy utilization determinants in the pelleting process; *Applied Engineering in Agriculture*, Bd. 18 (2002), Nr. 3, S. 331–338
- [105] Kirsten, C.: Miscanthuspellets - Chancen, Erfahrungen und Probleme in Deutschland; World Sustainable Energy Days 2010 - European Pellets Conference am 03. März 2010 in Wels, Österreich, 2010
- [106] Löwe, R.: Pelletieverhalten rohfaserreicher Futtermischungen; *Mühle und Mischfuttermitteltechnik*, Bd. 141 (2004), Nr. 18, S. 577–582
- [107] Mani, S.; Tabil, L.G.; Sokhansanj, S.: Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses; *Biomass and Bioenergy*, Bd. 30 (2006), Nr. 7, S. 648–654, (doi:10.1016/j.biombioe.2005.01.004)
- [108] Nielsen, N.P.K.: Taking analysis of raw material for wood - Pellets A Step Further; *Bioenergie International*, Bd. 38 (2009), Nr. 3, S. 17–19
- [109] Nielsen, N.P.K.: *Production an R&D - Test facilities for biomass milling and pelletizing, Opening for test plant for bio-pelleting*; Stenderup, 2010
- [110] Holm, J.K. u. a.: Toward an Understanding of Controlling Parameters in Softwood and Hardwood Pellets Production; *Energy & Fuels*, Bd. 20 (2006), Nr. 6, S. 2686–2694, (doi:10.1021/ef0503360)

- [111] Stelte, W.: Predictive Method for Estimating the Pelletizing Properties of Different Types of Biomass; World Sustainable Energy Days 2010 - European Pellets Conference am 03. März 2010 in Wels, Österreich, 2010
- [112] Stelte, W. u. a.: A study of bonding and failure mechanisms in fuel pellets from different biomass resources; *Biomass and Bioenergy*, Bd. 35 (2011), Nr. 2, S. 910–918, (doi:10.1016/j.biombioe.2010.11.003)
- [113] Friedrich, W.; Rohbohm, K. F.: Der Verdichtungsprozess in der Futtermittelpresse: Einfluss der Betriebsbedingungen auf Energiebedarf und Pelletfestigkeit; *Mühle und Mischfüttertechnik*, Bd. 116 Nr. 39, S. 527–530
- [114] Larsson, S.H.; Rudolfsson, M.: Temperature control in energy grass pellet production – Effects on process stability and pellet quality; *Applied Energy*, Bd. 97 (2012), S. 24–29, (doi:10.1016/j.apenergy.2011.11.086)
- [115] CEN/TC 335.: EN 14961-6: Solid biofuels - Fuel specifications and classes, Part 6: non-woody pellets for non-industrial use; 2012
- [116] Gabriel, J. et al.: *Untersuchung energiewirtschaftlicher Optionen für das Gewerbegebiet Luneplate*; Bericht, Bremer Energie Institut, Juni 2008
- [117] Müller, B.: Agrarhandel Müller GbR; Internetseite, *Agrarhandel Müller Böhringen*, (Zugegriffen 28.3.2011 auf: <http://www.agrarhandel-mueller.de>)
- [118] Müller, B.: Thermische Verwertung von Heu und Stroh; Rottweil, 2009
- [119] Rösch, C.; Raab, K.; Stelzer, V.: *Energie aus dem Grünland – Eine nachhaltige Entwicklung?*; Wissenschaftliche Berichte, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, 2007
- [120] Verein Blumenwiesen-Alb: Projekt Blumenwiesen-Alb; Internetseite, 2011, (Zugegriffen 29.3.2011 auf: <http://www.blumenwiesen-alb.de>)
- [121] Schmitt, M.: Firma Michael Schmitt - Nutzung erneuerbarer Energiequellen; *Schmitt Energie*, 2011, (Zugegriffen 25.3.2011 auf: <http://www.schmitt-energie.de/>)
- [122] Firma BauerPower: Mobiles Pelletierung; Internetseite, 2011, (Zugegriffen 29.3.2011 auf: <http://www.energievomland.de>)
- [123] Thrän, D.: Stroh als biogener Festbrennstoff in Europa; *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Bd. 52 (2002), S. 596–601
- [124] Launhardt, T.: *Umweltrelevante Einflüsse bei der thermischen Nutzung fester Biomasse in Kleinanlagen : Schadstoffemissionen, Aschequalität und Wirkungsgrad*; Arbeitskreis Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI, Kiel, 2002
- [125] Nikolaisen, K. u. a.: *Stroh als Energieträger; Technik - Umwelt - Ökonomie*; Centre for Biomass Technology, Kopenhagen, 1998
- [126] Obernberger, I.: *Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens aschebildender Elemente*; Dbv-Verlag für die Technische Universität Graz, Graz, 1997, 2. Aufl., (ISBN: 9783704102447)

- [127] Heidenreich, R.; List, M.: Emissionen und Emissionsminderungsmaßnahmen bei der thermischen Nutzung von Stroh in Kesseln kleiner Leistung; 9. Internationale Fachtagung „Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Freiberg, 2003
- [128] Nussbaumer, T.: Primär- und Sekundärmaßnahmen zur NO_x-Minderung bei Biomassefeuerungen; *VDI-Tagung „Thermische Biomassenutzung“*, S. 141–165, VDI Verlag GmbH, Salzburg, 1997
- [129] Zhou, H. u. a.: Formation and reduction of nitric oxide in fixed-bed combustion of straw; *Fuel*, Bd. 85 (March), Nr. 5-6, S. 705–716, (doi:10.1016/j.fuel.2005.08.038)
- [130] Vetter, A.: *Möglichkeiten der energetischen Verwertung von Stroh und Energiepflanzen*; Abschlussbericht, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, 2002, (<http://www.tll.de/ainfo/pdf/epfl0403.pdf>)
- [131] Steenari, B.-M.; Lindqvist, O.: High-temperature reactions of straw ash and the anti-sintering additives kaolin and dolomite; *Biomass and Bioenergy*, Bd. 14 (1998), Nr. 1, S. 67–76, (doi:10.1016/S0961-9534(97)00035-4)
- [132] Verein zur Förderung von Maßnahmen für Feuersicherheit und Umweltschutz des Schornsteinfegerhandwerks.: *Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes : Verordnung über Kleinfeuerungsanlagen 1. BImSchV*; Dr.-Partner, Essen, 1997
- [133] *Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - (TA Luft) [Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz vom 24. Juli 2002]*; Beck], [München u.a., 2002
- [134] Vetter, A.; Hering, T.: *Stand der Technik und Erfahrungen bei der Verbrennung von Stroh und Getreide*; Abschlussbericht, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, 2003
- [135] Brenndörfer, M.; Von Oheim, R.: Halmgutverdichtung und die Verbrennung von Strohpresslingen in den 80er Jahren; *In KTBL-Fachgespräch "Energetische Nutzung von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen*, S. 134, KTBL, Darmstadt, 2003, KTBL-Schrift 417
- [136] Hering, T.: *Energetische Verwertung von Getreide und Halmgutpellets*; Abschlussbericht, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena, 2005
- [137] Hartmann, H.; Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing; Forschungs- und Entwicklungszentrum für Sondertechnologien (FES), Rednitzhembach: *Getreidekörner als Brennstoff für Kleinfeuerungen technische Möglichkeiten und Umwelteffekte*; Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing, 2007
- [138] Kiesewalter, S. u. a.: Nutzungsalternativen für Grünland - Nutzungsalternativen von Grünlandaufwüchsen in sächsischen Vorgebirgslagen – ein Beitrag zur Erhaltung der Kulturlandschaft und des ländlichen Raums -Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben; Saechsische Landesbibliothek- Staats- und Universitaetsbibliothek Dresden, 2008
- [139] Kiesewalter, S.: *Biomasseanbau und -verwertung als Energieträger Humusstoff von Flächen mit unterschiedlichem Schwermetallbelastungsgrad und Grünlandgebieten*; Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, 2008

- [140] Oechsner, H.: *Thermische Verwertung von Landschaftspflegeheu „Heuverbrennung“*; Abschlussbericht, Universität Hohenheim, Stuttgart, 2006
- [141] Ahlhaus, M.: *Charakterisierung und Analyse der Biobrennstoffe „Schilfrohr“ und „Rohrglanzgras“ und Verbrennungstests*; Bericht, Fachhochschule Stralsund, Stralsund, 2008
- [142] Steinbrecht, D.: *Untersuchungen zur energetischen Nutzung von in Ballenform kompaktierten halmgutartigen Brennstoffen zur Wärmeerzeugung in diskontinuierlich arbeitenden Anlagen kleiner Leistung*; Schlussbericht, Universität Rostock, Lehrstuhl für Umwelttechnik, Rostock, 2004
- [143] Herlt SonnenEnergieSysteme.: *Vergaserheizkessel für Ballen aus Stroh und Ganzpflanzen*, Informationsmaterial; Herlt SonnenEnergieSysteme, 2005
- [144] Poppitz, W.: *Kurzbericht über das Pilotvorhaben Strohballen-Vergaserheizkessel*; Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul
- [145] Scharf, G.: *Erfahrungen bei der Ganzballen – Strohvergasung in der Pilotanlage Wiesenburg*; Internationale Fachtagung „Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe“, Freiberg, 2003
- [146] Weber, R. u. a.: *Begleitende Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit der Biomasseverbrennung am Strohheizwerk Schkölen, Untersuchung der gas- und partikelförmigen Emissionen - Feuerungsbedingungen und Wirkungsgrad*; Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena, Dezember 1995
- [147] Hering, T.: *Stroh- und Ganzpflanzenverbrennung am Beispiel der Strohheizwerke Schkölen und Jena*; *Gülzower Fachgespräche Band 17*, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow, 2001
- [148] Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL): *Das Jenaer Bioheizwerk, Betriebs- und Forschungsergebnisse 1995 bis 1997*; Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, 2007
- [149] Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen; Betreiber: Denbina Gutsbetriebe GmbH & Co. KG; TÜV Nord
- [150] Obernberger, I.: *Beurteilung der Umweltverträglichkeit des Einsatzes von Einjahresganzpflanzen und Stroh zur Fernwärmeerzeugung: Jahresbericht 1997*; Technische Universität Graz, Graz, 1997
- [151] A. P. Bioenergie-technik GmbH: Newsletter No.4 „BioEnergie Hoffenheim auf Platz 1 der Miscanthus Bundesliga“; Internetseite, 2010, (Zugegriffen 14.2.2011 auf: <http://www.oeko-therm.net/default.aspx?pg=6fe55ea4-fca8-45a0-b530-1f09690d1547>)
- [152] BEKW Bioenergiekraftwerk Emsland GmbH & Co. KG: Homepage zum Projektvorhaben „BEKW Bioenergiekraftwerk Emsland“; 2011, (Zugegriffen 13.4.2011 auf: www.bioenergie-emsland.de)
- [153] Bäfver, L.S. u. a.: *Particle emission from combustion of oat grain and its potential reduction by addition of limestone or kaolin*; *Fuel Processing Technology*, Bd. 90 (2009), Nr. 3, S. 353–359, (doi:10.1016/j.fuproc.2008.10.006)

- [154] Verein deutscher Ingenieure (VDI): *2066 Blatt 1 Messen von Partikeln - Staubmessung in strömenden Gasen - Gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung*; VDI, Düsseldorf, 2006, VDI-Richtlinie
- [155] Sommersacher, P.; Brunner, T.; Obernberger, I.: Fuel Indexes: A Novel Method for the Evaluation of Relevant Combustion Properties of New Biomass Fuels; *Energy & Fuels*, Bd. 26 (2012), Nr. 1, S. 380–390, (doi:10.1021/ef201282y)
- [156] Wolf, K.J. u. a.: Investigations on the Influence of Additives for SO₂ Reduction during High Alkaline Biomass Combustion; *Energy & Fuels*, Bd. 19 (2005), Nr. 3, S. 820–824, (doi:10.1021/ef040081a)
- [157] Knudsen, J.N. u. a.: Sulfur Transformations during Thermal Conversion of Herbaceous Biomass; *Energy & Fuels*, Bd. 18 (2004), Nr. 3, S. 810–819, (doi:10.1021/ef034085b)
- [158] Zeuthen, J.H. u. a.: Aerosol Formation during the Combustion of Straw with Addition of Sorbents; *Energy & Fuels*, Bd. 21 (2007), Nr. 2, S. 699–709, (doi:10.1021/ef060392g)
- [159] Tissari, J. u. a.: Fine Particle and Gas Emissions from the Combustion of Agricultural Fuels Fired in a 20 kW Burner; *Energy & Fuels*, Bd. 22 (2008), Nr. 3, S. 2033–2042, (doi:10.1021/ef700766y)
- [160] Kuramochi, H.; Wu, W.; Kawamoto, K.: Prediction of the behaviors of H₂S and HCl during gasification of selected residual biomass fuels by equilibrium calculation; *Fuel*, Bd. 84 (2005), Nr. 4, S. 377–387, (doi:10.1016/j.fuel.2004.09.009)
- [161] Khan, A.A. u. a.: Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies; *Fuel Processing Technology*, Bd. 90 (2009), Nr. 1, S. 21–50, (doi:10.1016/j.fuproc.2008.07.012)
- [162] Lind, P.: Biogener Festbrennstoff nach dem BtE-Verfahren von - der Idee zum Projekt; Tagung Praxis der Biomassenutzung am 10. Juni 2011, Rendsburg, 2011
- [163] Von Grafenstein, E.: Von Gras zu Gas; *Recycling Magazin*, Bd. 66 (2011), Nr. 21, S. 32–33
- [164] Struschka, M.: *Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung*; Forschungsbericht, Universität Stuttgart, Texte der Umweltbundesamtes, (<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3677.pdf>)
- [165] Nitsch, J. u. a.: *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global*; Leitstudie 2010, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Stuttgart, Dezember 2010, (http://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/documents/Leitstudie_2010_Datenanhang-II_Master-17-12-10.pdf)
- [166] Zeller, V. u. a.: *Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung*; Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, Leipzig, 2012, DBFZ Report Nr. 13
- [167] Thrän, D.; Fischer, E.; Fritsche, U.; Hennenberg, K.; Herrmann, A.; Oehmichen, K.; Pfeiffer, D.; Schmersahl, R.; Schröder, T.; Zeller, V.; Zeymer, M.: *Methodenhandbuch Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseneffekte. Im Rahmen des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“. Version 2.1; 2011*

- [168] Mähnert, P. u. a.: Verwertungsalternativen für Grünlandbestände – Futtergräser als Kosubstrat für die Biomethanisierung; *Landtechnik*, Bd. 58 (5) (2002), S. 260–261
- [169] Quiñones, T.S. u. a.: Do hydrolytic enzymes enhance methane formation of agricultural feedstock?; *Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science*, Bd. 1 (2009), S. 137–150, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising
- [170] Schwarz, B.: Möglichkeiten der Substratvorbehandlung – Stand und neue Entwicklungen.; Tagung Biogas – Schwerpunkt: Optimierung am 23. März 2011 in Bernburg-Strenzfeld, 2011
- [171] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): *Biogas*; FNR, Gülzow, 2012, 8. Aufl.
- [172] Ahlers, J.-G.: Gas aus Gras; *Biogas Journal*, Bd. (2008), Nr. 2, S. 46–49
- [173] Danner, W.: Biogasanlage Kolbermoor – Kombination von Vergärung (Pferdemist, Landschaftspflegematerial, KULAP-Gras) und Verbrennung der Gärreste; Konferenz Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial am 1.-2.März 2011, Berlin
- [174] Rabe, P.: Untersuchungen zur Hydrolyse bei Biogasanlagen; Fachtagung Biogas 2008, Potsdam, 2008
- [175] Bonde, T.A.; Pedersen, L.J.: Concept for slurry separation and biogas production (Patent); 2002, (<http://ip.com/patent/US7883884>)
- [176] Postel, J. u. a.: *Stand der Technik beim Bau und Betrieb von Biogasanlagen – Bestandaufnahme 2008*; Umweltbundesamt, Desau, 2009, Texte, (www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3873.pdf)
- [177] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: *Biogas Messprogramm II: 61 Biogasanlagen im Vergleich*; Gülzow, 2009, 1. Aufl.
- [178] Amon, T.; Hopfner-Sixt, K.; Amon, B.; Bauer, A.; Handler, F.; Blumauer, E.; Eder, M.; Stürmer, B.; Ritzmann, A.: *Handbuch Biogaslogistik: Optimierung der Beschaffungs- und Distributionslogistik bei großen Biogasanlagen*; Universität für Bodenkultur Wien, 2007
- [179] Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG): *Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung: Silagebereitung, Siliermittel, Dosiergeräte, Silofolien*; DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main, 2011
- [180] Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUELV): Hessisches Integriertes Agrarumweltprogramm; *StAnz 51/2009, 3040*, 2009
- [181] Statistisches Bundesamt: Bestand an Wohnungen; Fachserie 5 Reihe 3; Wiesbaden, 2010
- [182] Linke, B.; Heiermann, M.; Plöchl, M.; Kenkmann, T.; Höhne, B.; Dahle, S.: *Biogas in der Landwirtschaft. Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg*; MLUV Brandenburg, Potsdam, 2006, 3. Aufl.
- [183] Verein deutscher Ingenieure (VDI): *VDI 2067 Blatt 40 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung*; VDI, Düsseldorf, 2012

- [184] Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, editors: *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol.4: Agriculture, forestry and other land use*; Japan, (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>)
- [185] Meyer-Aurich, A.; Schattauer, A.; Hellebrand, H.J.; Klauss, H.; Plöchl, M.; Berg, W.: Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources. *Renewable Energy*; Bd. Volume 37, Issue 1 (2012), S. 277–284
- [188] Thrän, D.; Majer, S.; Gawor, M.; Bunzel, K.; Daniel-Gromke, J.; Bauermann, K.; Eickholt, V.; Schultz, R.; Hochi, J.; Personn, H.: *Optimierung der marktnahen Förderung von Biogas/Biomethan unter Berücksichtigung der Umwelt- und Klimabilanz, Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit. Studie im Auftrag vom Biogasrat e.V.*; Berlin, 2011
- [189] Umweltbundesamt (UBA) 2012a.: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2010 und erste Schätzungen 2011; Umweltbundesamt (UBA), 2012
- [190] Umweltbundesamt (UBA) 2012b.: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Durch Einsatz erneuerbarer Energien vermiedene Emissionen im Jahr 2010; Umweltbundesamt (UBA), 2012
- [191] Umweltbundesamt (UBA) 2009.: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Durch Einsatz erneuerbarer Energien vermiedene Emissionen im Jahr 2007; Umweltbundesamt (UBA), 2009
- [190] Prochnow, A. u. a.: Seasonal pattern of biomethanisation of grass from landscape management; *CIGR Ejournal*, Bd. 7 (2005), , Manuscript EE 05 011
- [191] Carius, W.: Neue Projektentwicklungen auf dem BUND Hof Wendbüdel; Fachtagung Bioenergie aus der Landschaftspflege am 09.-10. Februar 2010, Berlin
- [192] Fritsche, U.R.; Rausch, L.; Schmidt, K.: *Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuk-learen, fossilen und erneuer-baren Strombereitstellung*; Arbeitspapier, Öko-Institut e.V., Darmstadt, 2007
- [193] Beer, M.: *CO2-Vermeidungskosten erneuerbarer Energietechnologien*; Kurzbericht, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München, 2012, (http://www.ffe.de/download/kurzberichte/KF_vermk.pdf)
- [194] Benjamin Blumenstein u. a.: Economic assessment of the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB) in comparison to different energy recovery, animal-based and non-refining management systems; *Bioresource Technology*, Bd. 119 (2012), S. 312–323
- [195] Kristensen, E.F.; Kristensen, J.K.: Development and test of small-scale batch-fired straw boilers in Denmark; *Biomass and Bioenergy*, Bd. 26 (2004), Nr. 6, S. 561–569, (doi:10.1016/j.biombioe.2003.09.006)
- [196] Hering, T.; Peisker, D.; Vetter, A.: Untersuchungen des Emissionsverhalten von. getreide- und halmguttauglichen Feuerungsanlagen in der Praxis; Seminarveranstaltung Arbeitsgruppe Alternative Biobrennstoffe, Berlin, 2006
- [197] Kunde, R. u. a.: *Praxistest zur Erhebung der Emissionssituation von Pelletfeuerungen im Bestand*; Endbericht zum Forschungsvorhaben, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2007

- [198] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): *Förderbare automatisch beschickte Biomasseanlagen*; Auflistung, BAFA, Eschborn, 2009, (http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/publikationen/energie_ee_biomasse_liste_automatischbeschickt.pdf)
- [199] Stöcklein, F.: *Messprogramm zur Begleitung des vorübergehenden Getreideeinsatzes in Feuerungsanlagen*; Bericht, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, München, 2003
- [200] Landwirtschaftsverlag, (Hrsg.): *Voraussetzungen zur Standardisierung biogener Festbrennstoffe*; Landwirtschaftsverlag, Münster, 2004, (ISBN: 9783784332963)
- [201] Launhardt, T.: *Verbrennungsversuche mit naturbelassenen biogenen Festbrennstoffen in einer Kleinf Feuerungsanlage : Emissionen und Aschequalität*; Abschlussbericht, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, 2000
- [202] Paulrud, S.; Nilsson, C.: Briquetting and combustion of spring-harvested reed canary-grass: effect of fuel composition; *Biomass and Bioenergy*, Bd. 20 (2001), Nr. 1, S. 25–35, (doi:10.1016/S0961-9534(00)00061-1)
- [203] Nikolaisen, L. u. a.: *Quality characteristics of biofuel pellets.*; Danish Technological Institute, Aarhus, 2002, (ISBN: 9788777566769)
- [204] Holsteiner, T.: *Heizen mit Getreide*; Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft, Rendsburg, 2005

A 1 Checkliste II für wichtige Einflussgrößen für die Bestimmung des technischen Biomassepotenzials

Prozesskette	Einflussgrößen	berücksichtigt (ja/nein /variiert)
Technisch - ökonomisch		
Anbau	<p>Werden für den Anbau durchschnittliche Ackerflächen (mit entsprechenden Ertragserwartungen) als verfügbar angenommen?</p> <p>Werden Veränderungen in der Tierproduktion unterstellt (z. B. rückläufige Beweidung, frei werdendes Grünland etc.)?</p> <p>Welche Art und Effizienz der Tierhaltung wird angesetzt?</p> <p>Kommen darüber hinaus weitere Flächen in die Nutzung? (Brachflächen / Marginalflächen)</p> <p>Wird der Maschineneinsatz analog zu konventionellen Anbausystemen (mit entsprechenden Ertragserwartungen) unterstellt?*</p> <p>Wird bei zukünftigen Potenzialen eine technologische Lernkurve unterstellt?</p> <p>Wird der Düngemitelesatz analog zu konventionellen Anbausystemen (mit entsprechenden Ertragserwartungen) unterstellt?</p> <p>Werden zusätzliche Zwischenfrüchte berücksichtigt?*</p> <p>Werden mehrjährige Kulturen berücksichtigt?*</p> <p>Werden Veränderungen im Waldbau und/oder die Erschließung bestimmter Rohholzsortimente unterstellt?*</p>	<p>Nein</p> <p>Ja(Ausgangssituation)</p> <p>Ja/variiert</p> <p>Ja</p> <p>Nein</p> <p>Ja/variiert</p>
Bereitstellung	<p>Sind für die forstwirtschaftlichen Reststoffpotenziale die gängigen forstwirtschaftlichen Managementpraktiken unterstellt?*</p> <p>Sind (v. a. bei den Reststoffpotenzialen) quellenspezifische Restriktionen berücksichtigt (z. B. zu geringe oder unregelmäßige Mengen an einem Punkt)?</p> <p>Sind regionale und/oder saisonale Schwankungen berücksichtigt (z. B. mehrjährige Mittelwerte bei Erträgen von Energiepflanzen)?</p> <p>Sind Verluste bei Ernte, Lagerung, Transport berücksichtigt?</p> <p>Wird eine (technische) Trocknung der Biomassen (bei thermo-chemischer Bereitstellung der Bioenergieträger) unterstellt?</p>	<p>Ja</p> <p>Ja</p> <p>Ja</p> <p>Nein</p>
Konversion / Nutzung	Sind innovative Verfahren bei der Konversion unterstellt (z. B. höhere Produktqualitäten als beim Stand der Technik)?	

	<p>Sind Wirkungsgrade (Nutzungsgrade) der Konversion berücksichtigt?</p> <p>Ist der Eigenenergiebedarf der Konversion im Bioenergieträger potenzial mitberücksichtigt?</p> <p>Werden Reststoffe aus der Bioenergieträgerproduktion (z.B. Stroh, Presskuchen, Schlempe) ebenfalls dem Potenzial zugeschlagen?</p>	<p>Variiert</p> <p>Ja</p> <p>Ja</p> <p>Nein</p>
Gesellschaftlich		
Anbau / Bereitstellung	<p>Ist die Nahrungsmittelversorgung in der Region berücksichtigt?</p> <p>Ist die Nahrungsmittelversorgung global berücksichtigt?</p> <p>Ist die stoffliche Nutzung von NawaRos in der Region berücksichtigt?</p> <p>Ist die stoffliche Nutzung von NawaRos global berücksichtigt?</p> <p>Sind die bestehenden stofflichen Verwertungswege für Reststoffe berücksichtigt?</p> <p>Ist die bereits realisierte energetische Nutzung von Biomasse berücksichtigt? (wenn ja, bitte angeben ob über Statistiken oder über den Anlagenbestand)</p> <p>Werden direkte/indirekte Landnutzungsänderungen ausgewiesen?</p>	<p>Nein</p> <p>Nein</p> <p>Nein</p> <p>Nein</p> <p>Nein</p> <p>Ja</p> <p>Ja</p> <p>Nein</p>
Konversion / Nutzung	<p>Orientiert sich der Potenzialmix der Bioenergieträger an den Zielen für Bioenergie, Biokraftstoffe etc.?</p>	<p>Nein</p>
Ökologisch		
Anbau / Bereitstellung	<p>Werden die Anforderungen nach der EU RED bzw. den nationalen Umsetzungen (D: BioSt-NachV, Biokraft-NachV) in der Potenzialermittlung als eine Restriktion berücksichtigt?</p> <p>Sind die (Anforderungen gemäß des nationalen Naturschutzrechts (Bundesnaturschutzgesetz) und internationaler Vereinbarungen (z. B. Natura 2000, Ramsar, CBD etc.) berücksichtigt?</p> <p>Sind die Anforderungen des Gewässerschutzes berücksichtigt?</p> <p>Sind weitergehende ökologische Vorgaben an den Anbau nach Stand der Forschung/über den Stand der Forschung hinaus unterstellt (z. B. Flächengrößen, Fruchtfolgen etc.)</p> <p>Sind der ökologische Landbau und seine weiteren Ausbauperspektiven berücksichtigt?</p>	<p>Nein</p> <p>Ja</p> <p>Ja</p> <p>Ja</p> <p>variiert</p>
Konversion / Nutzung	<p>Ist bei der Auswahl der Konversionspfade die Erreichung der geforderten THG-Minderungsbeiträge (nach EU RED) unterstellt?</p>	
Administrativ		

Anbau/ Bereitstellung	<p>Sind die Anforderungen des Bodenschutzes (z. B. Erosionsschutz, Humusreproduktion) nach Cross Compliance berücksichtigt?</p> <p>Ist die Einhaltung von Cross Compliance Regelungen (v. a. Grünlanderhalt) unterstellt?</p> <p>Gehen Importbeschränkungen (Zölle etc.) in die Betrachtungen ein?*</p>	<p>Ja</p> <p>Ja</p>
Konversion / Nutzung	<p>Ist die Genehmigungsfähigkeit neuer Konversionsanlagen berücksichtigt?</p> <p>Ist die Zertifizierungsfähigkeit erzeugter Bioenergieträger (nach EU RED) berücksichtigt?</p>	<p>Nein</p>
Ggf. weitere beachtete Einflussgrößen		

* Im Projektkontext nicht relevant und nicht berücksichtigt.

A 2 Ertragsdatenbank

Ext/int	Bundesland	Boden	Schnittzeitpunkt	Düngung	Bezeichnung	Ertrag		Quelle
						t FM/ha*a	t TM/ha*a	
ext/int	allg.				Wiesen und Grünlandübergangsbereiche Goldhaferwiesen		2 - 8	DBFZ 2009 /Steckbriefe
ext/int	allg.				Wiesen und Grünlandübergangsbereiche Glatthaferwiesen	7 - 20,4	4,5 - 13	
ext	allg.				Feucht- und Nasswiesen 2-schürrige Nasswiese	20 - 25		
ext	allg.				Feucht- und Nasswiesen 1-schürrige Nasswiese		4 - 7	
ext	allg.				Feucht- und Nasswiesen 1-schürrige Pfeifengras spät		1,5 - 3 (bis 4)	
ext	allg.				Feucht- und Nasswiesen frische Magerweide		4 - 9	
ext	allg.				Röhricht - Schilf, Schilfpolder		5 - 43 (Ø 10-15)	
ext	allg.				Ried		1 - 2 (bis 2,5)	
ext	allg.				Ried - Kleinseggenwiesen	9 - 14,3	3 - 9,9	
ext	allg.				Moore - Torfmoos		2 - 8	
ext	allg.				Moore -		3,5 - 22	

					Rohrglanzgras		(Ø 5)	
ext	allg.				Magerrasen - Kalkmagerrasen	1 - 3		
ext	allg.				Magerrasen - Trockenrasen	1,6 - 9,5	1 - 5	
ext/ int	allg.				Streuobstwiesen (1 bis 3 Schnitte)	6 - 10		
ext	TH				Goldhaferwiese Thüringen 2-schnittig, Düngevarianten		3,3 - 5,6	TLL 2008 /GNUT
Ext/I nt	Bundes- land	Boden	Schnitt- zeitpunkt	Düngung	Bezeichnung	Ertrag		Quelle
						t FM/ha*a	t TM/ha*a	
ext	NI				Groß-Seggenried NS 1-schnittig, Variation durch Mahd-Zeitpunkt (früh/spät)		4,3 - 4,4	
ext	NI				Groß-Seggenried NS 2-schnittig		9,5	
ext	SN				Kohldistelwiese Sachsen 1-schnittig		4,9	
ext	SN				Kohldistelwiese Sachsen 2-schnittig, Variation durch Mahd-Termine (spät/früh)		5,7 - 6,5	
ext	BB	Nieder- moor (30cm) über Talsand			Rohrglanzwiese Brandenburg, 1- schnittig		8,2	
ext	BB	Nieder- moor (30cm) über			Rohrglanzwiese Brandenburg, 2- schnittig, Variation durch Düngung		11,2 - 12,9	

		Talsand					
ext	BY				Streuwiese Bayern, 1- und 2- schnittig, Variationen nicht signifikant		2,2 - 2,4
ext	TH				Goldhaferwiese Thüringen 2-schnittig, NPK		8,2
ext	TH				Goldhaferwiese Thüringen 2-schnittig, PK		6,7
ext	TH				Goldhaferwiese Thüringen 2-schnittig, keine Düngung		3,9
ext	NI				Groß-Seggenried NS 1-schnittig, Mahd- Zeitpunkt früh (Aug.)		5,1
ext	NI				Groß-Seggenried NS 1-schnittig, Mahd- Zeitpunkt spät (Sept.)		5,6
ext	NI				Groß-Seggenried NS 2-schnittig		8,2
ext	SN				Kohldistelwiese Sachsen 1-schnittig		3,7
ext	SN				Kohldistelwiese Sachsen, 2- schnittig, Mahd- Termine früh (Anfang Juli)		3,3
ext	SN				Kohldistelwiese Sachsen, 2- schnittig, Mahd- Termine spät (Ende Sep.)		3,5

TLL 2009 /GNUT

ext	BB	Nieder- moor (30cm) über Talsand	25.9.		Rohrglanzwiese Brandenburg, 1- schnittig		9,8	
ext	BB	Niede-moor (30cm) über Talsand	12.6.+ 25.9.		Rohrglanzwiese Brandenburg, 2- schnittig, K		17,8	
ext	BB	Nieder- moor (30cm) über Talsand	12.6.+ 25.9.		Rohrglanzwiese Brandenburg, 2- schnittig, keine Düngung		13,8	
ext	BY				Streuwiese Bayern, 1- schnittig, Mahd- termine früh		2,3	
ext	BY				Streuwiese Bayern, 1- schnittig, Mahd- termine spät		1,8	
ext	BY				Streuwiese Bayern, 2-schnittig		1,6	
int	NRW			k.A.	ertragreiche Wiese 3 Schnitte		11 TS / 8,6 oTS	Lütke, Entrup & Gröblichhoff 2005
int	NRW			k.A.	ertragreiche Wiese 4 Schnitte		12,5 TS / 9,8 oTS	
ext	NRW			k.A.	Extensivwiese 2 Schnitte (Heu)		6,5 TS / 5,6 oTS	
int	NRW			ver- schiedene	Welsches Weidelgras und Klee gras Sorte Mischung(Soest)		9,5	Lütke, Entrup & Gröblichhoff Präsentation 2006
int	NRW				Welsches Weidelgras und Klee gras Klee<5% 3- schnittig		11,4	
int	NRW				Welsches		11,0	

					Weidelgras und Klee Klee<5% 4-schnittig			
int	NRW				ausdauernder Grasarten, Rotklee und Klee Art*Nutzung Klee 5%		13,7	
int	NRW				ausdauernder Grasarten, Rotklee und Klee Klee 5% 3-schnittig		10,3	
int	NRW				ausdauernder Grasarten, Rotklee und Klee Klee 5% 4-schnittig		15,1	
ext	BW				2-schnittig (Grassilage) Überschussgrünland		5,75	Rösch et al. 2006
int	BW				3-schnittig Überschussgrünland		7,3 - 9,0	
int	BW				4-schnittig Überschussgrünland		9,0	
int	allg.?				Knautgras (Hohertragsstandort)		4,8 - 9,6	Kaltschmitt 1997
ext	allg.?				Knautgras (Extensivlandbau)		2,4 - 7,2	
int	BB			PK (1-2 Güllegaben)	Grünland (3-4 Schnitte zu optimalen Terminen)		7 - 8	Schäfer & Pribe; LVL
	BB	Niedermoor		ohne N	geringer bis hoher Ertrag	6,5 - 8,9	6,3 - 9,0	Kähding & Petrich o.J.
	BB	Nieder-		N 120	geringer bis hoher	8,3 - 11,3	8,1 - 11,0	

		moor			Ertrag			
	BB	Nieder- moor		N 240	geringer bis hoher Ertrag	9,1 - 12,5	9,0 - 12,5	
	BB	Sand GW fern		ohne N	geringer bis hoher Ertrag	2,8 - 5,7	2,8 - 5,4	
	BB	Sand GW fern		N 120	geringer bis hoher Ertrag	4,9 - 8,8	4,7 - 8,8	
	BB	Sand GW fern		N 240	geringer bis hoher Ertrag	6,0 - 10,6	6,0 - 10,6	
int	BB	Nieder- moore, homogen bis heterogen gut wasser- reguliert			4-5 schnittig		10,5	
ext	BB	Nieder- moore, homogen bis heterogen gut wasser- reguliert			2-3 schnittig		6	
int	BB	Humose Sande bis Anmoor, eben bis heterogen, wasser- reguliert, Acker- nutzung möglich			4-5 schnittig		9	
ext	BB	Humose Sande bis Anmoor, eben bis heterogen, wasser- reguliert, Acker- nutzung möglich			2-3 schnittig		5	

Hertwig & Priebe 2009

int	BB	Sand-, Auenstando rte, Niederungs ränder, Lehme, reliefiert			3-4 schnittig		7,5
ext	BB	Sand-, Auenstando rte, Niederungs ränder, Lehme, reliefiert			1-2 schnittig		3,5
int	BB	Degradierte Nieder- moore, stark heterogen			2-3 schnittig		6,5
ext	BB	Degra- dierte Niedermoor e, stark heterogen			1-2 schnittig		4
int	BB	Schwach bis mäßig grundwass erbeeinflus ste Sande			2-3 schnittig		5
ext	BB				Streuwiesen, Hutungen 1-2-schnittig		3
ext					Gras aus Pflegenutzung		3
ext					Weidelgras		7 - 12
ext					Weidelgras		7 - 13
ext					Grünland		10 - 12
ext					Kleegras		4
ext					Weidelgras		5,2
ext					Gras		5,8

nach www.fnr.de, Wolf 1989, Hartmann 1998, Schweiger 2001, www.inaro.de und Maier et al. zit. in Baur & Haas 2002, 24

ext	SA				sehr extensiv, Vertragsnaturschu tz		3,75	nach Landesgesellschaft Sachsen-Anhalt (2003) zit. in Böker & Hildmann 2009
ext	SA				extensiv, AUM markt- und standortangepasst e Landbewirtschaftu ng		5	
int	SA				intensiv		7,5	
ext/ int	SA				sonstiges Grünland		5	nach MLU (2008,39) zit. in Böker & Hildmann 2009
	SA				alle (anderen) Dauergrünlandnut zungen (LK Stendal / Altmarkkreis)		5,5 / 4,5	
	SA				Weiden (LK Stendal / Altmarkkreis)		7,5 / 6	
	SA				Dämme, Deiche (LK Stendal / Altmarkkreis)		5,5 / 4,4	
	SA				Mähweide (LK Stendal / Altmarkkreis)		8 / 6,4	
	SA				Streuwiese (LK Stendal / Altmarkkreis)		4 / 3,2	
	SA				Wiesen (LK Stendal / Altmarkkreis)		6,5 / 5,2	
ext					Nasswiesen; Röhricht Seggenrieder; 1-2- schnittig		> 10	
int					Feuchtgrünland; Glatthaferwiesen Goldhaferwiesen; 2-3-schnittig		6 - 12	
ext					Halbtrockenrasen;		3 - 5	

					Rotstraußgras-Schwingelrasen; 1-2-schnittig			
ext					Magerrasen; Borstengraswiesen Kalkmagerrasen Heiden, 1-2-schnittig		1 - 2	
int					Saatgrasland; kennartenarme pflanzenbestände; 3-4(6)-schnittig		9 - 14	
					Grünland, Ruderalflur		5,1	SMUL 2007
					Grünland, Ruderalflur		5	DGV 2003
					Grünland, Ruderalflur		4,5	Feld & Heinrichs 1993
ext					Grünland, Ruderalflur, 1-schnittig		3,5	Expertenaustrage
ext	SN				meop. Grünland, Fettwiesen und -weiden, Bergwiesen (extensiv)		0,35	
	SN				Nasswiese, 1-schürig		3,2	
	SN				Borstengrasrasen		1,3	
	SN				Magerrasen trockener Standorte, Sand- und Silikatmagerrasen		1,7	LfL 2006
int	allg				Intensivgrünland,		7 - 13	ITN R 2000

					artenarm (mehrjährige Futtergräser)				
	allg				Wiesenfuchsschwanz-Wiesen		8 - 11		
	SN				Feuchtgrünland, Nasswiese, Pfeifengras, 1- schüurig, Heunutzung extensiv		3,4 - 4,2	Kieswälder 2007	
	BW			unge- düngt	Nährstoffreiche Feucht- und Nasswiesen		1 - 2	Elsässer o.J.	
	BW			gedüngt	Nährstoffreiche Feucht- und Nasswiesen		3		
	BW			unge- düngt	Goldhaferwiese		2,6 - 6		
	BW			gedüngt	Goldhaferwiese		5 - 7		
	BW				Magergrünland		bis 10		
	BW			unge- düngt	Borstengrasrasen		0,4 - 1,7		
	BW			gedüngt	Borstengrasrasen		2,6 - 6,9		
	BW			unge- düngt	Trocken- und Halbtrockenrasen		0,9 - 3,5		
					Magere Frischwiesen		4		Schubert 2007
					Magergrünland		3,5		
					Halbtrocken- und Trockenrasen		3		
	SN			Verschie- dene Düng- ungsinten- sität	Goldhaferwiesen (3-5 t TM/ha)		7,1	SMUL Sachsen, TLL, LfL Bayern (2008)	
	SN				Glatthaferwiesen (Kohldistel-GHW 4-	7,2 - 20,4	4,5 - 12,9		

					8, GH-Talwiese 4-7, Salbei-GHW 2-3)		
	SN				Kleinseggen- wiesen (1-2 t TM/ha)	9 - 14,3	3 - 9,9
	SN				Nasswiesen	8,3	5,1
	SN				Nährstoffreiche Feucht- und Nasswiesen (4-8 t TM/ha)		
	SN				Pfeifengraswiesen (1,5-3 t TM/ha)	7,1 - 17,6	4,1 - 9,7
	SN				Trocken- und Halbtrockenrasen	1,6 - 9,5	1 - 4,1
	SN				Rotschwengel- Straußgrasweiden, Besatzstärke 0.5- 2.0 GV/ha (3-5 t TM/ha)		
	SN				Frische bis feuchte Magerweiden, Besatzstärke 0.5- 2.5 GV/ha (4-9 t TM/ha)		
	SN				Kalkmagerrasen, Borstgrasrasen, Besatzstärke 0.1- 0.7 GV/ha (1-3 t TM/ha)		

A 3 Einflussfaktoren auf den Biomasseertrag

Bedeutung des Einflussfaktors: Standorttyp

Einflussfaktor: Standorttyp	
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Biomasseertrag	Die Ertragspanne von Gras hängt wesentlich von regional vorhandenen Standorttypen ab. Diese können sich regional zum Teil kleinflächig unterscheiden und sind selbst durch eine Vielzahl von Indikatoren bestimmt.
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Bodentyp	Nährstoffhaltige Böden beeinflussen den Ertrag positiv. Organische Böden mit hohem Humusgehalt und geringem Degradierungsgrad sind besonders ertragreich. Beim Bodentyp sind insbesondere organische und mineralische Böden, unterschiedliche Degradierungsgrade von Mooren und Humusgehalte zu unterscheiden.
mittlerer Grundwasserstand	Erträge sind in hohem Maße von der Bodenfeuchte abhängig. Mäßig frische bis feuchte Standorte sind günstig für die Ertragsbildung [7]. Betrachtet wird vornehmlich der mittlere Grundwasserstand im Frühling. Dieser ist im Bereich bis zu einem Meter relevant. Tiefere Stände besitzen vermindernden Einfluss auf den Grünlandertrag.
Wasserregulation	Eine gut wasserregulierte Fläche besitzt die höchsten Ertragspotenziale. Sowohl Staunässe als auch zu geringe GW-Stände bewirken geringere Erträge.
klimatische Indikatoren	Zu den klimatischen Indikatoren zählen insbesondere die Temperatur und die Niederschlagswerte. Sie wirken jeweils regionaltypisch auf den Ertrag.

Bedeutung des Einflussfaktors: Pflanzengesellschaft

Einflussfaktor: Pflanzengesellschaft	
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Biomasseertrag	Zu erwartenden Erträge unterscheiden sich unter gleichen Standort- und Bewirtschaftungsverhältnissen aufgrund der Pflanzengesellschaften zum Teil deutlich (vgl. [7]).
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Hauptart der Gesellschaft	Pflanzengesellschaften auf Grünlandstandorten variieren von sehr homogenen und reinen Beständen der intensiven Nutzung bis zu heterogenen, mit krautigem Anteil versetztem Bestand auf extensiv genutzten Standorten. Die artenärmsten Pflanzengemeinschaften findet man auf frischen oder nassen bis sehr nassen, die artenreichsten auf trockenen und wechselfeuchten Flächen [1].
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Biomassequalität	Qualitäten der Pflanzengesellschaften unterscheiden sich aufgrund ihrer spezifischen Zusammensetzungen.
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Heterogenität des Bestands	Homogene Bestände reiner Futtergräser besitzen häufig einen hohen Methangehalt. Sie eignen sich für die Biogasnutzung. Heterogene Bestände mit zum Teil krautigem Material eignen sich aufgrund ihrer Struktur und erhöhter Rohfasergehalte eher für die Verbrennung.

Bedeutung des Einflussfaktors: Bewirtschaftungstyp

Einflussfaktor: Bewirtschaftungstyp	
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Biomasseertrag	Vor allem durch die unterschiedliche Intensität der Bewirtschaftung hervorgerufen, treten innerhalb derselben Pflanzengesellschaft häufig starke Ertragsstreuungen auf. Als mögliche Indikatoren können die Schnitthäufigkeit sowie der Grad des Düngemiteleinsatzes dienen.
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Schnitthäufigkeit	Die Anzahl der Schnitte kann in die folgenden zwei Kategorien gegliedert werden: Erstens Flächen mit eins bis zwei Schnitten pro Jahr, welche einen geringeren Ertrag erwarten lassen, als zweitens die Flächen mit drei und mehr Schnitten pro Jahr.
Düngung	Der Grad der Düngewirkung kann je nach Standort und Pflanzengesellschaft unterschiedlichen Einfluss haben. Ausschlaggebend in Bezug auf Düngemittelgaben ist die Unterscheidung zwischen NPK, PK, K und ohne Düngung. Flächen mit NPK-Düngung besitzen mit wenigen Ausnahmen das größte Ertragspotenzial, Flächen ohne Düngung das geringste Potenzial.
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Biomassequalität	Die Biomassequalität hängt stark vom Schnittzeitpunkt und der Anzahl der Schnitte ab.
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Schnittzeitpunkt in Verbindung mit der Schnitthäufigkeit	Früh und damit einhergehend häufig geschnittenes, frisches Gras hat eine hohe Futterqualität und hohe Methanausbeute. Es eignet sich demnach für die Biogasgewinnung. Dahingegen hat spät geschnittenes Gras einen deutlich höheren Rohfasergehalt der als positive Eigenschaft für die Verbrennung zu bewerten ist. Der zweite Schnitt bei extensiver Nutzung erfolgt meist bei frischem Bestand mit Biogasqualität. Überschlägig wird angenommen, dass bei extensiver Nutzung eine Qualität im Verhältnis von 60 % (Verbrennung) zu 40 % (Biogas) vorliegt.

Tabelle 7-2: Bedeutung des Einflussfaktors Werbungs- und Lagerungsverluste

Einflussfaktor: Lagerungsverluste

Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:

Biomasseverluste	Die Werbung und Lagerung von Biomasse besitzt einen erheblichen Einfluss auf den Verlustfaktor. Die zu erwartenden Werbungsverluste sind entscheidend von den Ernteverfahren und der verwendeten Technik abhängig. Ohne optimale Lagerung kann es bei Heu zu erheblichen Auswaschungen und Schimmelverlusten kommen. Bei Silage ist mit Gärverlusten zu rechnen.
-------------------------	--

Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:

Ernteverfahren	Bei der Ernte wird zwischen den Verfahren zur Gewinnung von Silage und von Heu unterschieden. Während die Mahd und Silierung der Biomasse zu geringen Verlusten führt, kommt es aufgrund der notwendigen Trocknung des Heus zu zum Teil hohen Streuverlusten.
Gärverluste bei Silierung	Die Verluste werden über Durchschnittswerte aus der Literatur abgebildet und sind gegebenenfalls regional anzupassen. Allgemein gilt, dass durch die Restatmung der Pflanze mit unterschiedlichen Verlusten zu rechnen ist. Verschiedene Lagerungsbedingungen und -verfahren können die Höhe der Gärverluste bei der Silierung beeinflussen. Je nach Verweilzeit auf dem Feld und Lagerbedingungen und -standort kann es bei Heu zu unterschiedlichen Verlusten durch Schimmel und zu Bröckelverlusten kommen.
Restatmung der Pflanze	
Bröckel- und Schimmelverlust	

Bedeutung des Einflussfaktors: Futternutzung

Einflussfaktor: Futternutzung	
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Nutzungskonkurrenz	Die Futternutzung als traditioneller Verwertungspfad von Gras macht den größten Anteil andere Nutzungen aus. Ihre Ausprägung hängt maßgeblich vom Tierbestand ab.
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Tierbestand	Tierbestände sind regional sehr unterschiedlich verteilt. Mit steigender Anzahl sinkt gleichzeitig die überschüssige Grasmenge.
Grundfütterration	Die Futterrationen werden in den meisten Fällen regional und gegebenenfalls saisonal den verfügbaren Futterpflanzen angepasst. Dabei kann ein erheblicher Anteil von Gras Bestandteil sein.

Bedeutung des Einflussfaktors: Bestehende energetische Nutzung

Einflussfaktor: Bestehende energetische Nutzung	
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Nutzungskonkurrenz	Die Konkurrenz durch bereits bestehende energetische Nutzung der Biomasse hängt stark vom Bedarf der vorhandenen Biomasseanlagen einer Region ab. Dabei ist entscheidend, welches Material grundsätzlich in den Biomasseanlagen eingesetzt wird.
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Anzahl der Biomasseanlagen / Biomassebedarf der Biomasseanlagen	Die Anzahl der Biomasseanlagen in einer Region und die bereits verwendeten Grasmengen sowie die theoretischen Kapazitäten zum Einsatz von Gras bestimmen den Grad der Konkurrenz durch die bestehende energetische Nutzung.

Bedeutung des Einflussfaktors: Werbungsverluste

Einflussfaktor: Flächengröße

Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:

Biomasseertrag	Die Flächengröße und damit das Flächenpotenzial stellt die grundlegende Angabe für die weitere Ermittlung des Biomassepotenzials dar. Zur Bestimmung des Flächenpotenzials werden Angaben zur Sohlbreite, Böschungslänge und Länge der entsprechenden Gewässerabschnitte benötigt.
-----------------------	--

Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:

Sohlbreite	Die Flächengröße der unterhaltenen Gewässer I. und II. Ordnung sind im Allgemeinen sehr heterogen und für die Abschätzung der Flächengröße den Kategorien: ganzjährig wasserführende Vorfluter Meliorationsgräben und Ackergräben (nur zeitweise wasserführend) zuzuordnen.
Böschungslänge	
Länge des Gewässerabschnitts	

Bedeutung des Einflussfaktors: Substrattypen(-gruppe)

Einflussfaktor: Substrattypen(-gruppe)	
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Biomasseertrag	Das Substrat hat großen Einfluss auf das Ertragsvolumen. Es ist zwischen Punkt- und Netzquellen zu unterscheiden.
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Pflanzengesellschaft in Verbindung mit dem Quellentyp	An Punktquellen (Biomasse fällt bei der Sohlkrautung von Gewässern I. Ordnung an und wird zentral entsorgt) sind jährlich konstante Mengen zu erwarten. Aus Netzquellen fällt sie dezentral an und unterliegt jährlichen Ertragsschwankungen.
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Biomassequalität	Das Substrat bestimmt direkt die Qualität des Materials.
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Pflanzengesellschaft in Verbindung mit dem Quellentyp	Aus Gewässern I. Ordnung ist homogene Biomasse und aus Netzquellen deutlich heterogener zu erwarten.
Bergungsmaßnahmen	Entsprechend der Substrate und Bergungsmaßnahmen besitzt das Material unterschiedliche Qualitäten, je nach Feuchtegrad. Schilf besitzt, wenn es weitgehend trocken und frei von mineralischen Bestandteilen geborgen werden kann, eine gute Qualität für die Pelletierung und Verbrennung. Im Gegenteil dazu ist das feuchte Material für die Biogasanlage geeignet.

Bedeutung des Einflussfaktors: Erwartete Biomasseerträge

Einflussfaktor: Erwartete Biomasseerträge	
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Biomasseertrag	Als Ertragseinheit werden Kubikmeter (m ³) Frischmasse (FM) verwendet. Gegebenenfalls sollte zwischen verschiedenen Standorttypen mit Auswirkungen auf den Ertrag unterschieden werden. Die Biomasseerträge sind für die einzelnen Quellen möglichst exakt anzugeben. Bei Punktquellen an Gewässern I. Ordnung werden häufig konkrete Angaben erhoben, wohingegen bei den übrigen Quellen die Abschätzung der Experten herangezogen werden muss.
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Hauptart der Pflanzengesellschaft	Zwischen den Hauptarten der Pflanzengesellschaften, welche bei der Gewässerunterhaltung anfallen bestehen zum Teil große Ertragsunterschiede.
Verschattung	Verschattete Flächen weisen im Verhältnis zu besonnten einen geringen Ertrag auf.
Nährstoffgehalt des Standortes	Standorte die durch Nährstoffeintrag aus der Landwirtschaft geprägt sind, weisen einen erhöhten Biomasseertrag auf.

Bedeutung des Einflussfaktors: Unterhaltungszeitpunkt

Einflussfaktor: Unterhaltungszeitpunkt	
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Biomassequalität	Der Unterhaltungszeitpunkt hat Einfluss auf die Qualität der Biomasse. Je später Material geerntet wird, desto geringer sind die Methanausbeute.
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Zeitpunkt der Maßnahmen	Aus Unterhaltungsplänen können häufig Angaben über den Zeitraum der Maßnahmen entnommen werden. Üblicherweise werden Unterhaltungsmaßnahmen zwischen Oktober und Mai durchgeführt. Zudem sind gegebenenfalls naturschutzfachliche oder andere Vorgaben vorhanden. Es ist zu beachten, dass die Verteilung der Unterhaltungsmaßnahmen über ein Jahr stark von Witterungsverhältnissen bestimmt wird.

Bedeutung des Einflussfaktors: Unterhaltungsintensität

Einflussfaktor: Unterhaltungsintensität	
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Biomasseertrag	Das Ertragsvolumen hängt zum Teil von der Bewirtschaftungsintensität ab, wobei eine gesteigerte Intensität (bspw. zwei Schnitte anstatt einem oder beidseitig anstatt einseitig) zu höheren Erträgen führt.
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Anzahl der Maßnahmen pro Jahr	Maßnahmen werden einmal und zum Teil zweimal jährlich durchgeführt. Im Einzelfall auch bedarfsgerecht alle drei bis fünf Jahre. Ebenfalls relevant sind kurzzeitige Einschränkungen aufgrund der Vorkommen geschützter Arten (bspw. bestimmter Muschelarten).
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Biomassequalität	Die Intensität (insbesondere die jeweilige Frequenz) der Unterhaltungsmaßnahmen hat maßgeblichen Einfluss auf die Biomassequalität. Allgemein gilt, dass älteres und trockeneres Substrat eher für die Verbrennung geeignet ist. Dagegen ist feuchtes und frisches Substrat eher in der Biogasanlage zu verwerten.
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Frequenz	Es ist zwischen einseitiger und zweiseitiger Böschungsmahd sowie der Sohlkrautung zu unterscheiden. Dabei bestimmt der Abstand zwischen den Schnitten die Qualität des Substrats mit.

Bedeutung des Einflussfaktors: Bestehende Verwertung der Biomasse

Einflussfaktor: Bestehende Verwertung der Biomasse	
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Nutzungskonkurrenzen	Die aktuelle Verwertung des anfallenden Substrats beschränkt dessen mögliche energetische Nutzung. Zu prüfen sind stoffliche sowie weitere bestehende energetische Nutzungen.
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Bestehende energetische oder stoffliche Nutzungen	Material aus der Gewässerunterhaltung wird bereits kompostiert. Entscheidend ist das Materialvolumen.

Bedeutung des Einflussfaktors: Werbungs- und Lagerungsverluste

Einflussfaktor: Werbungs- und Lagerungsverluste	
Einfluss auf die Ausprägung des Parameters:	
Biomasseverluste	Bei der Werbung und Lagerung von Biomasse ist mit anteiligen Verlusten zu rechnen. Die Ausprägung ist je nach Ernte- und Lagerungsverfahren unterschiedlich
Beispielhafte Auswahl relevanter Indikatoren:	
Ernte- und Lagerungsverfahren	Je nachdem ob die Unterhaltung mit Mähbooten oder anderer Technik durchgeführt wird, sind unterschiedliche Verluste zu erwarten. Dazu liegen jedoch bisher keine Erkenntnisse vor.

A 4 Gemeinden im Untersuchungsgebiet

Gemeinden im Untersuchungsgebiet, gegliedert nach Landkreisen (ohne die kreisfreien Städte Brandenburg an der Havel und Potsdam)

Havelland	Ostprignitz-Ruppin	Potsdam-Mittelmark	Oberhavel
Brieselang	Breddin	Beetzsee	Henningsdorf
Dallgow-Döberitz	Dabergotz	Beetzseeheide	Kremmen
Gollenberg	Dreetz	Bensdorf	Leegebruch
Großderschau	Fehrbellin	Groß Kreutz	Oberkrämer
Havelaue	Herzberg	Havelsee	Velten
Kleßen-Görne	Märkisch-Linden	Kloster Lehnin	
Kotzen	Neuruppin	Päwesin	
Märkisch Luch	Neustadt	Rosenau	
Milower Land	Rüthnick	Roskow	
Mühlenberge	Sieversdorf - Hohenofen	Werder	
Nennhausen	Stüdnitz-Schönermark	Wusterwitz	
Paulinenaue	Temnitztal		
Pessin	Wusterhausen-Dosse		
Retzow	Walsleben		
Schönwalde-Glien	Zernitz-Lohm		
Seeblick			
Stadt Falkensee			
Stadt Frisack			
Stadt Ketzin			
Stadt Nauen			
Stadt Premnitz			
Stadt Rathenow			

Stadt Rhinow			
Stechow-Ferchesar			
Wiesenaue			
Wustermark			

A 5 Fragebögen zur Erfassung der Wärmesenken in der Untersuchungsregion

- Gemeinden
- Bildungseinrichtungen
- Krankenhäuser / Vorsorgeeinrichtungen
- Kirchengemeinden
- Schwimmbäder
- Beherbergungsbetriebe
- Industrie- und Gewerbebetriebe
- Landwirtschaftsbetriebe
- Gartenbaubetriebe
- Reiterhöfe
- Biomasseheizwerke und Biomasseheizkraftwerke

Gemeinden

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



1. Über wie viele Ortschaften verfügt Ihre Gemeinde?

Ortschaftenanzahl

Ortschaft	Einwohner	Anzahl Verwaltungsgebäude wie Schulen, Schwimmbäder, Rathaus u. ä. (möglichst genau, alternativ abschätzen)

2. Über welche Art der Gebäudebeheizung verfügen ihre Verwaltungsgebäude?

- Öl
- Gas
- Fernwärme
- Pellets
- andere, wenn ja welche

3. Wie hoch ist die Nennwärmeleistung Ihrer Heizungsanlagen?

Ortschaft	Verwaltungsgebäude	Nennwärmeleistung [kW]	gesamter Energieverbrauch 2009 [kWh]	alternativ Energieträgermenge z.B. Liter Öl oder m ³ Gas

4. Verfügen Sie über eine Unterstützung Ihrer Heizungsanlage(n) durch regenerative Systeme ?

- Ja
 - Wärmepumpe, mit einer Leistung von: [kW] Ort
 - Solarthermie, mit einer Leistung von: [kW] Ort
 - weitere, und zwar: mit [kW]
- Nein Ort



Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



5.1 Könnten Sie sich vorstellen ihre Heizungsanlage(n) auf Biomassenutzung umzustellen ?

- ja
- nein
- bereits vorhanden
- vielleicht, wenn:

5.2 Wenn ja oder bereits vorhanden könnten Sie sich prinzipiell vorstellen auch Heupellets aus der Region einzusetzen ?

- ja
- nein
- vielleicht, wenn:

Zur Information:

Mit dieser Frage wollen wir Ihre Bereitschaft / Ihr Interesse an der Thematik "Energie aus Heu" erfassen. Wir nutzen die Informationen für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens und nicht um sie an Anlagenhersteller/-planer etc. weiterzugeben. (siehe auch Angaben auf der 1. Seite)

Vielen Dank für Ihre Mithilfe

Nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, senden Sie ihn am einfachsten über das Feld „per E-mail senden“ an uns zurück.

Im Falle der Beantwortung durch mehrere Bearbeiter können Sie das Formular zwischenspeichern und dem entsprechenden Bearbeiter als E-Mail Anhang schicken (**Achtung: nur Acrobat Reader Version 9.0 und höher!**).

Um die ordnungsgemäße Funktion der „per E-mail senden“ Schaltfläche des Formulars zu gewährleisten, sollte ihr System über den **Acrobat Reader Version 7.0** oder höher verfügen. **Alternativ** können Sie den Fragebogen auch gern ausdrucken und uns per Post oder Fax zukommen lassen (Kontaktdaten siehe oben).

Per E-Mail senden

Formular drucken

Bildungseinrichtungen

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



1. Über welche Art der Gebäudebeheizung verfügen Sie?

- Öl
 Gas
 Fernwärme
 Pellets
 andere, wenn ja welche

2. Wie hoch ist die Nennwärmeleistung Ihrer Heizungsanlage?

Nennwärmeleistung Kessel 1 [kW]

Nennwärmeleistung Kessel 2, falls vorhanden [kW]

Nennwärmeleistung Kessel 3, falls vorhanden [kW]

3. Verfügen Sie über eine Unterstützung Ihrer Heizungsanlage durch regenerative Systeme ?

- Ja
- Wärmepumpe, mit einer Leistung von: [kW]
- Solarthermie, mit einer Leistung von: [kW]
- weitere, und zwar: mit [kW]
- Nein

4. Wie hoch war Ihr Wärmebedarf insgesamt im Jahr 2009?

Wärmebedarf insg. [kWh] Öl [Liter] alternativ [kWh]

Gas [m³] alternativ [kWh]

Fernwärme [kWh]

Pellets [t]

andere, und zwar mit
(bitte Wert und Einheit angeben)

5. Wie viele Schüler bzw. Studenten sind bei Ihnen im Durchschnitt registriert?

Schüler

Studenten

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



6.1 Könnten Sie sich vorstellen ihre Heizungsanlage auf Biomassenutzung umzustellen ?

- ja
- nein
- bereits vorhanden
- vielleicht, wenn:

6.2 Wenn ja oder bereits vorhanden, könnten Sie sich prinzipiell vorstellen auch Heupellets aus der Region einzusetzen ?

- ja
- nein
- vielleicht, wenn:

Zur Information:

Mit dieser Frage wollen wir Ihre Bereitschaft / Ihr Interesse an der Thematik "Energie aus Heu" erfassen. Wir nutzen die Informationen für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens und nicht um sie an Anlagenhersteller/-planer etc. weiterzugeben. (siehe auch Angaben auf der 1. Seite)

Vielen Dank für Ihre Mithilfe

Nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, senden Sie ihn am einfachsten über das Feld „per E-mail senden“ an uns zurück.

Im Falle der Beantwortung durch mehrere Bearbeiter können Sie das Formular zwischenspeichern und dem entsprechenden Bearbeiter als E-Mail Anhang schicken (**Achtung: nur Acrobat Reader Version 9.0 und höher!**).

Um die ordnungsgemäße Funktion der „per E-mail senden“ Schaltfläche des Formulars zu gewährleisten, sollte ihr System über den **Acrobat Reader Version 7.0** oder höher verfügen. **Alternativ** können Sie den Fragebogen auch gern ausdrucken und uns per Post oder Fax zukommen lassen (Kontaktdaten siehe oben).

Per E-Mail senden

Formular drucken

Krankenhäuser / Vorsorgeeinrichtungen

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



1. Über welche Art der Gebäudebeheizung verfügen Sie?

- Öl
 Gas
 Fernwärme
 Pellets
 andere, wenn ja welche

2. Wie hoch ist die Nennwärmeleistung Ihrer Heizungsanlage?

Nennwärmeleistung Kessel 1 [kW]

Nennwärmeleistung Kessel 2, falls vorhanden [kW]

Nennwärmeleistung Kessel 3, falls vorhanden [kW]

3. Verfügen Sie über eine Unterstützung Ihrer Heizungsanlage durch regenerative Systeme ?

- Ja
 Wärmepumpe, mit einer Leistung von: [kW]
 Solarthermie, mit einer Leistung von: [kW]
 weitere, und zwar: mit [kW]
- Nein

4. Wie hoch war Ihr Wärmebedarf insgesamt im Jahr 2009?

Wärmebedarf insg. [kWh] Öl [Liter] alternativ [kWh]
Gas [m³] alternativ [kWh]
Fernwärme [kWh]
Pellets [t]
andere, und zwar mit
(bitte Wert und Einheit angeben)

5. Über wie viele Betten verfügt Ihre Einrichtung?

Betten

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



6.1 Könnten Sie sich vorstellen ihre Heizungsanlage auf Biomassenutzung umzustellen ?

- ja
- nein
- bereits vorhanden
- vielleicht, wenn:

6.2 Wenn ja oder bereits vorhanden, könnten Sie sich prinzipiell vorstellen auch Heupellets aus der Region einzusetzen ?

- ja
- nein
- vielleicht, wenn:

Zur Information:

Mit dieser Frage wollen wir Ihre Bereitschaft / Ihr Interesse an der Thematik "Energie aus Heu" erfassen. Wir nutzen die Informationen für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens und nicht um sie an Anlagenhersteller/-planer etc. weiterzugeben. (siehe auch Angaben auf der 1. Seite)

Vielen Dank für Ihre Mithilfe

Nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, senden Sie ihn am einfachsten über das Feld „per E-mail senden“ an uns zurück.

Im Falle der Beantwortung durch mehrere Bearbeiter können Sie das Formular zwischenspeichern und dem entsprechenden Bearbeiter als E-Mail Anhang schicken (**Achtung: nur Acrobat Reader Version 9.0 und höher!**).

Um die ordnungsgemäße Funktion der „per E-mail senden“ Schaltfläche des Formulars zu gewährleisten, sollte ihr System über den **Acrobat Reader Version 7.0** oder höher verfügen. **Alternativ** können Sie den Fragebogen auch gern ausdrucken und uns per Post oder Fax zukommen lassen (Kontaktdaten siehe oben).

Per E-Mail senden

Formular drucken

Kirchengemeinden

Deutsches BiomasseForschungsZentrum

1. Verfügt Ihre Kirchengemeinde über regenerative Energiesysteme?

- ja Wenn ja, welche?
- nein

2. Bitte machen Sie im Folgenden Angaben zum Heizenergiebedarf Ihrer Gebäude.

Ortschaft, Adresse	Gebäude (Kirche, Verwaltung, Kindergarten, ...)	Nennwärme- leistung der Anlage [kW]	gesamter Energieverbrauch 2009 [kWh]	alternativ, Energieträgermenge z.B. Liter Öl, m³ Gas	eingesetzter Energieträger bzw. Brennstoff *

*1 = Öl 2 = Gas 3 = Fernwärme 4 = Pellets 5 = Holzhackschnitzel 6 = weitere

3. Könnten Sie sich vorstellen ihre Heizungsanlage(n) auf Biomassenutzung umzustellen ?

- ja
- nein
- bereits vorhanden
- vielleicht, wenn:

4. Wenn ja oder bereits vorhanden könnten Sie sich prinzipiell vorstellen auch Heupellets aus der Region einzusetzen ?

- ja
- nein
- vielleicht, wenn:

Zur Information:

Mit dieser Frage wollen wir Ihre Bereitschaft / Ihr Interesse an der Thematik "Energie aus Heu" erfassen. Wir nutzen die Informationen für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens und nicht um sie an Anlagenhersteller/-planer etc. weiterzugeben. (siehe auch Angaben auf der 1. Seite)

Schwimmbäder

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



1. Über welche Art der Wärmeerzeugung verfügen Sie?

- Öl
 Gas
 Fernwärme
 Pellets
 andere, wenn ja welche

2. Wie hoch ist die Nennwärmeleistung Ihrer Heizungsanlage?

Nennwärmeleistung Kessel 1 [kW]

Nennwärmeleistung Kessel 2, falls vorhanden [kW]

Nennwärmeleistung Kessel 3, falls vorhanden [kW]

Nennwärmeleistung Kessel 4, falls vorhanden [kW]

3. Verfügen Sie über eine Unterstützung Ihrer Wärmeerzeugung durch regenerative Systeme ?

- Ja
 Wärmepumpe, mit einer Leistung von: [kW]
 Solarthermie, mit einer Leistung von: [kW]
 weitere, und zwar: mit [kW]
- Nein

4. Wie hoch war Ihr Wärmebedarf insgesamt im Jahr 2009?

Wärmebedarf insg. [kWh]
 Öl [Liter] alternativ [kWh]
 Gas [m³] alternativ [kWh]
 Fernwärme [kWh]
 Pellets [t]
 andere, und zwar mit

(bitte Wert und Einheit angeben)

5. Wie groß ist die von Ihnen beheizte Wasserfläche bzw. das Volumen?

[m²]

[m³]

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



6.1 Könnten Sie sich vorstellen ihre Heizungsanlage auf Biomassenutzung umzustellen ?

- ja
- nein
- bereits vorhanden
- vielleicht, wenn:

6.2 Wenn ja oder bereits vorhanden, könnten Sie sich prinzipiell vorstellen auch Heupellets aus der
Region einzusetzen ?

- ja
- nein
- vielleicht, wenn:

Zur Information:

Mit dieser Frage wollen wir Ihre Bereitschaft / Ihr Interesse an der Thematik "Energie aus Heu" erfassen. Wir nutzen die Informationen für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens und nicht um sie an Anlagenhersteller/-planer etc. weiterzugeben. (siehe auch Angaben auf der 1. Seite)

Vielen Dank für Ihre Mithilfe

Nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, senden Sie ihn am einfachsten über das Feld „per E-mail senden“ an uns zurück.

Im Falle der Beantwortung durch mehrere Bearbeiter können Sie das Formular zwischenspeichern und dem entsprechenden Bearbeiter als E-Mail Anhang schicken (**Achtung: nur Acrobat Reader Version 9.0 und höher!**).

Um die ordnungsgemäße Funktion der „per E-mail senden“ Schaltfläche des Formulars zu gewährleisten, sollte ihr System über den **Acrobat Reader Version 7.0** oder höher verfügen. **Alternativ** können Sie den Fragebogen auch gern ausdrucken und uns per Post oder Fax zukommen lassen (Kontaktdaten siehe oben).

Per E-Mail senden

Formular drucken

Beherbergungsbetriebe

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



1. Über welche Art der Gebäudebeheizung verfügen Sie?

- Öl
 Gas
 Fernwärme
 Pellets
 andere, wenn ja welche

2. Wie hoch ist die Nennwärmeleistung Ihrer Heizungsanlage?

Nennwärmeleistung [kW]

3. Verfügen Sie über eine Unterstützung Ihrer Heizungsanlage durch regenerative Systeme ?

- Ja
 Wärmepumpe, mit einer Leistung von: [kW]
 Solarthermie, mit einer Leistung von: [kW]
 weitere, und zwar: mit [kW]
- Nein

4. Wie hoch war Ihr Wärmebedarf insgesamt im Jahr 2009?

Wärmebedarf insg. [kWh]
 Öl [Liter] alternativ [kWh]
 Gas [m³] alternativ [kWh]
 Fernwärme [kWh]
 Pellets [t]
 andere, und zwar mit

5. Über wie viele Betten verfügt Ihr Gastgewerbe?

Bettenanzahl

6. Über wie viel volle Mitarbeiterstellen verfügt Ihr Gastgewerbe?

Angabe VZÄ*

* VZÄ = Vollzeitäquivalent / volle Mitarbeiterstellen

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



7.1 Könnten Sie sich vorstellen ihre Heizungsanlage auf Biomassenutzung umzustellen ?

- ja
- nein
- bereits vorhanden
- vielleicht, wenn:

7.2 Wenn ja oder bereits vorhanden könnten Sie sich prinzipiell vorstellen auch Heupellets aus der
Region einzusetzen ?

- ja
- nein
- vielleicht, wenn:

Zur Information:

Mit dieser Frage wollen wir Ihre Bereitschaft / Ihr Interesse an der Thematik "Energie aus Heu" erfassen. Wir nutzen die Informationen für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens und nicht um sie an Anlagenhersteller/-planer etc. weiterzugeben. (siehe auch Angaben auf der 1. Seite)

Vielen Dank für Ihre Mithilfe

Nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, senden Sie ihn am einfachsten über das Feld „per E-mail senden“ an uns zurück.

Im Falle der Beantwortung durch mehrere Bearbeiter können Sie das Formular zwischenspeichern und dem entsprechenden Bearbeiter als E-Mail Anhang schicken (**Achtung: nur Acrobat Reader Version 9.0 und höher!**).

Um die ordnungsgemäße Funktion der „per E-mail senden“ Schaltfläche des Formulars zu gewährleisten, sollte ihr System über den **Acrobat Reader Version 7.0** oder höher verfügen. **Alternativ** können Sie den Fragebogen auch gern ausdrucken und uns per Post oder Fax zukommen lassen (Kontaktdaten siehe oben).

Per E-Mail senden

Formular drucken

Industrie- und Gewerbebetriebe

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



1. Über welche Art der Wärmeerzeugung (Prozess- /Heizbedarf) verfügen Sie?

- Öl
- Gas
- Fernwärme
- Pellets
- andere, wenn ja welche

2. Wie hoch ist die Nennwärmeleistung Ihrer Wärmeerzeugung?

Nennwärmeleistung [kW]

3. Verfügen Sie über eine Unterstützung Ihrer Heizungsanlage durch regenerative Systeme ?

- Ja
 - Wärmepumpe, mit einer Leistung von: [kW]
 - Solarthermie, mit einer Leistung von: [kW]
 - weitere, und zwar: mit [kW]
- Nein

4. Wie hoch war Ihr Wärmebedarf insgesamt im Jahr 2009?

Wärmebedarf insg. [kWh] Öl [Liter] alternativ [kWh]

Gas [m³] alternativ [kWh]

Fernwärme [kWh]

Pellets [t]

andere, und zwar mit

(bitte Wert und Einheit angeben)

5. Wie teilt sich Ihr gesamter Wärmebedarf auf?

Gebäudeheizung

Prozesswärme

andere, und zwar mit

(bitte Wert und Einheit angeben)

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



6. Fragen zum Betrieb.

Haben Sie, über den Heizungsbedarf hinaus, Bedarf an Prozesskühlung?

- ja, Prozesskältebedarf von ca: [kWh/a]
 nein

Mitarbeiter VZÄ* *VZÄ = Vollzeitäquivalent / volle Mitarbeiterstellen

7.1 Könnten Sie sich vorstellen ihre Heizungs-/Kälteanlage auf Biomassenutzung umzustellen ?

- ja
 nein
 bereits vorhanden
 vielleicht, wenn:

7.2 Wenn ja oder bereits vorhanden, könnten Sie sich prinzipiell vorstellen auch Heupellets aus der Region einzusetzen ?

- ja
 nein
 vielleicht, wenn:

Zur Information:

Mit dieser Frage wollen wir Ihre Bereitschaft / Ihr Interesse an der Thematik "Energie aus Heu" erfassen. Wir nutzen die Informationen für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens und nicht um sie an Anlagenhersteller/-planer etc. weiterzugeben. (siehe auch Angaben auf der 1. Seite)

Vielen Dank für Ihre Mithilfe

Nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, senden Sie ihn am einfachsten über das Feld „per E-mail senden“ an uns zurück.

Im Falle der Beantwortung durch mehrere Bearbeiter können Sie das Formular zwischenspeichern und dem entsprechenden Bearbeiter als E-Mail Anhang schicken (**Achtung: nur Acrobat Reader Version 9.0 und höher!**).

Um die ordnungsgemäße Funktion der „per E-mail senden“ Schaltfläche des Formulars zu gewährleisten, sollte ihr System über den **Acrobat Reader Version 7.0** oder höher verfügen. **Alternativ** können Sie den Fragebogen auch gern ausdrucken und uns per Post oder Fax zukommen lassen (Kontaktdaten siehe oben).

Per E-Mail senden

Formular drucken

Landwirtschaftsbetriebe

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



Ihre Kontaktdaten:

Name

ggf. Name des Betriebs

Straße und Hausnr.

PLZ und Ort

1. Über welche Art der Gebäudebeheizung verfügen Sie?

- Öl
- Gas
- Fernwärme
- Pellets
- andere, wenn ja welche

2. Wie hoch ist die Nennwärmeleistung Ihrer Heizungsanlage?

Nennwärmeleistung Kessel 1 [kW]

Nennwärmeleistung Kessel 2, falls vorhanden [kW]

Nennwärmeleistung Kessel 3, falls vorhanden [kW]

3. Verfügen Sie über eine Unterstützung Ihrer Heizungsanlage durch regenerative Systeme?

- Ja
 - Wärmepumpe, mit einer Leistung von: [kW]
 - Solarthermie, mit einer Leistung von: [kW]
 - weitere, und zwar: mit [kW]
- Nein

4. Wie hoch war Ihr Wärmebedarf insgesamt im Jahr 2009?

Wärmebedarf insg. [kWh] Öl [Liter] alternativ [kWh]
 Gas [m³] alternativ [kWh]
 Fernwärme [kWh]
 Pellets [t]
 andere, und zwar mit

(bitte Wert und Einheit angeben)

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



5. Könnten Sie sich vorstellen ihre Heizungsanlage auf Biomassenutzung umzustellen?

- ja
 nein
 bereits vorhanden
 vielleicht, wenn:

6. Fragen zum Betrieb

bewirtschaftete Fläche, insgesamt [ha]

davon Grünland [ha]

Anzahl der Schweine (falls vorhanden) [GVE]

Anzahl Geflügel (falls vorhanden) [GVE]

Mitarbeiter VZÄ* * VZÄ = Vollzeitäquivalent / volle Mitarbeiterstellen

7. Fragen zur Heuverwertung

7.1 Verfügen Sie derzeit über freie Kapazitäten an Heu aus der Grünlandnutzung die nicht für Futterzwecke benötigt werden?

- ja falls ja, ca. (Angabe in Tonnen, Ballen, ha oder ähnlichen)
 nein

7.2. Wenn ja, könnten Sie sich prinzipiell vorstellen dieses Heu auch für die eigene Energieversorgung zu verwenden bzw. es an Dritte für energetische Zwecke zu vermarkten?

- ja
 nein
 vielleicht, wenn:

Zur Information:

Mit dieser Frage wollen wir Ihre Bereitschaft / Ihr Interesse an der Thematik "Energie aus Heu" erfassen. Wir nutzen die Informationen für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens und nicht um sie an Anlagenhersteller/-planer etc. weiterzugeben. (siehe auch Angaben auf der 1. Seite)

Vielen Dank für Ihre Mithilfe

Gartenbaubetriebe

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



1. Über welche Art der Wärmeerzeugung verfügen Sie?

- Öl
- Gas
- Fernwärme
- Pellets
- andere, wenn ja welche

2. Wie hoch ist die Nennwärmeleistung Ihres Heizungskessels?

Nennwärmeleistung Kessel 1 [kW]

Nennwärmeleistung Kessel 2, falls vorhanden [kW]

Nennwärmeleistung Kessel 3, falls vorhanden [kW]

3. Verfügen Sie über eine Unterstützung Ihrer Heizungsanlage durch regenerative Systeme ?

- Ja
 - Wärmepumpe, mit einer Leistung von: [kW]
 - Solarthermie, mit einer Leistung von: [kW]
 - weitere, und zwar: mit [kW]
- Nein

4. Wie hoch war Ihr Wärmebedarf insgesamt im Jahr 2009?

Wärmebedarf insg. [kWh] Öl [Liter] alternativ [kWh]

Gas [m³] alternativ [kWh]

Fernwärme [kWh]

Pellets [t]

andere, und zwar mit

(bitte Wert und Einheit angeben)

5. Fragen zum Betrieb.

Verfügen Sie über beheizte Anbaufläche unter Glas bzw. Folie?

- ja, ca: [m²]
- nein



Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



Wie viele Mitarbeiter beschäftigen Sie?

Mitarbeiter VZÄ*

* VZÄ = Vollzeitäquivalent / volle Mitarbeiterstellen

6.1 Könnten Sie sich vorstellen ihre Heizungsanlage auf Biomassenutzung umzustellen ?

- ja
 nein
 bereits vorhanden
 vielleicht, wenn:

6.2 Wenn ja oder bereits vorhanden, könnten Sie sich prinzipiell vorstellen auch Heupellets aus der Region einzusetzen ?

- ja
 nein
 vielleicht, wenn:

Zur Information:

Mit dieser Frage wollen wir Ihre Bereitschaft / Ihr Interesse an der Thematik "Energie aus Heu" erfassen. Wir nutzen die Informationen für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens und nicht um sie an Anlagenhersteller/-planer etc. weiterzugeben. (siehe auch Angaben auf der 1. Seite)

Vielen Dank für Ihre Mithilfe

Nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, senden Sie ihn am einfachsten über das Feld „per E-mail senden“ an uns zurück.

Im Falle der Beantwortung durch mehrere Bearbeiter können Sie das Formular zwischenspeichern und dem entsprechenden Bearbeiter als E-Mail Anhang schicken (**Achtung: nur Acrobat Reader Version 9.0 und höher!**).

Um die ordnungsgemäße Funktion der „per E-mail senden“ Schaltfläche des Formulars zu gewährleisten, sollte ihr System über den **Acrobat Reader Version 7.0** oder höher verfügen. **Alternativ** können Sie den Fragebogen auch gern ausdrucken und uns per Post oder Fax zukommen lassen (Kontaktdaten siehe oben).

Per E-Mail senden

Formular drucken

Reiterhöfe

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



1. Über welche Art der Gebäudebeheizung verfügen Sie?

- Öl
- Gas
- Fernwärme
- Pellets
- andere, wenn ja welche

2. Wie hoch ist die Nennwärmeleistung Ihrer Heizungsanlage?

Nennwärmeleistung Kessel 1 [kW]
 Nennwärmeleistung Kessel 2, falls vorhanden [kW]
 Nennwärmeleistung Kessel 3, falls vorhanden [kW]

3. Verfügen Sie über eine Unterstützung Ihrer Heizungsanlage durch regenerative Systeme ?

- Ja
 - Wärmepumpe, mit einer Leistung von: [kW]
 - Solarthermie, mit einer Leistung von: [kW]
 - weitere, und zwar: mit [kW]
- Nein

4. Wie hoch war Ihr Wärmebedarf insgesamt im Jahr 2009?

Wärmebedarf insg. [kWh] Öl [Liter] alternativ [kWh]
 Gas [m³] alternativ [kWh]
 Fernwärme [kWh]
 Pellets [t]
 andere, und zwar mit
(bitte Wert und Einheit angeben)

5. Fragen zum Betrieb.

bewirtschaftete Fläche, insgesamt [ha] davon Grünland [ha]
 Anzahl der Schweine (falls vorhanden) [GVE] Anzahl Geflügel (falls vorhanden) [GVE]
 Anzahl Pferde [GVE] Mitarbeiter VZÄ* * VZÄ = Vollzeitäquivalent / volle Mitarbeiterstellen

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



6.1 Könnten Sie sich vorstellen ihre Heizungsanlage auf Biomassenutzung umzustellen ?

- ja
- nein
- bereits vorhanden
- vielleicht, wenn:

6.2 Wenn ja oder bereits vorhanden, könnten Sie sich prinzipiell vorstellen auch Heupellets aus der Region einzusetzen ?

- ja
- nein
- vielleicht, wenn:

Zur Information:

Mit dieser Frage wollen wir Ihre Bereitschaft / Ihr Interesse an der Thematik "Energie aus Heu" erfassen. Wir nutzen die Informationen für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens und nicht um sie an Anlagenhersteller/-planer etc. weiterzugeben. (siehe auch Angaben auf der 1. Seite)

Vielen Dank für Ihre Mithilfe

Nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, senden Sie ihn am einfachsten über das Feld „per E-mail senden“ an uns zurück.

Im Falle der Beantwortung durch mehrere Bearbeiter können Sie das Formular zwischenspeichern und dem entsprechenden Bearbeiter als E-Mail Anhang schicken (**Achtung: nur Acrobat Reader Version 9.0 und höher!**).

Um die ordnungsgemäße Funktion der „per E-mail senden“ Schaltfläche des Formulars zu gewährleisten, sollte ihr System über den **Acrobat Reader Version 7.0** oder höher verfügen. **Alternativ** können Sie den Fragebogen auch gern ausdrucken und uns per Post oder Fax zukommen lassen (Kontaktdaten siehe oben).

Per E-Mail senden

Formular drucken

Biomasseheizwerke

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



1. Organisatorisches

- in Betrieb wenn ja, Inbetriebnahme seit (Jahr)
 geplant wenn ja, Inbetriebnahme seit (Jahr)
 stillgelegt wenn ja, stillgelegt seit (Jahr)

Betreiber:

Adresse und
Ansprechpartner:

Anlagenstandort:
(falls abweichend)

2. Brennstoffe

- Herkunft: z.B. Waldrestholz, KUP, Stroh,
Altholz I-IV, Heu, ...
 Art: z.B. Hackschnitzel, Pellets, Staub, ...
 Wassergehalt: durchschnittlicher Wassergehalt in %
 Menge [t/a]: Bitte entsprechend angeben ob
atro oder feucht.

Könnten Sie sich prinzipiell vorstellen auch Heupellets aus der Region einzusetzen?
Bitte kurz entsprechend begründen.

- ja Begründung:
 nein

3. technische Kennzahlen

- Nennwärmeleistung* [kW]:
 Jahresarbeit Wärme* [MWh]:
 Vollbenutzungsstunden* [h]: * es sind nur zwei der drei Werte notwendig

Verfügen Sie über getrennte/mehrere Grund- und Spitzenlastkessel?

- ja wenn ja, wie
 nein viele jeweils?:

Deutsches BiomasseForschungsZentrum gGmbH



4. Anlagentechnik

Feuerungsprinzip: z.B. Festbett, Wirbelschicht, Einblasfeuerung, ...

Feuerungsbauart: z.B. starrer Rost, bewegter Rost, zirkulierend,
Staubfeuerung, Ganzballenfeuerung, ...

Feuerungstyp: z.B. Wanderrost, Drehrost, Kipprost,
Schachtfeuerung, Unterschubfeuerung, ...

Kesselhersteller:

Abgasreinigung: z.B. Elektrofilter, Multizyklon, Zyklon, Wäscher,
Gewebefilter, Schütttschichtfilter, Katalysator, ...

Ascheaustrag

- manuell
 automatisch

Brennwertnutzung (Rauchgaskondensation vorhanden?)

- ja
 nein

Wärmeabnehmer: z.B. Schule, Amt, Hotel, Sporthalle, Schwimmbad,
Krankenhaus,

Vielen Dank für Ihre Mithilfe

Nachdem Sie den Fragebogen ausgefüllt haben, senden Sie ihn am einfachsten über das Feld „per E-mail senden“ an uns zurück.

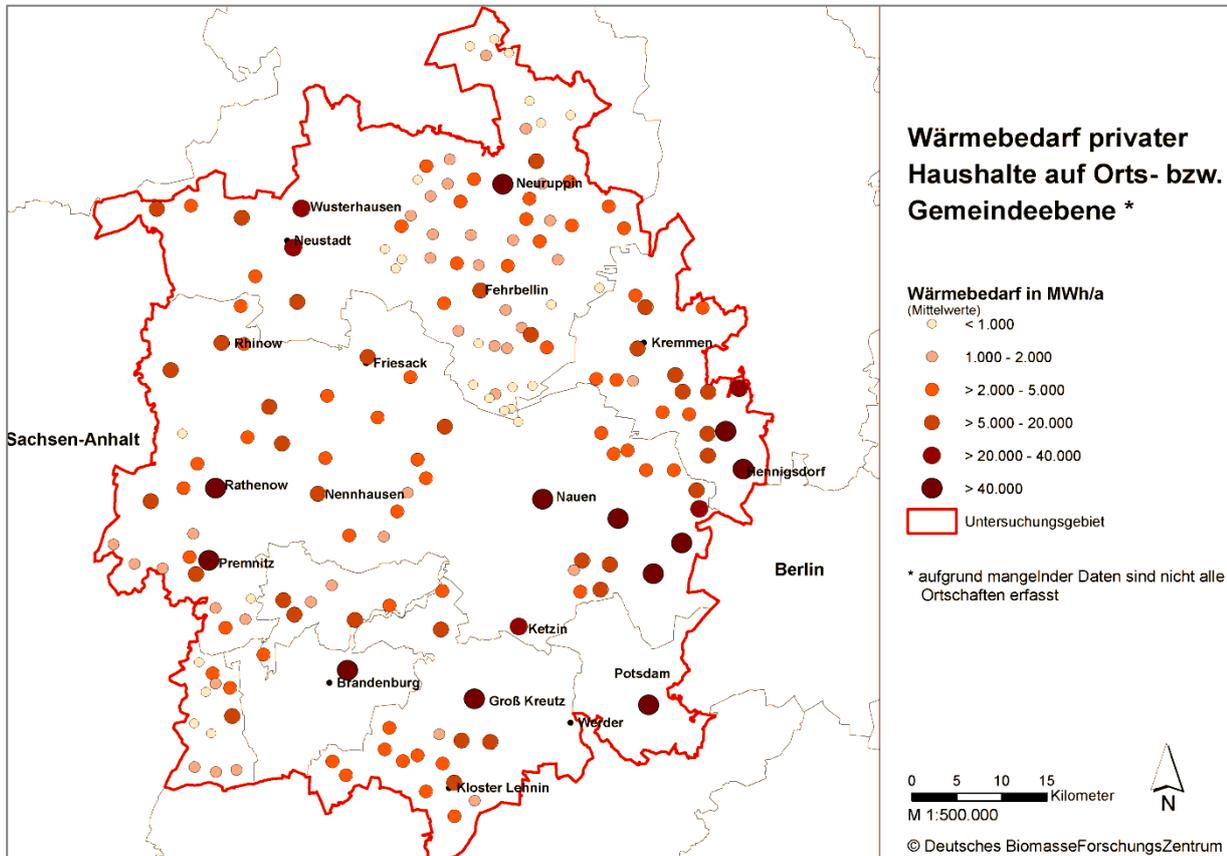
Im Falle der Beantwortung durch mehrere Bearbeiter können Sie das Formular zwischenspeichern und dem entsprechenden Bearbeiter als E-Mail Anhang schicken (**Achtung: nur Acrobat Reader Version 9.0 und höher!**).

Um die ordnungsgemäße Funktion der „per E-mail senden“ Schaltfläche des Formulars zu gewährleisten, sollte ihr System über den **Acrobat Reader Version 7.0** oder höher verfügen. **Alternativ** können Sie den Fragebogen auch gern ausdrucken und uns per Post oder Fax zukommen lassen (Kontaktdaten siehe oben).

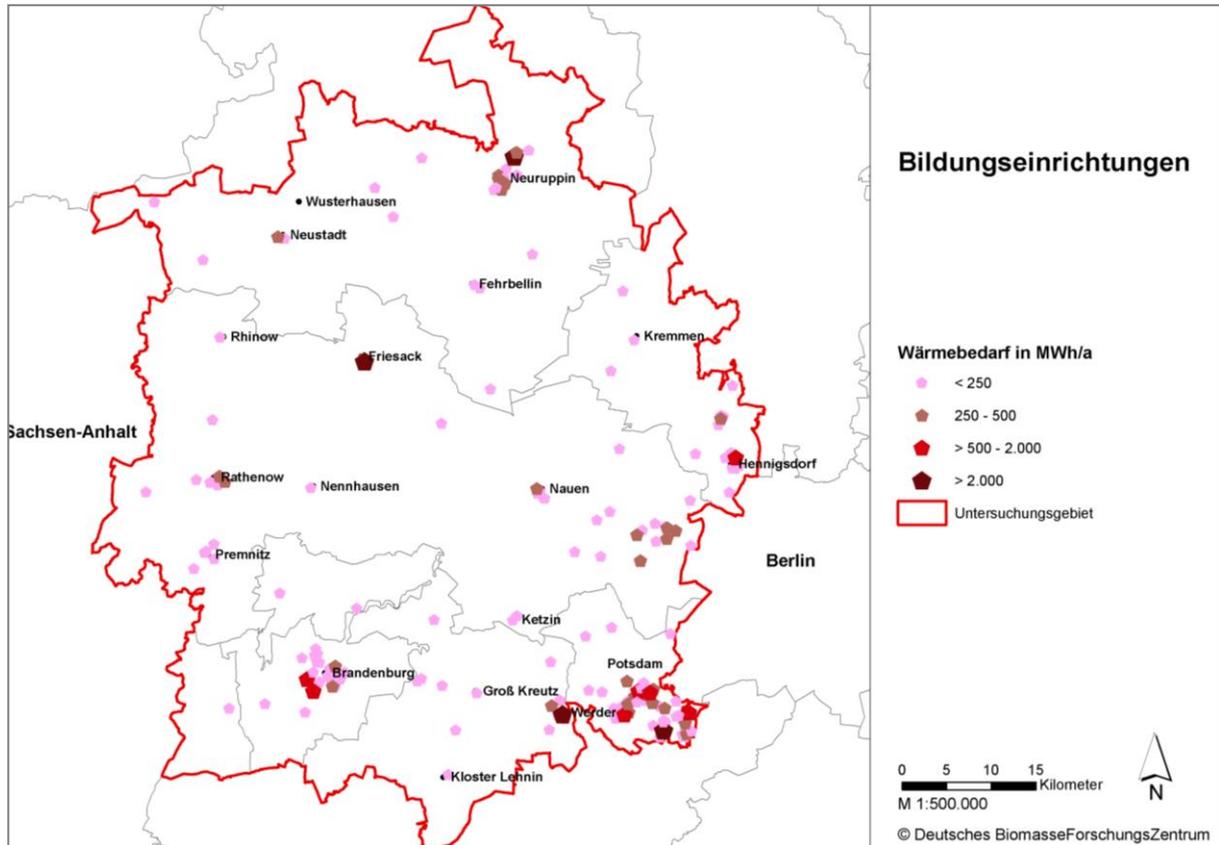
Per E-Mail senden

Formular drucken

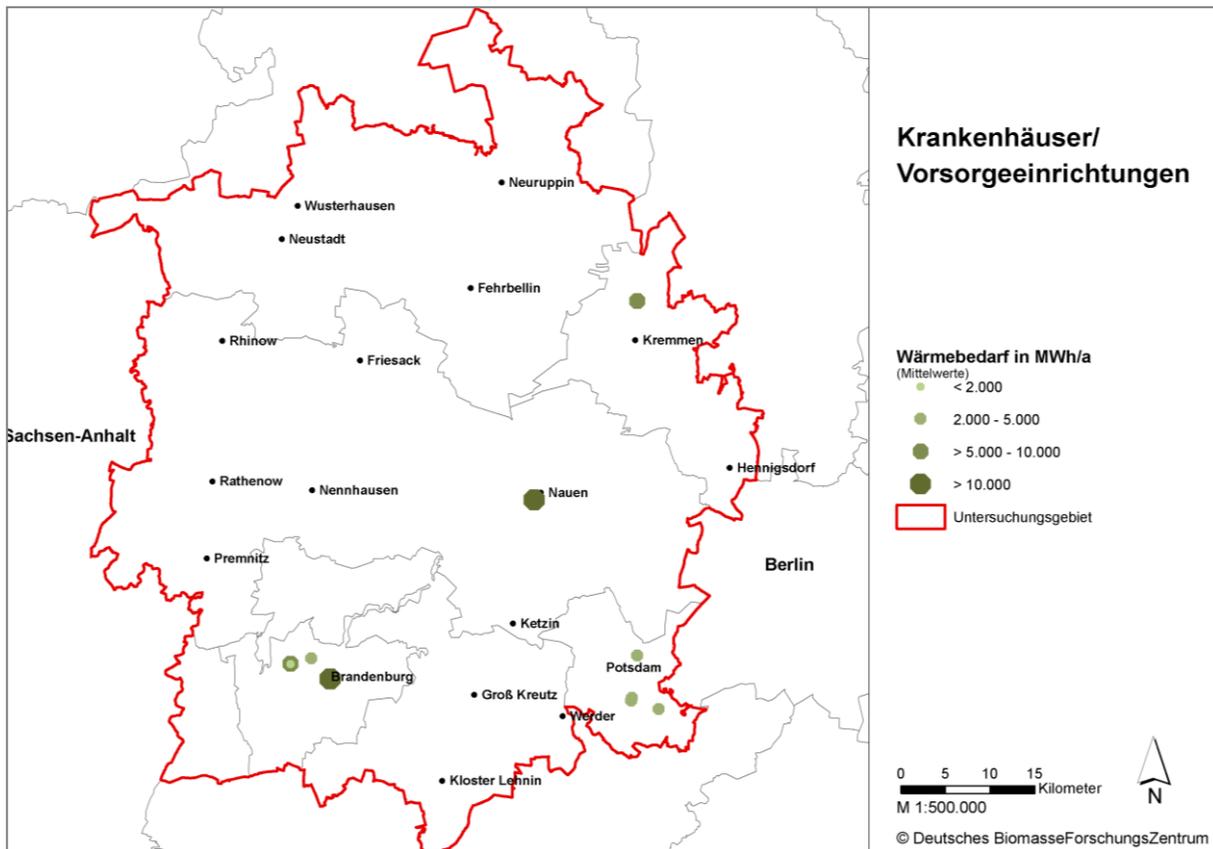
A 6 Kartographische Ergebnisse der Regionsanalyse



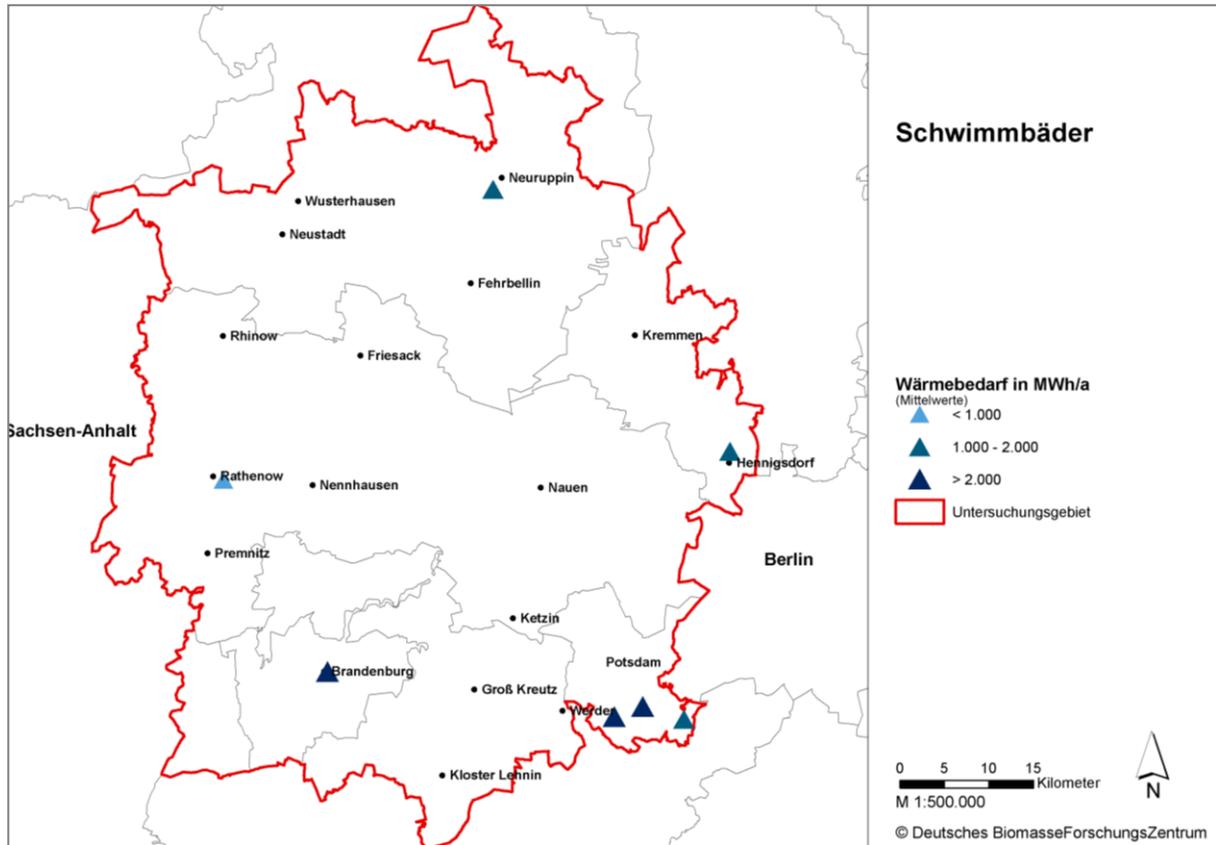
Kartographische Darstellung des mittleren Wärmebedarf von Haushalten im Untersuchungsgebiet (Abbildung: DBFZ)



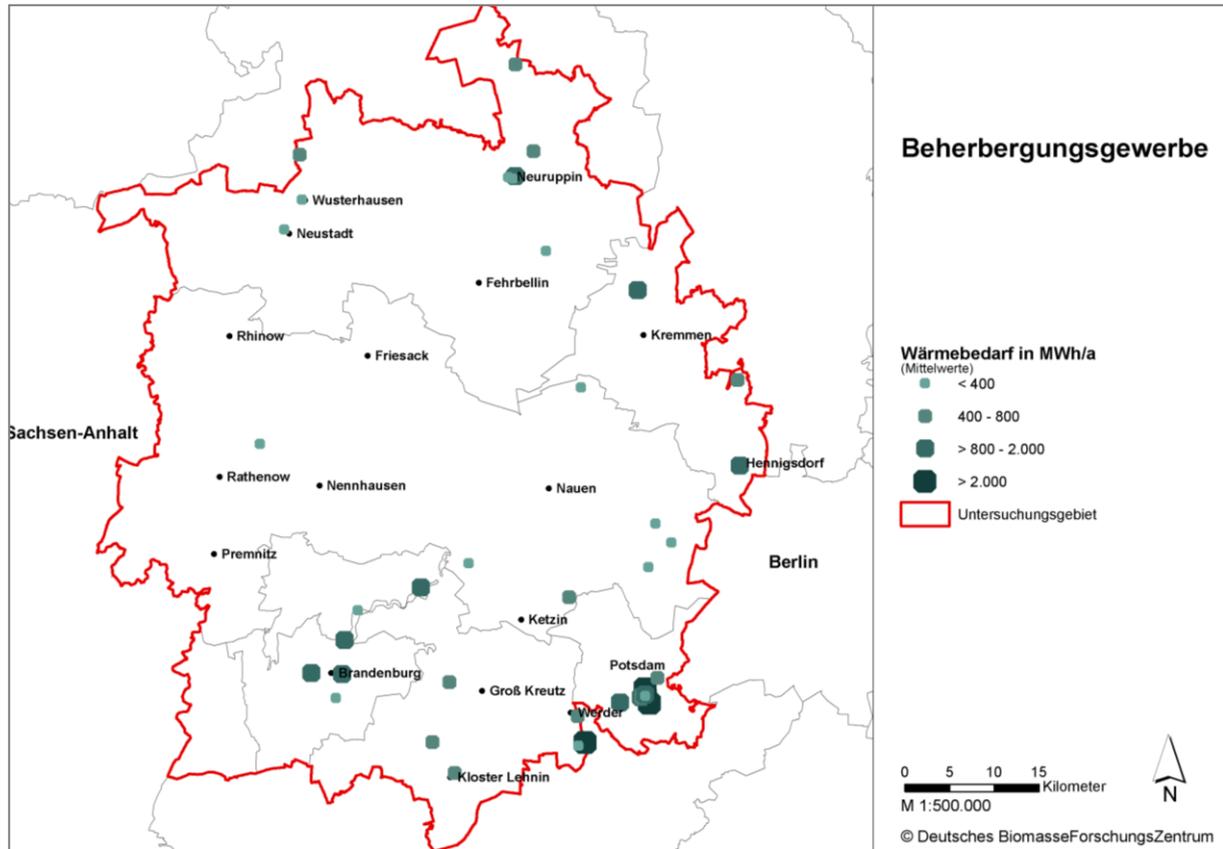
Kartographische Darstellung des mittleren berechneten Wärmebedarfs von Bildungseinrichtungen im Untersuchungsgebiet (Abbildung: DBFZ)



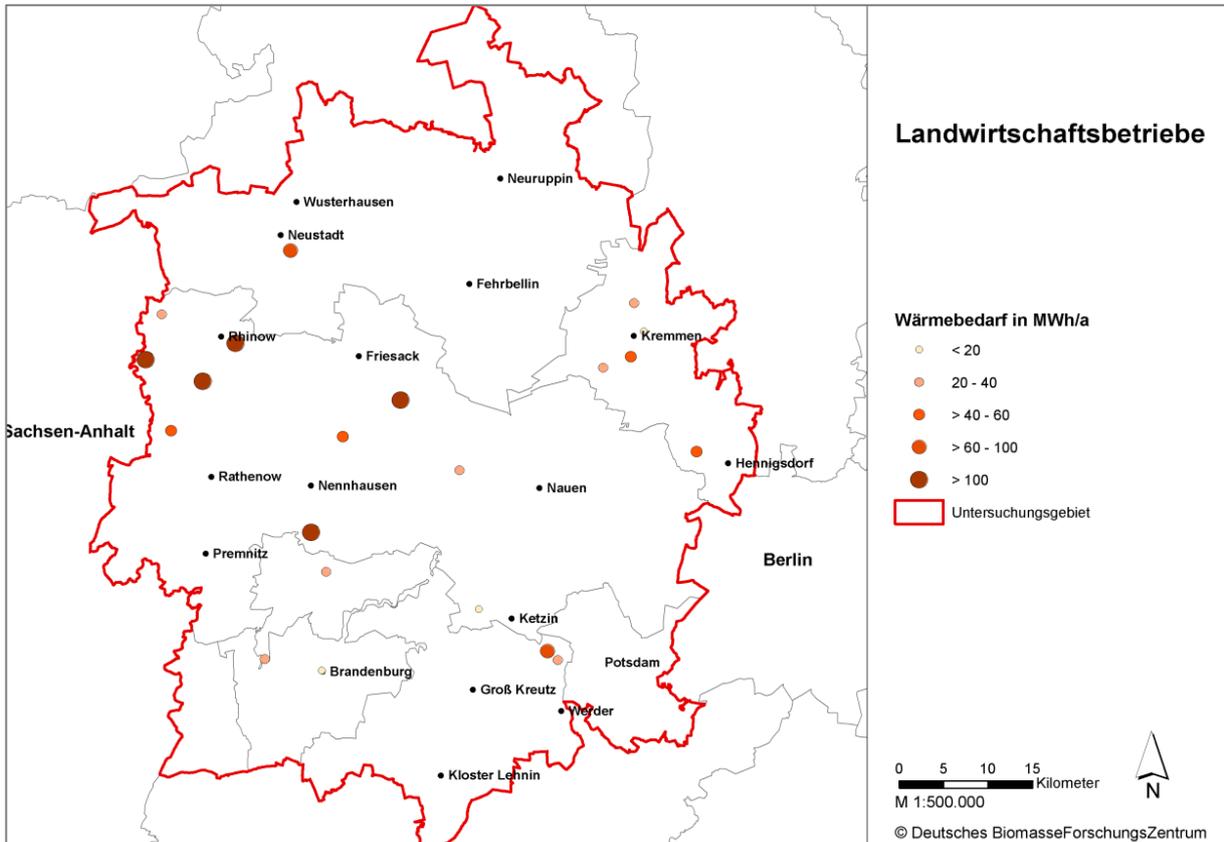
Kartographische Darstellung des mittleren berechneten Wärmebedarf von Krankenhäuser/Vorsorgeeinrichtungen im Untersuchungsgebiet (Abbildung: DBFZ)



Kartographische Darstellung des mittleren berechneten Wärmebedarf von beheizten Schwimmbädern in der Untersuchungsregion (Abbildung: DBFZ)



Kartographische Darstellung des mittleren berechneten Wärmebedarfs von Beherbergungsbetrieben in der Untersuchungsregion (Abbildung: DBFZ)



Kartographische Darstellung des Wärmebedarfs von Landwirtschaftsbetrieben (Abbildung: DBFZ)

A 7 Datenblätter zu ausgewählten Häckselgutfeuerungen

Datenblatt Versuchsanlage der Universität Rostock

Leistungsdaten [142]

Technologie	Vergasung von Ganzballen mit anschließender Verbrennung des Produktgases
Betriebsweise	diskontinuierlich
Therm. Leistung	100 kW _{FWL}
Wirkungsgrad	$\eta_{\text{Kessel}} = 0,80 - 0,88$
Hersteller	Konstruktion, Aufbau und Anpassung im Rahmen eines FNR-Projektes durch Zusammenarbeit der Universität Rostock mit der Fa. Nolting Feuerungstechnik GmbH
Strohzuführung	Manuelles Einbringen des Strohballens in den Verbrennungsraum
Luftführung	Primärluft zur Vergasung des Strohballens ($\lambda \approx 0,8$); Sekundärluft zur Verbrennung des Produktgases ($\lambda = 1,2$ bis $1,4$)
Temperaturbereiche	Vergasung: $T = 800^{\circ}\text{C} - 850^{\circ}\text{C}$ Verbrennung: $T \approx 1200^{\circ}\text{C}$
Besonderheiten	Betrieb der Anlage mit Unterdruck ($\Delta p = 20 \text{ Pa}$) durch Saugzuggebläse im Abgasweg, um den Austritt von toxischen Gasen zu verhindern
Abgasreinigung	k. A.
Abgastemperatur	bis 190°C
Anfahrphase	20 min
Wärmeauskopplung	Beginnt in der Brennkammer und findet hauptsächlich im separaten Rauchgas-WÜ statt
Rauchgasrezirkulation	vorhanden

Datenblatt Vergaserheizkessel der Firma Herlt

Leistungsdaten [144], [145], [143]

Technologie	Vergasung von Ganzballen mit anschließender Verbrennung des Produktgases
Betriebsweise	diskontinuierlich
Therm. Leistung	145 kW _{FWL}
Wirkungsgrad	$\eta_{\text{Kessel}} = 0,91$
Hersteller	Herlt SonnenEnergiesysteme - Bezeichnung: HSV 145
Strohzuführung	Manuelles Einbringen des Strohballens in den Verbrennungsraum
Luftführung	Primärluft zur Vergasung des Strohballens; Sekundärluft zur Verbrennung des Produktgases
Temperaturbereiche	Vergasung: $T \approx 600^{\circ}\text{C}$ Verbrennung: $T = 900^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C}$
Besonderheiten	Betrieb der Anlage mit Unterdruck durch Saugzuggebläse im Abgasweg, um den Austritt von toxischen Gasen zu verhindern
Abgasreinigung	Zyklon
Abgastemperatur	ca. $140^{\circ}\text{C} - 160^{\circ}\text{C}$
Anfahrphase	30 - 40 min
Wärmeauskopplung	WÜ ist als keramisch ausgekleideter Zyklonstaubabscheider mit nachgeschalteten Stahlrohrwärmeübertrager ausgeführt
Rauchgasrezirkulation	nicht vorhanden

Datenblatt Strohheizwerk Schkölen

Leistungsdaten [146],[134]

Technologie	Verbrennung von Ganzballen ("Zigarrenbrenner")
Betriebsweise	kontinuierlich
Therm. Leistung	3.150 kW _{FWL}
Wirkungsgrad	$\eta_{\text{Kessel}} = 0,88 - 0,89$
Hersteller	Vølund-Danstoker - Bezeichnung: 345 SE
Strohzuführung	Automatisches, lastabhängiges Zuführen der Strohballen aus dem Lager in den Feuerraum
Luftführung	Primärluft; Sekundärluft (Teil als Rostluft zur Unterlüftung des Brennstoffes)
Temperaturbereiche	k. A.
Besonderheiten	Anlage ist mittlerweile abgestellt worden; Versorgung mit Stroh konnte nicht mehr wirtschaftlich dargestellt werden
Abgasreinigung	Zyklon; Gewebefilter
Abgastemperatur	ca. 100 °C - 120 °C
Anfahrphase	k. A.
Wärmeauskopplung	WÜ über 5 senkrechte Rohrsektionen im Konvektionsteil des Feuerungsraumes
Rauchgasrezirkulation	vorhanden

Datenblatt Bioheizwerk Jena

Leistungsdaten [148]

Technologie	Rostfeuerung von zerkleinerten Strohballen mit Vorvergasung
Betriebsweise	quasi Kontinuierlich
Therm. Leistung	1.700 kW _{FWL}
Wirkungsgrad	k. A.
Hersteller	LIN-KA Maskinfabrik A/S
Strohzuführung	Schneiden der Strohballen in ca. 30 cm hohe Scheiben; automatisches, lastabhängiges Einschubsystem (frei wählbares Puls-Pause-Regime)
Luftführung	Primärluft, Sekundärluft
Temperaturbereiche	k. A.
Besonderheiten	Neben Stroh kommen als Brennstoffe Getreideganzpflanzen und Landschaftspflegeheu zum Einsatz
Abgasreinigung	Zyklon, Tuchfilter
Abgastemperatur	k. A.
Anfahrphase	k. A.
Wärmeauskopplung	WÜ im oberen Teil (Konvektionsteil) des horizontalen Dreizug-Kessels
Rauchgasrezirkulation	nicht vorhanden

Datenblatt Strohheizkessel der Firma Passat Energi A/S

Leistungsdaten [149]

Technologie	Verbrennung von Strohhäckseln (mit Ballenauflöser)
Betriebsweise	kontinuierlich
Therm. Leistung	663 kW _{FWL}
Wirkungsgrad	$\eta_{\text{Kessel}} = 0,84$
Hersteller	Passat Energi A/S - Bezeichnung: HO 510
Strohzuführung	Auflösen der Strohballen, pneumatisches Verbringen der Strohhäcksel zum Zyklon, Eintrag des Strohs mittels Stokerschnecke
Luftführung	Verbrennungsretorte; Luftzuführung über die gesamte Brennkammerlänge
Temperaturbereiche	k. A.
Besonderheiten	Einsatz von Gerstenstroh zur Reduzierung der Verschlackung; Multifuel-Kessel wurde für Verbrennung von Stroh, Holzhackschnitzel, Späne, etc. entwickelt
Abgasreinigung	Zyklon, Gewebefilter
Abgastemperatur	ca. 160 °C - 180 °C
Anfahrphase	k.A.
Wärmeauskopplung	WÜ im oberen Teil (Konvektionsteil) des horizontalen Dreizugkessels
Rauchgasrezirkulation	nicht vorhanden

Datenblatt Strohheizwerk Dobersberg

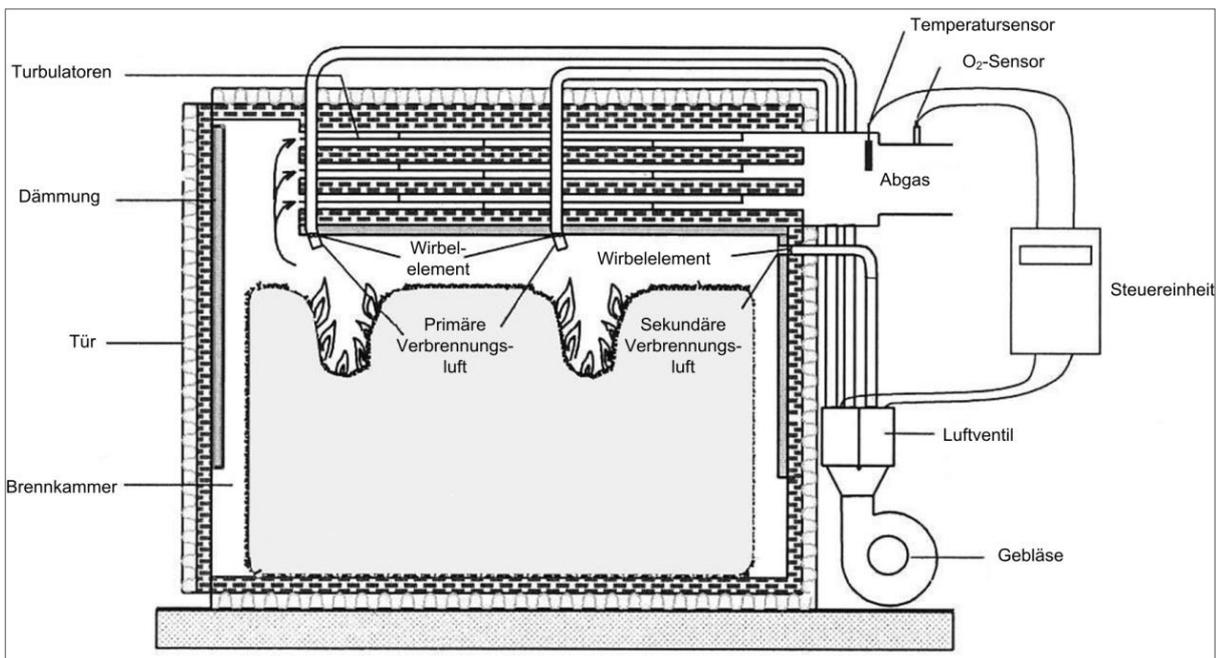
Leistungsdaten [126]

Technologie	Rostfeuerung von zerkleinerten Strohballen
Betriebsweise	kontinuierlich
Therm. Leistung	2.500 kW _{FWL}
Wirkungsgrad	$\eta_{\text{Kessel}} = 0,89$
Hersteller	Kohlbach Gruppe
Strohzuführung	Automatisches Beschicken über senkrechte Zuführung; anschließender Doppelschereinschub
Luftführung	Primärluft (unterhalb Rost); Sekundärluft (über Glutbereich); Tertiärluft (hinterer Verbrennungsbereich)
Temperaturbereiche	$T > 1000\text{ °C}$
Besonderheiten	Doppelschereinschub soll das Rückschlagen der Flamme in die Brennstoffzuführung verhindern; Drei-Zonen-Vorschubrost (Entgasung, Aschenachverbrennung, Gasnachverbrennung)
Abgasreinigung	Elektrofilter
Abgastemperatur	98 °C - 135 °C
Anfahrphase	k. A.
Wärmeauskopplung	externer WÜ (dreizügig)
Rauchgasrezirkulation	vorhanden (wird bei Feuerraumtemperaturen $> 1000\text{ °C}$ zugeschaltet)

Kontinuierliche Anlagen	Brennstoffart	Nennleistung (kW)	Rauchgas-temperatur (°C)		O ₂ (Vol.-%)	Staub (Reingas)	CO	Gesamt-C	NO _x	SO _x	HCl		
												(mg/m ³ (i. N., 11 Vol-% O ₂))	
Passat Energi [149]	Gerste	663	233	ca. 12		8	169	34	198	-	-		
						10	183	30	217	-	-		
						6	187	36	206	-	-		
Bioheizwerk Jena [148]	Triticale GP	1700	k. A.			7,4	-	79	9	204	-	-	
	WW grau					9,8	-	71	7	430	-	-	
	WW grau					9,4	-	241	35	294	-	-	
	Heu					10,9	-	507	81	431	-	-	
	Triticale GP					11,0	11	77	11	185	115	2	
WW	11,0	8	133	13	351	242	22						
Strohheizwerk Dobersberg [126]	WW-Stroh	2500				135	21	118	3	205	69	33	
						98	13,5	30	115	8	273	85	-
	Triticale GP					97	16,3	32	48	3	248	208	45
						99		24	103	3	258	217	33
Strohheizwerk Schkölen [146]	WW grau	3150	90 - 120	7,5		3	112	12	240	67	17		
	WW gelb					2	350	28	179	84	25		
	Gras					1	196	20	230	90	44		
	Triticale					2	160	12	227	108	22		
	Haferstroh					1	844	76	179	85	9		
	Roggenstroh					1	113	18	201	65	29		
	Gerstestroh					0	230	14	210	73	30		

Diskontinuierliche Strohkessel (68 – 461 kW, Dänemark)

Aufgrund der im Vergleich zu anderen europäischen Staaten starken Nutzung von Stroh in Verbrennungsanlagen in Dänemark soll im Folgenden die Gruppe der diskontinuierlichen Strohkessel kurz dargestellt werden. Diese Gruppe ist als Ergänzung zu den betrachteten Anlagen zu sehen, da es sich hierbei um eine in Dänemark weit verbreitete Technik handelt, die jedoch in Deutschland aufgrund der geltenden Grenzwerte nicht ohne Weiteres einsetzbar ist. Nahezu alle in Dänemark diskontinuierlich betriebenen Strohkessel basieren auf dem in Abbildung A-1 dargestellten Prinzip. Über ein Gebläse mit Steuereinheit wird die Verbrennungsluft gestuft von der Oberseite als Primärluft und von der Rückseite als Sekundärluft in die Brennkammer eingebracht. Die Regulierung der Zufuhr sowie die Aufteilung erfolgen anhand der Messung von Temperatur und Sauerstoffgehalt im Abgas [195], [125]. Um einen optimalen Ausbrand zu gewährleisten, ist eine ausreichende Verweilzeit der Verbrennungsgase bei genügend hohen Temperaturen und einer starken Verwirbelung mit der Verbrennungsluft notwendig. Letztere wird durch den Einsatz von Drallkörpern in den Düsen erreicht. Ein Großteil der Verbrennungsluft wird über die Primärluftdüsen in die Brennkammer eingebracht, wobei der Strohabbrand unter diesen Düsen erfolgt. Die entstehenden hohen Temperaturen ermöglichen in Kombination mit der verdrallten Luft eine optimale Verbrennung. Durch den Temperaturanstieg setzt zusätzlich eine Vergasung des Strohs an weiteren Stellen im Kessel ein, womit der Sauerstoffbedarf steigt und die Zugabe von Sekundärluft erhöht wird [195].



Diskontinuierlicher Strohkessel aus Dänemark (Abbildung: [195])

Die Wärmeauskopplung erfolgt, wie obiger Abbildung zu entnehmen ist, über einen liegenden Wärmeübertrager auf der Oberseite des Kessels. Dessen Rauchrohre sind für einen optimalen Wärmeübergang mit Turbulatoren ausgestattet. Weiterhin wird die Leistungsabnahme mit Hilfe eines Pufferspeichers realisiert, da der Kessel während der Verbrennungsperiode ohne Unterbrechung bei Höchstlast betrieben wird, um eine stabile Verbrennungsgeschwindigkeit aufrechtzuerhalten [195], [125].

A 9 Übersicht zu Pelletkesselanlagen

- Biokompakt AWK
- ETA Hack
- Fröhling Turbomatic TM
- Guntamatic Powercorn
- Hargassner Agrofire
- Heizomat RHK AK
- Ökotherm, Compact
- Reka HKRST FSK

Biokompakt		
Hersteller	<p>Gerlinger Bioheiztechnik</p> <p>Froschau 79</p> <p>4391 Waldhausen - Austria</p> <p>www.biokompakt.com</p>	
Modell	AWK	
Leistungsbereich	25-130 kW _N	

Ausführung Anlagentechnik

Feuerungsprinzip	<ul style="list-style-type: none"> • Muldenfeuerung (Retorte)
Brennstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Getreide, Mais • Raps- und Strohpellets • Pressrückstände und Obstkerne aller Art • Hackschnitzel (bis 60mm, Wassergehalt max. 40%)
Brennstoffzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mittels Stokerschnecke
Verbrennungsluftzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • 2 drehzahlgeregelte Verbrennungsluftgebläse
Zündung	<ul style="list-style-type: none"> • Heißluftgebläse
Brennkammer	<ul style="list-style-type: none"> • schamottierte Wirbelbrennkammer
Wärmeübertrager - Bauart - Aufstellung - Reinigung - Werkstoff	<ul style="list-style-type: none"> • RohrbündelWärmeübertrager • stehende Aufstellung • automatisch mittels Reinigungsspiralen • k. A.
Entaschung	<ul style="list-style-type: none"> • Automatisch mittels Ascheschnecke • Austragung in Sammelbehälter (bis 50 l)

Ausführung Regelungstechnik

Verbrennungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Lambda und Abgastemperatur
Verbrennungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Luftgebläse
Leistungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Kesseltemperatur
Leistungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Brennstoff- und Luftmassenstrom
Feuerraumtemperaturerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • ja
Glutbetthöhenerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • nein
Unterdruckregelung/Saugzug	<ul style="list-style-type: none"> • Unterdruckregelung / Saugzug (optional)
Sonstige Regel- und Steuereinrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Heizkreis-, Pufferspeicher-, Kaskadenmanagement

Maßnahmen zur Verbrennungsoptimierung

Stickoxidemissionen (NO _x)	<ul style="list-style-type: none"> • Luftregelung in 3 Ebenen • Bio Blue Stickoxidreduzierung
Gesamtstaubemissionen	<ul style="list-style-type: none"> • Ascheabsetzkammer vor Wärmeübertrager
Korrosion	<ul style="list-style-type: none"> • automatische Abreinigung Wärmeübertrager mittels Reinigungsspiralen
Verschlackungen im Feuerraum	<ul style="list-style-type: none"> • luftgekühlte Verbrennungsretorte • Einrichtung zur Kalkzugabe in den Feuerraum

Emissionsmessungen bei Volllast

Lfd. Nr.	Quelle		Brennstoff:						Feuerungsanlage	
1	[196]		Wintergerstenkorn mit 2 % CaO						AWK 45 SI	
2	[197]		Gerstenkorn mit 2% Kalkzugabe						AWK 45	
Emissionen (11 Vol. - % O ₂)										
Lfd. Nr.	η_{Kessel}	O ₂	CO	C _x H _y	Particles _{total}	NO _x	SO ₂	HCl	PAK	PCDD/F
	%	Vol. - %	mg/m ³ _N						µg/m ³ _N	pg TE/m ³ _N
1	-	11	35	-	115	821	-	-	-	-
2	-	-	-	-	160	-	-	-	-	-

Erfahrungen bei der Verbrennung biogener Festbrennstoffe

- Feuerungsanlage ist ein Hackgut Serienkessel, der vom Hersteller auf den Betrieb mit Getreide angepasst wurde [197]

Gesamtstaubemissionen

- Reduzierung der Gesamtstaubemissionen mit Metallvliesfilter von 160 auf 99 mg/Nm³ (bezogen auf 13 Vol. -% O₂) [197]
- vor Messung der Staubemissionen wurde der Kessel gereinigt [197]

ETA		
Hersteller	ETA Heiztechnik GmbH Gewerbepark 1 4716 Hofkirchen - Austria www.eta.co.at	
Modell	Hack	
Leistungsbereich	20-200 kW _N	

Ausführung Anlagentechnik

Feuerungsprinzip	<ul style="list-style-type: none"> • Kipprostfeuerung
Brennstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Hackgut (bis G50, WG40%,) • Holzpellets, Späne • Miscanthus (Häcksel, Pellet max. 20%WG)
Brennstoffzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mit Schnecke über Einkammerzellradschleuse
Verbrennungsluftzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • regelbare Luftklappe jeweils für Primär- und Sekundärluft
Zündung	<ul style="list-style-type: none"> • Automatisch mittels Heißluftgebläse
Brennkammer	<ul style="list-style-type: none"> • Schamottierte Brennkammer mit Verwirbelungsring
Wärmeübertrager - Bauart - Aufstellung - Reinigung - Werkstoff	<ul style="list-style-type: none"> • Rohrbündelwärmeübertrager • stehend • automatisch mittels Wirbulatoren • k. A.
Entaschung	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mittels Ascheschnecke • Aschebehälter 35 bis 110 l

Ausführung Regelungstechnik

Verbrennungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Lambda
Verbrennungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • k. A.
Leistungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • k. A.
Leistungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • k. A.
Feuerraumtemperaturerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • nein
Glutbetthöhenerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • Nein
Unterdruckregelung/Saugzug	<ul style="list-style-type: none"> • Unterdruckregelung / drehzahlgeregeltes Saugzuggebläse
Sonstige Regel- und Steuereinrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Datenerfassung via PC • Puffer- und Heizkreismanagement

Maßnahmen zur Verbrennungsoptimierung

Stickoxidemissionen (NO _x)	<ul style="list-style-type: none"> • gestufte Luftzuführung
Gesamtstaubemissionen	<ul style="list-style-type: none"> • Flugascheabsetzkammer
Korrosion	<ul style="list-style-type: none"> • Mindestrücklauftemperatur 60 °C • Automatische Reinigung Wärmeübertrager
Verschlackungen im Feuerraum	<ul style="list-style-type: none"> • Kipprost

Emissionsmessungen bei Volllast

- Keine Angaben

Erfahrungen bei der Verbrennung biogener Festbrennstoffe

- Keine Angaben

Fröling		
Hersteller	Fröling Heizkessel- und Behälterbau Ges.m.b.H. Industriestraße 12 4710 Grieskirchen - Austria www.froeling.com	
Modell	Turbomatic TM	
Leistungsbereich	28-110 kW _N	

Ausführung Anlagentechnik

Feuerungsprinzip	<ul style="list-style-type: none"> • Kombination aus Kipp- und Rüttelrostfeuerung
Brennstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Hackgut bis WG 30%, G50 • Holzpellets, Späne • Miscanthus
Brennstoffzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mittels Stokerschnecke über Zelleradschleuse oder Rückbrandklappe
Verbrennungsluftzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • 1 drehzahlgeregeltes Gebläse • 2 regelbare Klappen
Zündung	<ul style="list-style-type: none"> • Automatisch
Brennkammer	<ul style="list-style-type: none"> • Schamottierte Brennkammer mit Verwirbelungsring • großer Ausbrandraum (für Stückholznotbetrieb)
Wärmeübertrager - Bauart - Aufstellung - Reinigung - Werkstoff	<ul style="list-style-type: none"> • Rohrbündelwärmeübertrager • stehend • automatisch mittels Turbulatoren • k. A.
Entaschung	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mittels Ascheschnecke • Flugascheabsetzkammer • getrennte Entaschung Feuerraum und Wärmeübertrager

Ausführung Regelungstechnik

Verbrennungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Lambda
Verbrennungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Sekundärluft
Leistungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Kesseltemperatur
Leistungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Brennstoffmenge und Primärluft
Feuerraumtemperaturerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • nein
Glutbetthöhenerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • nein
Unterdruckregelung/Saugzug	<ul style="list-style-type: none"> • Unterdrucküberwachung / drehzahlgeregeltes Saugzuggebläse
Sonstige Regel- und Steuereinrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Puffer- und Heizkreismanagement

Maßnahmen zur Verbrennungsoptimierung

Stickoxidemissionen (NO _x)	<ul style="list-style-type: none"> • gestufte Luftzuführung • Abgasrückführung (TM 110), optional
Gesamtstaubemissionen	<ul style="list-style-type: none"> • Flugascheabsetzkammer
Korrosion	<ul style="list-style-type: none"> • Mindestrücklauftemperatur 55 °C • Automatische Reinigung Wärmeübertrager
Verschlackungen im Feuerraum	<ul style="list-style-type: none"> • Kipp- und Rüttelrost

Emissionsmessungen bei Volllast

- Keine Angaben

Erfahrungen bei der Verbrennung biogener Festbrennstoffe

- Keine Angaben

Guntamatic		
Hersteller	<p>GUNTAMATIC Heiztechnik GmbH, Bruck 7</p> <p>4722 Peuerbach / Austria</p> <p>www.guntamatic.com</p>	
Modell	Powercorn	
Leistungsbereich	<p>25 bis 70 kW_N (für Energiekörner)</p> <p>30 bis 75 kW_N (für Holzpellets)</p>	

Ausführung Anlagentechnik

Feuerungsprinzip	<ul style="list-style-type: none"> • Rostfeuerung (bewegter Treppenrost)
Brennstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Energiekorn (zum Beispiel Gerste oder Triticale) max. 13% Feuchte • Holzpellets nach ÖNORM M7135
Brennstoffzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mittels Stokerschnecke
Verbrennungsluftzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Gebläse • 2 gekoppelte Klappen (manuell einstellbar)
Zündung	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mit Zündgebläse
Brennkammer	<ul style="list-style-type: none"> • Doppelmantel-Reaktionsrohr aus Edelstahl, • vertikale Aufstellung
Wärmeübertrager	<ul style="list-style-type: none"> • Rohrbündelwärmeübertrager • vertikale Aufstellung • automatisch mittels Wirbulatoren • Aschebehälter (12l) • Edelstahl
- Bauart	
- Aufstellung	
- Reinigung	
- Werkstoff	
Entaschung	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mit Förderschnecke in 60 oder 80 l Aschebehälter

Ausführung Regelungstechnik

Verbrennungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Abgastemperatur, Lambda
Verbrennungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Sekundärluftmenge
Leistungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Kesselwasser- und Abgastemperatur
Leistungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Brennstoff- und Primärluftmenge
Feuerraumtemperaturerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • nein
Glutbetthöhenerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • ja
Unterdruckregelung/Saugzug	<ul style="list-style-type: none"> • nein / Saugzug für Verbrennungsluft
Sonstige Regel- und Steuereinrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Pufferspeicher- und Heizkreisregelung • Kesselkaskade

Maßnahmen zur Verbrennungsoptimierung

Stickoxidemissionen (NO _x)	<ul style="list-style-type: none"> • Luftstufung
Gesamtstaubemissionen	<ul style="list-style-type: none"> • Wirbulatoren
Korrosion	<ul style="list-style-type: none"> • doppelwandiges Edelstahlrohr • Wirbulatoren • Mindestrücklauftemperatur 55 °C
Verschlackungen im Feuerraum	<ul style="list-style-type: none"> • Zugabe 0,3% Additive möglich • Luftgekühlter, beweglicher Treppenrost

Emissionsmessungen bei Volllast

Lfd. Nr.	Quelle	Brennstoff:	Feuerungsanlage
1	[137]	Weizenstrohpellets	Powercorn 30
2	[139]	Weizenstrohpellets	Powercorn 30
3	[139]	Weizenstrohpellets + 5% Kalk	Powercorn 30
4	[137]	Roggenstrohpellets	Powercorn 30
5	[139]	Roggenstrohpellets (belastet)	Powercorn 30
6	[139]	Miscanthuspellets	Powercorn 30

Emissionen (bez. 13 Vol. - % O₂)

Lfd Nr.	η_{Kessel}	O ₂	CO	C _x H _y	Particulates _{total}	NO _x	SO ₂	HCl	PAK	PCDD/F
	%	Vol. - %	mg/m ³ _N						µg/m ³ _N	pg TE/m ³ _N
1	-	-	389	11	129	259	113	24	-	-
2	76,5	-	1518	4,7	480	320	91	30,2	-	-
3	82,5	-	1198	3,4	488	251	81	69,0	-	-
4	-	-	174	-	267	365	287	106	-	-
5	72,3	-	151	3,0	64	151	164	47,5	-	-
6	77,5	-	598	2,8	249	284	101	38,7	-	-

Erfahrungen bei der Verbrennung

- Untersuchungen in [137] wurden bei nicht optimierten Einstellungen vorgenommen
- Feuerungsanlage ist für den Einsatz von Getreidekörnern (Gerste, Triticale) und Holzpellets ausgelegt und zugelassen. Nicht holzartige Brennstoffe sind ergänzend in Versuchsreihen getestet worden

Gesamtstaubemissionen

- Getreidekörner halten Grenzwert 1. BImSchV im Durchschnitt ein
- Staubemissionen von der Art und der Zusammensetzung der Asche abhängig
- Zugabe von Zuschlagstoff 0,3 % CaCO₃ mindert Staubemissionen um 15 %

Stickoxidemissionen

- logarithmischer Zusammenhang zwischen Brennstoffstickstoffgehalt und Stickoxidemissionen [1]
- NO_x-Emissionen weiterhin abhängig von λ im Feuerraum

Korrosion

- hohe Chloremissionen korrelieren mit Chlorgehalt im Brennstoff

Verschlackungen

- hohe Verschlackungsneigung von Weizenstrohpellets
- derzeit keine Technik zur gleichmäßigen Dosierung von Zuschlagstoffen in den Feuerraum am Markt verfügbar
- Glührückstände zwischen 41 – 99 % (abhängig vom eingesetzten Brennstoff)

Hargassner		
Hersteller	Hargassner Ges.m.b.H Anton Hargassnerstraße 1 4952 Weng im Innkreis - Austria www.hargassner.at	
Modell	Agrofire	
Leistungsbereich	25-40 kW _N (abhängig vom Brennstoff)	

Ausführung Anlagentechnik

Feuerungsprinzip	<ul style="list-style-type: none"> • Rostfeuerung mit Doppelschieberost
Brennstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Energiekorn, Energiepflanzen • Hackgut • Holz-, Miscanthus- und Strohpellets,
Brennstoffzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mittels Stokerschnecke
Verbrennungsluftzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • k. A.
Zündung	<ul style="list-style-type: none"> • k. A.
Brennkammer	<ul style="list-style-type: none"> • schamottierte Brennkammer • ersten zwei Züge aus Edelstahl
Wärmeübertrager - Bauart - Aufstellung - Reinigung - Werkstoff	<ul style="list-style-type: none"> • RohrbündelWärmeübertrager • stehende Aufstellung • automatisch mittels Reinigungsspiralen • k. A.
Entaschung	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mit Ascheschnecke • pneumatische Förderung in Sammelbehälter • Aschezermahlsystem

Ausführung Regelungstechnik

Verbrennungsregelung - Regelgrößen	• k. A.
Verbrennungsregelung - Stellgrößen	• k. A.
Leistungsregelung - Regelgrößen	• k. A.
Leistungsregelung - Stellgrößen	• k. A.
Feuerraumtemperaturerfassung	• nein
Glutbetthöhenerfassung	• nein
Unterdruckregelung/Saugzug	• k. A.
Sonstige Regel- und Steuereinrichtungen	• k. A.

Maßnahmen zur Verbrennungsoptimierung

Stickoxidemissionen (NO _x)	• Luftstufung
Gesamtstaubemissionen	• integrierte Grobstaubabscheidung durch Umlenkung vor Wärmeübertrager • Wirbulatoren
Korrosion	• schammotierte Brennkammer • ersten 2 Züge aus Edelstahl • Wirbulatoren
Verschlackungen im Feuerraum	• Luftgekühlter, beweglicher Doppelschieberost

Emissionsmessungen bei Volllast

Lfd. Nr.	Quelle		Brennstoff:						Feuerungsanlage	
1	[198]		Holzpellets						Agrofire 30-40	
<i>Emissionen (13 Vol. - % O₂)</i>										
Lfd. Nr.	η _{Kessel}	O ₂	CO	C _x H _y	Particulates _{total}	NO _x	SO ₂	HCl	PAK	PCDD/F
	%	Vol. - %	mg/m ³ _N						µg/m ³ _N	pg TE/m ³ _N
1	93,5	-	68	-	22	-	-	-	-	-

Erfahrungen bei der Verbrennung biogener Festbrennstoffe

- keine Angaben verfügbar, da Feuerungsanlage erst seit Ende 2008 auf dem Markt angeboten wird

Heizomat		
Hersteller	Heizomat GmbH Maicha 21 D-91710 Gunzenhausen www.heizomat.de	
Modell	RHK AK	
Leistungsbereich	36-850 kW _N	

Ausführung Anlagentechnik

Feuerungsprinzip	<ul style="list-style-type: none"> • Rostfeuerung (luftgekühlter Kettenumlaufrost)
Brennstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Holzhackschnitzel
Brennstoffzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mittels Stokerschnecke über Zellradschleuse
Verbrennungsluftzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • 2 drehzahlgeregelte Verbrennungsluftgebläse • 2 manuell einstellbare Verbrennungsluftklappen
Zündung	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mit Glühbolzen
Brennkammer	<ul style="list-style-type: none"> • Zyklonbrennkammer mit gegenläufiger Turbinenluftzuführung • hochfeuerfeste Feuerbeton-Formteile • horizontale Aufstellung
Wärmeübertrager	<ul style="list-style-type: none"> • Rohrbündelwärmeübertrager
- Bauart	<ul style="list-style-type: none"> • liegende Aufstellung
- Aufstellung	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mittels Wirbulatoren
- Reinigung	<ul style="list-style-type: none"> • St 37.2 (starkwandig ausgeführt)
- Werkstoff	
Entaschung	<ul style="list-style-type: none"> • Mit hitzebeständigem Kettenförderer • 45, 270, oder 900 l Aschebehälter

Ausführung Regelungstechnik

Verbrennungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> Abgastemperatur, Lambda
Verbrennungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> Sekundärluftmenge
Leistungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> Kesselwasser- und Abgastemperatur
Leistungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> Brennstoff- und Primärluftmenge
Feuerraumtemperaturerfassung	<ul style="list-style-type: none"> nein
Glutbetthöhenerfassung	<ul style="list-style-type: none"> nein
Unterdruckregelung/Saugzug	<ul style="list-style-type: none"> Unterdruckwächter (bei 0 Pa) / k.A.
Sonstige Regel- und Steuereinrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> k.A.

Maßnahmen zur Verbrennungsoptimierung

Stickoxidemissionen (NO _x)	<ul style="list-style-type: none"> Luftstufung
Gesamtstaubemissionen	<ul style="list-style-type: none"> Wirbulatoren
Korrosion	<ul style="list-style-type: none"> starkwandige Ausführung Wärmeübertrager mit St 37.2 Wirbulatoren Mindestrücklauftemperatur 55 °C
Verschlackungen im Feuerraum	<ul style="list-style-type: none"> Entaschung mittels hitzebeständigen Kettenförderer luftgekühlter Schrägrost

Emissionsmessungen bei Volllast

Lfd. Nr.	Quelle	Brennstoff:	Feuerungsanlage
1	[137]	Holzhackschnitzel	RHK AK 50
2	[199]	Holzhackschnitzel	RHK AK 50
3	[200]	Gersteganzpflanzenpellets	RHK AK 50
4	[137]	Weizenkörner	RHK AK 50
5	[137]	Weizenkörner mit 2 % Kalk (CaO)	RHK AK 50
6	[137]	Weizenkleie	RHK AK 50
7	[137]	Gerstenkörner	RHK AK 50
8	[200]	Triticalekörner	RHK AK 50
9	[199]	70% Holzhackschnitzel / 30% Getreide ¹⁾	RHK AK 50
10	[200]	35% Holzhackschnitzel / 65% Getreide ¹⁾	RHK AK 50
11	[200]	Rapspresskuchen	RHK AK 50

Emissionen (13 Vol. - % O₂)

Lfd. Nr.	η_{Kessel}	O ₂	CO	C _x H _y	Particulates _{total}	NO _x	SO ₂	HCl	PAH	PCDD/F
	%	Vol. - %	mg/m ³ _N						µg/m ³ _N	pg TE/m ³ _N
1	-	-	214	1	61	171	-	-	-	-
2	-	-	114	< 2,1	34	76	25	0,9	0,05	0,02
3	84,2	-	24	-	642	567	-	-	-	-
4	-	-	40	10	138	507	-	-	-	-
5	-	-	188	12	34	577	-	-	-	-
6	-	-	211	-	153	563	-	-	-	-
7	-	-	101	68	400	492	-	-	-	-
8	83,2	-	12	-	230	541	-	-	-	-
9	-	-	60	-	56	164	54	2,4	0,02	0,02
10	-	-	32	-	74	219	90	5,0	0,03	0,02
11	83,0	-	20	-	136	645	-	-	-	-

1) Getreide Mischung aus 85% Roggen und 15% Triticale

Erfahrungen bei der Verbrennung biogener Festbrennstoffe

- Feuerungsanlage ist für den Einsatz von Holzhackschnitzeln ausgelegt und zugelassen. Nicht holzartige Brennstoffe sind ergänzend in Versuchsreihen getestet worden

Gesamtstaubemissionen

- Staubemissionen von der Art und der Zusammensetzung der Asche abhängig
- Halmgutartige Brennstoffe haben Feinstaubanteil von 70-90 %, während Holzhackschnitzel Feinstaubanteil von ca. 35 % aufweisen
- Einsatz sekundärer Staubabscheider empfohlen
- Brennstoffmischung mit Holzhackschnitzel: mit zunehmenden Anteil an Getreidekörnern steigen Staubemissionen an
- Zugabe von Zuschlagstoff 2 % CaCO_3 mindert Staubemissionen um 27 %

Stickoxidemissionen

- logarithmischer Zusammenhang zwischen Brennstoffstickstoffgehalt und Stickstoffoxidemissionen [137]
- NO_x -Emissionen weiterhin abhängig von λ im Feuerraum

Korrosion

- erhöhtes technisches Risiko beim Einsatz von nicht-holzartigen Brennstoffen
- Einsatz von Zuschlagstoffen zur Bindung von Alkalien empfohlen (zum Beispiel Kaolin)
- niedrige HCl-Emissionen bei ungedüngten Feldkulturen (Verzicht auf chlorhaltige Dünger)
- Brennstoffmischung mit Holzhackschnitzel: mit zunehmenden Anteil an Getreidekörnern steigen HCl-Emissionen an

Verschlackungen

- erhöhtes technisches Risiko beim Einsatz von nicht-holzartigen Brennstoffen
- erhöhte Glühverluste in Feuerraumaschen von Halmgut- und Kornbrennstoffen
- Einsatz von Zuschlagstoffen (zum Beispiel Dolomitkalk) empfohlen
- Einsatz von Brennstoffmischungen empfohlen
- derzeit keine Technik zur gleichmäßigen Dosierung von Zuschlagstoffen in den Feuerraum am Markt verfügbar
- Glührückstände zwischen 37 – 84 % (abhängig vom eingesetzten Brennstoff)

Ökothem		
Hersteller	A.P. Bioenergietechnik GmbH Träglnhof 2 D-92242 Hirschau www.oeko-therm.net	
Modell	Compact	
Leistungsbereich	49-800 kW _N	

Ausführung Anlagentechnik

Feuerungsprinzip	<ul style="list-style-type: none"> • Brennmulde mit Schubboden
Brennstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Stroh-, Heupellets, Raps, Rapskuchen, Pressrückstände, Getreidekörner, Miscanthus, Holzpellets, Holzhackschnitzel, Gärreste, Pferdemist
Brennstoffzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mittels Stokerschnecke
Verbrennungsluftzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • 2 drehzahlgeregelte Verbrennungsluftgebläse
Zündung	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mit Heißluftgebläse
Brennkammer	<ul style="list-style-type: none"> • schamottierter Feuerraum aus Druckbehälterstahl P265GH (HII) und Edelstahl • horizontale Aufstellung
Wärmeübertrager - Bauart - Aufstellung - Reinigung - Werkstoff	<ul style="list-style-type: none"> • Rohrbündelwärmeübertrager • liegende Aufstellung • manuell • k. A.
Entaschung	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mittels Ascheschieber in Aschebehälter

Ausführung Regelungstechnik

Verbrennungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Abgastemperatur, Lambda
Verbrennungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Luftmenge (linke Seitenwand)
Leistungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Kesselwassertemperatur
Leistungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Luftmenge (rechte Seitenwand), Brennstoffmenge
Feuerraumtemperaturerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • nein
Glutbetthöhenerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • nein
Unterdruckregelung/Saugzug	<ul style="list-style-type: none"> • Drucküberwachung / Saugzuggebläse
Sonstige Regel- und Steuereinrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Aschetemperaturfühler

Maßnahmen zur Verbrennungsoptimierung

Stickoxidemissionen (NO _x)	<ul style="list-style-type: none"> • Luftstufung
Gesamtstaubemissionen	<ul style="list-style-type: none"> • Plattenelektrofilter für Anlagen bis 150kW
Korrosion	<ul style="list-style-type: none"> • Edelstahlausführung und Schamottierung Feuerraum
Verschlackungen im Feuerraum	<ul style="list-style-type: none"> • wassergekühlte Brennmulde • Ascheschieber

Emissionsmessungen bei Volllast

Lfd. Nr.	Quelle	Brennstoff:	Feuerungsanlage
1	[199]	Holzpellets	Compact C0
2	[201]	Weizenstrohpellets	Compact C0
3	[91]	Weizenstrohpellets	Compact C0
4	[91]	Weizenstrohpellets + 3 % Melasse	Compact C0
5	[91]	Weizenstrohpellets + 2 % Kalkmehl	Compact C0
6	[91]	Weizenstrohpellets + 4 % Kalkmehl, 3 % Melasse	Compact C0
7	[91]	Weizenstrohpellets + 6 % Kalkmehl, 3 % Melasse	Compact C0
8	[201]	Triticale Ganzpflanzenpellets	Compact C0
9	[201]	Rapspresskuchenpellets	Compact C0
10	[201]	Landschaftspflegeheu-pellets	Compact C0
11	[199]	50 % Roggen / 50 % Holzpellets	Compact C0
12	[199]	100% Roggen	Compact C0
13	[202]	Rohrglanzgras (Briketts)	Compact C2

Emissionen lt. Quelle (13 Vol. - % O₂)

Lfd. Nr.	η_{Kessel}	O ₂	CO	C _x H _y	Particles _{total}	NO _x	SO ₂	HCl	PAK	PCDD/F
	%	Vol. - %	mg/m ³ _N						µg/m ³ _N	pg TE/m ³ _N
1	-	-	273	7	11	148	-	22	-	-
2		-	206	4,7	171	335	-	58	56	813
3	72,4	-	274,7	2,6	64,6	279,4	57,8	57,8	-	-
4	76,0	-	108,8	1,5	109,1	299,5	73,2	5,0	-	-
5	68,5	-	147,5	4,1	101,6	323,9	10,5	4,0	-	-
6	71,2	-	666,4	13,5	180,9	258,8	42,5	4,3	-	-
7	77,6	-	220,3	36,7	100,1	243,6	80,9	3,7	-	-
8		-	56	2	172	448		49	2	56
9		-	468	7,5	225	663		11	77	245
10		-	221	2	218	446		119	47	572
11	-	-	370	79	106	463	-	65	-	-
12	-	-	318	-	248	621	-	64	-	-
13	87	9,2	78	-	147 ¹⁾	117	-	-	-	-

1) bez. Auf 13 Vol. -% O₂ i. N.

Erfahrungen bei der Verbrennung biogener Festbrennstoffe

Gesamtstaubemissionen

- Grenzwert 1. BImSchV wird von Strohpellets (auch mit Zuschlagstoffen) im Durchschnitt eingehalten
- Reduzierung um 50 mg/Nm³ durch Entstaubung des Strohfasersstoffes
- Zumischung von 4 % Feinkalk ermöglicht gute Festigkeitseigenschaften [91]
- Emissionsspitzen durch Ascheschieber mit erhöhter Taktfrequenz [201][202]
- Einsatz von Multizyklon kann Gesamtstaubemissionen auf unter 100 mg/Nm³ reduzieren [202]

Stickoxidemissionen

- logarithmischer Zusammenhang zwischen Brennstoffstickstoffgehalt und Stickstoffoxidemissionen [201], wobei von [91] kein Zusammenhang gemessen wurde

Korrosion

- k. A.

Verschlackungen

- hohe Glühverluste in Feuerraumaschen von 27 – 53 % (Weizenstroh) [199]
- Glühverluste in Feuerraumaschen von 1,4 – 8,2 % (Rohrglanzgras) [202]
- erhöhte Einbindung von Chlor und Schwefel durch Einsatz von Kalk konnte nicht festgestellt werden [91]
- Zumischung bis 3 % Dolomitkalk führt zu Erhöhung von Sinter- und Erweichungstemperatur; Beimischung ab 4 % Dolomitkalk führt zu Erhöhung Schmelz- und Fließpunkt [91]
- hohe Verschlackungsneigung von Weizenstrohpellets und Rohrglanzgras
- Zusammenhang zwischen Si/K-Verhältnis, das heißt Brennstoffe mit niedrigem Verhältnis ca. < 6-9 zeigen Verschlackungen auf [202]

Reka		
Hersteller	Maskinfabrikken REKA A/S. Vestvej 7 9600 Aars - Denmark www.biokompakt.com	
Modell	HKRST FSK	
Leistungsbereich	20-60 kW _N	

Ausführung Anlagentechnik

Feuerungsprinzip	<ul style="list-style-type: none"> • Schub- beziehungsweise Treppenrost
Brennstoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Späne, Hackschnitzel, Getreide, Pellets,
Brennstoffzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • automatisch mittels Stokerschnecke
Verbrennungsluftzufuhr	<ul style="list-style-type: none"> • 1 modulierendes Gebläse • Manuell verstellbare Luftklappen für Primär- und Sekundärluft
Zündung	<ul style="list-style-type: none"> • manuell
Brennkammer	<ul style="list-style-type: none"> • schamottierter, wassergekühlter Feuerraum
Wärmeübertrager	
- Bauart	<ul style="list-style-type: none"> • Rohrbündelwärmeübertrager
- Aufstellung	<ul style="list-style-type: none"> • liegende Aufstellung
- Reinigung	<ul style="list-style-type: none"> • manuell
- Werkstoff	<ul style="list-style-type: none"> • k. A.
Entaschung	<ul style="list-style-type: none"> • halbautomatisch (Asche wird in Aschekasten geschoben) • Austragung in Sammelbehälter optional

Ausführung Regelungstechnik

Verbrennungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Lambda
Verbrennungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Brennstoffmenge
Leistungsregelung - Regelgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Kesseltemperatur (3stufig)
Leistungsregelung - Stellgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Brennstoff- und Luftmassenstrom
Feuerraumtemperaturerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • nein
Glutbetthöhenerfassung	<ul style="list-style-type: none"> • nein
Unterdruckregelung/Saugzug	<ul style="list-style-type: none"> • nein / Saugzug mit manuell verstellbarer Regelklappe
Sonstige Regel- und Steuereinrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • k. A.

Maßnahmen zur Verbrennungsoptimierung

Stickoxidemissionen (NO _x)	<ul style="list-style-type: none"> • Luftregelung
Gesamtstaubemissionen	<ul style="list-style-type: none"> • k. A.
Korrosion	<ul style="list-style-type: none"> • Kesselrücklauftemperatur mindestens 60 °C • optionale pneumatische Reinigung Wärmeübertrager
Verschlackungen im Feuerraum	<ul style="list-style-type: none"> • luftgekühltes, bewegliches Rostsystem

Emissionsmessungen bei Volllast

Lfd. Nr.	Quelle	Brennstoff:	Feuerungsanlage
1	[136]	Weizenstrohpellets (8mm)	HKRST FSK 20
2	[139]	Weizenstrohpellets	HKRST FSK 30
3	[136]	70/30 Hackschnitzel / Weizenstrohpellets (8mm)	HKRST FSK 20
4	[136]	50/50 Hackschnitzel / Weizenstrohpellets (8mm)	HKRST FSK 20
5	[139]	50/50 Hackschnitzel / Weizenstrohpellets (8mm)	HKRST FSK 30
6	[139]	50/50 Rapspresskuchen / Weizenstrohpellets	HKRST FSK 30
7	[203]	Weizenstrohpellet (12mm) + 1% Al ₂ (OH) ₃	HKRST FSK 30
8	[203]	Weizenstrohpellet (12mm) + 2% Kaolinite	HKRST FSK 30
9	[203]	Weizenstrohpellet (12 mm) + 1% CaO + 3% Melasse	HKRST FSK 30
10	[136]	Weizenkörner	HKRST FSK 20
11	[204]	Roggenkörner	HKRST FSK 30
12	[139]	Rapspresskuchen	HKRST FSK 30
13	[139]	Miscanthuspellets	HKRST FSK 30
14	[204]	Strohpellets	HKRST FSK 30

Emissionen lt. Quelle (13 Vol. - % O₂)

Lfd. Nr.	η_{Kessel}	O ₂	CO	C _x H _y	Particulates _{total}	NO _x	SO ₂	HCl	PAK	PCDD/F
	%	Vol.-%	mg/m ³ _N						µg/m ³ _N	pg TE/m ³ _N
1	-	-	144	-	224	688	213	-	-	-
2	81,3	-	199	1,1	231	251	223	67	-	-
3	-	-	149	-	58	750	51	-	-	-
4	-	-	110	-	49	566	106	-	-	-
5	90,0	-	190	2,2	233	292	289	45	-	-
6	84,7	-	114	1,8	372	642	493	34,9	-	-
7	-	10	2355	-	-	343	219	-	-	-
8	-	10	1276	-	-	363	278	-	-	-
9	-	10	123	-	679	372	197	-	-	-
10	-	-	1195	-	120	1088	449	-	-	-
11	-	-	1726	-	290	289	-	-	-	-
12	82,1	-	68	3,8	171	390	1169	33,8	-	-
13	82,6	-	64	3,3	230	299	113	47,6	-	-
14	-	-	2167	-	200	234	-	-	-	-

Erfahrungen bei der Verbrennung biogener Festbrennstoffe

Gesamtstaubemissionen

- Getreidekörner halten Grenzwert 1. BImSchV im Durchschnitt ein
- Strohpellets liegen deutlich über Grenzwert 1. BImSchV ($> 200 \text{ mg/Nm}^3$), Einsatz sekundärer Abscheider notwendig
- Mischung von Körnern mit Hackschnitzeln bewirkt Reduzierung Staubemissionen
- 96-98 % der Staubpartikel durchschnittlich $< 2,5 \mu\text{m}$
- Versuche mit 12 mm Pellets führen zu schlechter Pelletqualität und zu erhöhter Verschmutzung im Kessel

Stickoxidemissionen

- vor allem abhängig vom Brennstoffstickstoffgehalt
- Einhaltung Grenzwert TA Luft bei Stickstoffgehalt $< 0,3 \%$ (wf)
- Körner weisen höchsten Stickoxidemissionen auf
- Mischung mit Holzhackschnitzel reduziert Stickoxidemissionen (Verdünnungseffekt)

Korrosion

- hohe Chloremissionen korrelieren mit Chlorgehalt im Brennstoff
- Halmgutpellets weisen höchsten HCl-Emissionen auf

Verschlackungen

- hohe Verschlackungsneigung von Weizenstrohpellets
- 3-5 % Zuschlagstoffe (CaO , AlOH_3 , CaCO_3) mindern/verhindern Verschlackungen
- Glühverluste 9-10 % in der Asche verschiedener biogener Festbrennstoffe ermittelt
- problemloser Betrieb trotz Verschlackungserscheinungen mit Rapspresskuchenpellets, Heupellets mit 5 % Talkum, Miscanthus und Mischung 50/50 Rapspresskuchen und Weizenstroh möglich

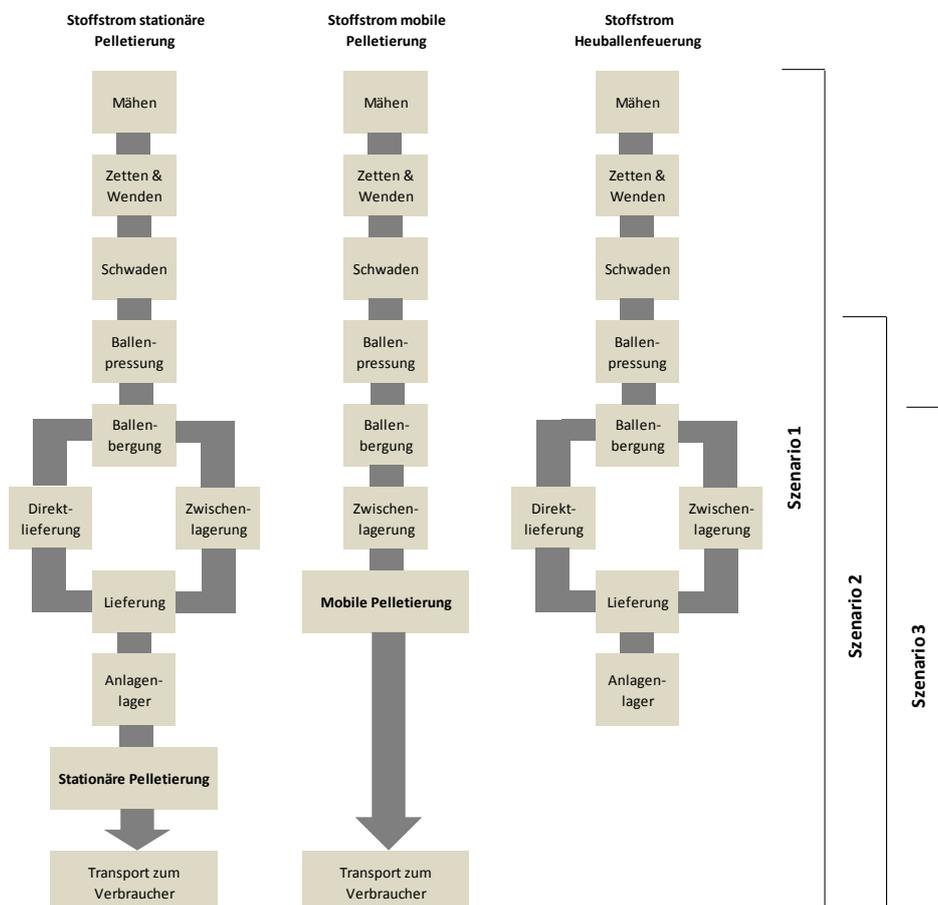
A 10 Biomassebereitstellungskosten für Heuverbrennungsanlagen

Anhang A 10 enthält eine Zusammenstellung der Biomassebereitstellungskosten für die ausgewerteten Standorte Fehrbellin, Selbelang, Neuruppin, Nauen, Rathenow und Brandenburg. Unterschieden werden die Bereitstellungsketten für eine stationäre Pelletierung (Lohnpelletierung und Neubau), für eine mobile Pelletierung sowie für eine Heuballenfeuerung in den jeweiligen Orten. Zusätzlich werden die Biomassebereitstellungskosten in den folgenden drei Szenarien dargestellt:

- Szenario 1: Mähen bis Lieferung zum Verbraucher
- Szenario 2: Ballenpressung bis Transport zum Verbraucher
- Szenario 3: Ballenbergung bis Transport zum Verbraucher

Ausgehend von einer bisherigen Bearbeitung des Grünlands zu Naturschutz- und Offenhaltungszwecken sind bestimmte Arbeitsschritte auch ohne eine daran anschließende energetische Verwertung notwendig. Die Szenarien ermöglichen eine Übersicht, welche Auswirkungen auf die Biomassebereitstellungskosten zu erwarten sind, wenn bestimmte Prozesse unberücksichtigt bleiben.

Die folgende Abbildung (DBFZ) veranschaulicht die erläuterten Szenarien.



Endkundenbereitstellungskosten für Pellets im Szenario 1

(in €/t_{Pellets})

Fehrbellin

Szenario 1	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	88 €	88 €	88 €	89 €	89 €	89 €	90 €	90 €	90 €	90 €	91 €	91 €	91 €	92 €	92 €
Pelletierung Neubau	138 €	139 €	139 €	139 €	139 €	140 €	140 €	140 €	141 €	141 €	141 €	142 €	142 €	142 €	143 €
Mobile Pelletierung	148 €	149 €	149 €	150 €	150 €	151 €	151 €	152 €	152 €	153 €	153 €	154 €	154 €	155 €	155 €

Selbelang

Szenario 1	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	100 €	100 €	101 €	101 €	101 €	101 €	102 €	102 €	102 €	103 €	103 €	103 €	104 €	104 €	104 €
Pelletierung Neubau	150 €	151 €	151 €	151 €	152 €	152 €	152 €	153 €	153 €	153 €	154 €	154 €	154 €	155 €	155 €
Mobile Pelletierung	157 €	158 €	159 €	159 €	160 €	160 €	161 €	161 €	162 €	162 €	163 €	163 €	164 €	164 €	165 €

Neuruppin

Szenario 1	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	90 €	91 €	91 €	91 €	91 €	92 €	92 €	92 €	93 €	93 €	93 €	94 €	94 €	94 €	95 €
Pelletierung Neubau	141 €	141 €	141 €	142 €	142 €	142 €	143 €	143 €	143 €	144 €	144 €	144 €	144 €	145 €	145 €
Mobile Pelletierung	148 €	149 €	149 €	150 €	150 €	151 €	151 €	152 €	152 €	153 €	153 €	154 €	155 €	155 €	156 €

Nauen

Szenario 1	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	99 €	100 €	100 €	100 €	101 €	101 €	101 €	102 €	102 €	102 €	102 €	103 €	103 €	103 €	104 €
Pelletierung Neubau	150 €	150 €	151 €	151 €	151 €	151 €	152 €	152 €	152 €	153 €	153 €	153 €	154 €	154 €	154 €
Mobile Pelletierung	156 €	156 €	157 €	157 €	158 €	159 €	159 €	160 €	160 €	161 €	161 €	162 €	162 €	163 €	163 €

Rathenow

Szenario 1	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	97 €	97 €	98 €	98 €	98 €	98 €	99 €	99 €	99 €	100 €	100 €	100 €	101 €	101 €	101 €
Pelletierung Neubau	147 €	148 €	148 €	148 €	149 €	149 €	149 €	150 €	150 €	150 €	151 €	151 €	151 €	151 €	152 €
Mobile Pelletierung	154 €	155 €	155 €	156 €	156 €	157 €	157 €	158 €	158 €	159 €	160 €	160 €	161 €	161 €	162 €

Brandenburg

Szenario 1	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	105 €	105 €	105 €	105 €	106 €	106 €	106 €	107 €	107 €	107 €	108 €	108 €	108 €	109 €	109 €
Pelletierung Neubau	155 €	155 €	156 €	156 €	156 €	157 €	157 €	157 €	158 €	158 €	158 €	158 €	159 €	159 €	159 €
Mobile Pelletierung	155 €	156 €	156 €	157 €	157 €	158 €	159 €	159 €	160 €	160 €	161 €	161 €	162 €	162 €	163 €

Endkundenbereitstellungskosten für Pellets im Szenario 2

(in €/t_{Pellets})

Fehrbellin

Szenario 2	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	68 €	68 €	69 €	69 €	69 €	70 €	70 €	70 €	70 €	71 €	71 €	71 €	72 €	72 €	72 €
Pelletierung Neubau	118 €	119 €	119 €	119 €	120 €	120 €	120 €	121 €	121 €	121 €	122 €	122 €	122 €	123 €	123 €
Mobile Pelletierung	128 €	129 €	129 €	130 €	130 €	131 €	131 €	132 €	132 €	133 €	134 €	134 €	135 €	135 €	136 €

Selbelang

Szenario 2	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	72 €	72 €	73 €	73 €	73 €	74 €	74 €	74 €	75 €	75 €	75 €	75 €	76 €	76 €	76 €
Pelletierung Neubau	123 €	123 €	123 €	123 €	124 €	124 €	124 €	125 €	125 €	125 €	126 €	126 €	126 €	127 €	127 €
Mobile Pelletierung	129 €	130 €	131 €	131 €	132 €	132 €	133 €	133 €	134 €	134 €	135 €	135 €	136 €	136 €	137 €

Neuruppin

Szenario 2	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	70 €	71 €	71 €	71 €	72 €	72 €	72 €	73 €	73 €	73 €	73 €	74 €	74 €	74 €	75 €
Pelletierung Neubau	121 €	121 €	122 €	122 €	122 €	122 €	123 €	123 €	123 €	124 €	124 €	124 €	125 €	125 €	125 €
Mobile Pelletierung	128 €	129 €	129 €	130 €	130 €	131 €	131 €	132 €	132 €	133 €	134 €	134 €	135 €	135 €	136 €

Nauen

Szenario 2	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	73 €	73 €	73 €	74 €	74 €	74 €	75 €	75 €	75 €	76 €	76 €	76 €	77 €	77 €	77 €
Pelletierung Neubau	123 €	124 €	124 €	124 €	125 €	125 €	125 €	126 €	126 €	126 €	126 €	127 €	127 €	127 €	128 €
Mobile Pelletierung	129 €	130 €	130 €	131 €	131 €	132 €	132 €	133 €	134 €	134 €	135 €	135 €	136 €	136 €	137 €

Rathenow

Szenario 2	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	72 €	72 €	73 €	73 €	73 €	73 €	74 €	74 €	74 €	75 €	75 €	75 €	76 €	76 €	76 €
Pelletierung Neubau	122 €	123 €	123 €	123 €	124 €	124 €	124 €	125 €	125 €	125 €	126 €	126 €	126 €	126 €	127 €
Mobile Pelletierung	129 €	130 €	130 €	131 €	131 €	132 €	132 €	133 €	133 €	134 €	134 €	135 €	135 €	136 €	137 €

Brandenburg

Szenario 2	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	79 €	79 €	79 €	79 €	80 €	80 €	80 €	81 €	81 €	81 €	82 €	82 €	82 €	83 €	83 €
Pelletierung Neubau	129 €	129 €	130 €	130 €	130 €	131 €	131 €	131 €	132 €	132 €	132 €	132 €	133 €	133 €	133 €
Mobile Pelletierung	129 €	130 €	130 €	131 €	131 €	132 €	132 €	133 €	133 €	134 €	135 €	135 €	136 €	136 €	137 €

Endkundenbereitstellungskosten für Pellets im Szenario 3

(in €/t_{Pellets})

Fehrbellin

Szenario 3	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	56 €	56 €	56 €	57 €	57 €	57 €	58 €	58 €	58 €	59 €	59 €	59 €	60 €	60 €	60 €
Pelletierung Neubau	106 €	107 €	107 €	107 €	108 €	108 €	108 €	109 €	109 €	109 €	110 €	110 €	110 €	110 €	111 €
Mobile Pelletierung	116 €	117 €	117 €	118 €	118 €	119 €	119 €	120 €	120 €	121 €	121 €	122 €	122 €	123 €	124 €

Selbelang

Szenario 3	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	59 €	59 €	59 €	60 €	60 €	60 €	61 €	61 €	61 €	61 €	62 €	62 €	62 €	63 €	63 €
Pelletierung Neubau	109 €	110 €	110 €	110 €	110 €	111 €	111 €	111 €	112 €	112 €	112 €	113 €	113 €	113 €	114 €
Mobile Pelletierung	116 €	117 €	117 €	118 €	118 €	119 €	119 €	120 €	120 €	121 €	121 €	122 €	122 €	123 €	124 €

Neuruppin

Szenario 3	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	58 €	59 €	59 €	59 €	60 €	60 €	60 €	60 €	61 €	61 €	61 €	62 €	62 €	62 €	63 €
Pelletierung Neubau	109 €	109 €	109 €	110 €	110 €	110 €	111 €	111 €	111 €	112 €	112 €	112 €	113 €	113 €	113 €
Mobile Pelletierung	116 €	117 €	117 €	118 €	118 €	119 €	119 €	120 €	120 €	121 €	121 €	122 €	122 €	123 €	124 €

Nauen

Szenario 3	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	60 €	60 €	60 €	61 €	61 €	61 €	62 €	62 €	62 €	62 €	63 €	63 €	63 €	64 €	64 €
Pelletierung Neubau	110 €	111 €	111 €	111 €	111 €	112 €	112 €	112 €	113 €	113 €	113 €	114 €	114 €	114 €	115 €
Mobile Pelletierung	116 €	117 €	117 €	118 €	118 €	119 €	119 €	120 €	120 €	121 €	121 €	122 €	122 €	123 €	124 €

Rathenow

Szenario 3	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	59 €	59 €	60 €	60 €	60 €	61 €	61 €	61 €	61 €	62 €	62 €	62 €	63 €	63 €	63 €
Pelletierung Neubau	110 €	110 €	110 €	110 €	111 €	111 €	111 €	112 €	112 €	112 €	113 €	113 €	113 €	114 €	114 €
Mobile Pelletierung	116 €	117 €	117 €	118 €	118 €	119 €	119 €	120 €	120 €	121 €	121 €	122 €	122 €	123 €	124 €

Brandenburg

Szenario 3	Entfernung von der Pelletieranlage in km														
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Lohnpelletierung	65 €	66 €	66 €	66 €	67 €	67 €	67 €	68 €	68 €	68 €	69 €	69 €	69 €	69 €	70 €
Pelletierung Neubau	116 €	116 €	117 €	117 €	117 €	118 €	118 €	118 €	118 €	119 €	119 €	119 €	120 €	120 €	120 €
Mobile Pelletierung	116 €	117 €	117 €	118 €	118 €	119 €	119 €	120 €	120 €	121 €	121 €	122 €	122 €	123 €	124 €

Endkundenbereitstellungskosten für Ganzballen

(in €/t_{FM})

Anlagenkonzept	Art des Brennstoffes	Anlagenbedarf	Anlagenlager	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
		(t FM)	(t FM)			
Fehrbellin						
400 kW	Ganzballen	350	50	48 €	30 €	19 €
400 kW (800 kW)	Ganzballen	500	100	48 €	31 €	19 €
Selbelang						
400 kW	Ganzballen	350	50	63 €	34 €	21 €
400 kW (800 kW)	Ganzballen	500	100	64 €	35 €	22 €
Neuruppin						
400 kW	Ganzballen	350	50	59 €	34 €	21 €
400 kW (800 kW)	Ganzballen	500	100	57 €	34 €	22 €
Nauen						
400 kW	Ganzballen	350	50	64 €	35 €	21 €
400 kW (800 kW)	Ganzballen	500	100	64 €	35 €	22 €
Rathenow						
400 kW	Ganzballen	350	50	53 €	31 €	18 €
400 kW (800 kW)	Ganzballen	500	100	54 €	32 €	20 €
Brandenburg						
400 kW	Ganzballen	350	50	65 €	39 €	26 €
400 kW (800 kW)	Ganzballen	500	100	66 €	40 €	27 €

A 11 Berechnung der THG-Vermeidungskosten

Formel zur Berechnung der THG-Vermeidungskosten [4]:

$$AC = \frac{C_{alt.system} - C_{ref.system}}{E_{ref.system} - E_{alt.system}} = \frac{\Delta C}{\Delta E} \quad \text{wenn } \Delta E > 0$$

Es gilt:

AC = CO₂-Vermeidungskosten (abatement costs) in ct/kg CO₂-Äq.

$C_{alt.system}$ = Strom-/ Wärmegestehungskosten (costs) der alternativen Strom-/ Wärmerezeugungstechnologie in ct/kWh

$C_{ref.system}$ = Strom-/ Wärmegestehungskosten (costs) der Referenztechnologie in ct/kWh

$E_{alt.system}$ = Treibhausgasemissionen (emissions) bei der Strom-/ Wärmerezeugung der alternativen Strom-/ Wärmerezeugungstechnologie in kg CO₂-Äq./kWh

$E_{ref.system}$ = Treibhausgasemissionen (emissions) bei der Strom-/ Wärmerezeugung des Referenzsystems (emissions) in kg CO₂-Äq./kWh

Werte zur Berechnung der THG-Vermeidungskosten [4,192, Werte auf Basis eigener Berechnung, Kapitel 5.3.2 und 6.2.2]

	Stromerzeugungstechnologie	THG-Emissionen <i>E</i> in kg CO₂-Äq./kWh_{el}	Stromerzeugungskosten <i>C</i> in ct/kWh_{el}
Alternatives System	Biogas auf Grasbasis (500 kW _{el})	0,145	20,4
	Biogas auf Maisbasis (500 kW _{el})	0,346	18,6
Referenzsystem	Steinkohlekraftwerk	0,783 [4]	4,5 [192]
	Wärmeerzeugungstechnologie	THG-Emissionen <i>E</i> in kg CO₂-Äq./kWh_{th}	Stromerzeugungskosten <i>C</i> in ct/kWh_{el}
Alternatives System	Heupelletheizwerk (150 kW _{th} mit 300 kW _{th} -Heizölkessel)	0,065	7,2
	Heuballenheizwerk (400 kW _{th} mit 400 kW _{th} -Heizölkessel)	0,025	7,7
Referenzsystem	Heizölkessel 450 kW _{th}	0,328 [4]	10,0
	Heizölkessel 800 kW _{th}	0,328 [4]	9,3

THG-Vermeidungskosten der betrachteten Nutzungskonzepte (bei den Wärmeerzeugungstechnologien ergeben sich negative THG-Vermeidungskosten, da $\Delta E < 0$)

	Stromerzeugungstechnologie	THG-Vermeidungskosten <i>AC</i> in ct/kg CO₂-Äq.
Alternatives System	Biogas auf Grasbasis (500 kW _{el})	25,4
	Biogas auf Maisbasis (500 kW _{el})	32,3
	Wärmeerzeugungstechnologie	THG-Vermeidungskosten <i>E</i> in kg CO₂-Äq./kWh_{th}
Alternatives System	Heupelletheizwerk (150 kW _{th} mit 300 kW _{th} -Heizölkessel)	- 11
	Heuballenheizwerk (400 kW _{th} mit 400 kW _{th} -Heizölkessel)	- 5

Bisher erschienene Reports

DBFZ Report Nr. 1

Bewertung und Minderung von Feinstaubemissionen aus häuslichen Holzfeuerungsanlagen
Autoren: Volker Lenz, Daniela Thrän, Hans Hartmann, Peter Turowski, Frank Ellner-Schubert (TFZ), Joachim Gerth (TUHH)

DBFZ Report Nr. 2

Methodische Vorgehensweise zur Standortidentifikation und Planung der Biomassebereitstellung für Konversionsanlagen am Beispiel von Bio-SNG-Produktionsanlagen
Autor: Michael Seiffert

DBFZ Report Nr. 3

Feinstaubminderung im Betrieb von Scheitholzkaminöfen unter Berücksichtigung der toxikologischen Relevanz
Autor: Volker Lenz

DBFZ Report Nr. 4

Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der Biomassenutzung
Autoren: Daniela Thrän, Matthias Edel, Janine Pfeifer, Jens Ponitka, Michael Rode / Silke Knispel (iup)

DBFZ Report Nr. 5

Optimierung und Bewertung von Anlagen zur Erzeugung von Methan, Strom und Wärme aus biogenen Festbrennstoffen
Autor: Stefan Rönsch

DBFZ Report Nr. 6

Katalytisch unterstützte Minderung von Emissionen aus Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen
Autoren: Ingo Hartmann, Volker Lenz, Marian Schenker, Christian Thiel, Markus Kraus, Mirjam Matthes, Ulf Roland (UFZ), René Bindig, Wolf-Dietrich Einicke (Universität Leipzig)

DBFZ Report Nr. 7

Final Report - Global and Regional Spatial Distribution of Biomass Potentials - Status quo and options for specification -
Autoren: DBFZ / ZALF / DLR / ILB / vTI

DBFZ Report Nr. 8 - Kompakt -

Autoren: Ulrike Seyfert, Katja Bunzel, Daniela Thrän, Eric Mauky, Barbara Fritsche, André Schreiber, Jan Liebetrau, Thomas Schmidt, Tobias Ulbricht, Volker Lenz

DBFZ Report Nr. 9

Analyse und Bewertung ausgewählter zukünftiger Biokraftstoffoptionen auf der Basis fester Biomasse
Autorin: Franziska Müller-Langer

DBFZ Report Nr. 10

Ermittlung des Verbrauchs biogener Festbrennstoffe im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD-Sektor) - Endbericht
Autoren: Cornelia Viehmann, Tanja Westerkamp, Andre Schwenker, Marian Schenker, Daniela Thrän, Volker Lenz, Marcel Ebert (IE)

DBFZ Report Nr. 11

Monitoring Biokraftstoffsektor
Autoren: Karin Naumann, Katja Oehmichen, Martin Zeymer, Franziska Müller-Langer, Mattes Scheftelowitz, Philipp Adler, Kathleen Meisel, Michael Seiffert

DBFZ Report Nr. 12

Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse
Autoren: Janet Witt, Daniela Thrän, Nadja Rensberg, Christiane Hennig, Karin Naumann, Eric Billig, Philipp Sauter, Jaqueline Daniel-Gromke, Alexander Krautz (DBFZ), Christian Weiser, Gerd Reinhold, Torsten Graf (TLL)

DBFZ Report Nr. 13

Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung
Autoren: DBFZ / TLL / INL / Öko-Institut

DBFZ Report Nr. 14

Holzpellettbereitstellung für Kleinfeuerungsanlagen
Autorin: Janet Witt

DBFZ Report Nr. 15

Politics and Economics of Ethanol and Biodiesel Production and Consumption in Brazil
Autor: Jens Giersdorf

DBFZ Report Nr. 16

Algae biorefinery - material and energy use of algae
Autoren: Ingolf Petrick, Lilli Dombrowski (Hochschule Lausitz (FH)), Michael Kröger, Thomas Beckert (DBFZ), Thomas Kuchling, Sven Kureti (TU Bergakademie Freiberg)



**DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH**
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Phone: +49 (0)341 2434-112
Fax: +49 (0)341 2434-133
info@dbfz.de

www.dbfz.de